

CHAPTER «ARCHITECTURE»

THE USE OF BIOMORPHIC FORMS IN MODERN ARCHITECTURE: INTEGRATING NATURAL STRUCTURES TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY OF THE URBAN ENVIRONMENT

ВИКОРИСТАННЯ БІОМОРФНИХ ФОРМ У СУЧАСНІЙ АРХІТЕКТУРІ: ІНТЕГРАЦІЯ ПРИРОДНИХ СТРУКТУР ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

Vitalyi Nesterenko¹

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-602-7-1>

Abstract. Global ecological challenges, intensified by rapid urbanization, highlight the urgent need to develop architectural solutions that ensure both energy efficiency and the sustainability of the urban environment. Traditional approaches, which prioritize functionality and cost-effectiveness, often fail to meet the principles of sustainable development. In this context, the integration of biomorphic forms and biomimicry-based strategies is becoming increasingly important, as they enable the creation of architectural solutions inspired by natural structures and processes. These approaches not only reduce energy consumption by applying passive systems of ventilation, lighting, and cooling but also strengthen the harmony between the built environment and nature. *The purpose* of this paper is to identify the role of biomorphic forms in modern architecture and to substantiate their potential as innovative tools for enhancing the energy efficiency and ecological sustainability of urban environments. *Methodology* of the study is based on an interdisciplinary approach that combines architectural analysis, ecological design principles, and concepts of biomimicry, allowing for the

¹ PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor,
Department of Architecture of Buildings and Structure,
Kharkiv National University of Urban Economy, Ukraine

formation of a holistic vision of the potential of biomorphic forms. *Results* of the analysis demonstrate that biomorphic solutions play a crucial role in transforming architecture towards sustainable development by combining aesthetic expression with functional efficiency, ensuring microclimate regulation, reducing energy consumption, and improving environmental resilience. Beyond the ecological dimension, biomorphic approaches contribute to human well-being through their close connection with biophilic design, enhancing comfort, productivity, and social interaction. *Practical implications.* The integration of natural structures into urban architecture expands the boundaries of design creativity by promoting the development of innovative façade systems, energy-active envelopes, and adaptive structures that interact with their surroundings. *Value / originality.* Biomorphic architecture, inspired by natural analogues such as plant geometry, shell structures, or termite mounds, provides a foundation for new generations of materials and technologies focused on adaptability, resilience, and sustainability. This innovative paradigm positions architecture as a living system that harmonizes technical advancement with ecological and social priorities, thereby shaping a more sustainable and adaptive urban future.

1. Вступ

У наш час, в умовах глобальних екологічних викликів, пов'язаних, зокрема, зі стрімкою урбанізацією, особливої актуальності набувають питання енергоефективності та стійкого розвитку міського середовища. Урбанізація супроводжується високим рівнем енергоспоживання, забрудненням довкілля та зростанням антропогенного навантаження на природні ресурси, і ці обставини вимагає пошуку нових архітектурних і технологічних рішень [22, р. 16; 11, р. 7]. Традиційні методи проєктування, орієнтовані переважно на функціональність й економічність, недостатньо відповідають принципам сталого розвитку, що включають екологічну, економічну та соціальну складові.

Особливого значення у цьому контексті набуває застосування біоморфних форм та принципів біомімікрії, які дозволяють створювати архітектурні рішення, що наслідують природні структури й процеси. Такі підходи забезпечують не лише зниження енергоспоживання

завдяки інтеграції пасивних систем вентиляції, освітлення чи охолодження, але й сприяють гармонізації взаємодії між містом і природним середовищем [20, р. 99; 4, р. 124]. Інтеграція природних моделей у міський простір відкриває можливості для формування нової архітектурної парадигми, де естетика поєднується з екологічною доцільністю, а інновації – зі збереженням природного балансу.

Вказані обставини обумовлюють значущість і суспільну необхідність дослідження ролі біоморфних форм у сучасній архітектурі, спрямованого на пошук ефективних шляхів підвищення енергоефективності та стійкості міського середовища.

Біоморфні форми в архітектурі визначаються як просторові та конструктивні рішення, що наслідують природні структури, геометрію та процеси, котрі є властивими для живих організмів і природних систем. В основі застосування біоморфних форм в архітектурі лежить ідея біомімікрії, котра являє собою науково-дизайнерську практику, що прагне перейняти в природи ефективність, адаптивність і гармонійність взаємодії з середовищем [6, р. 202; 7, р. 2]. Біоморфізм інтегрує функціональність і сталість, демонструючи новий рівень синтезу між архітектурною інновацією та природними закономірностями.

У XXI столітті застосування біоморфних рішень набуває стратегічного значення для архітектури. Швидке зростання міст, підвищення енергоспоживання та екологічні кризи вимагають переорієнтації архітектурної практики від суто технократичних моделей до екологічно чутливих і стійких підходів [4, р. 125]. Біоморфні форми дозволяють реалізувати концепції енергоефективності шляхом застосування пасивної вентиляції, використання природного освітлення, оптимізації теплових режимів та зменшення ресурсозатратності. Водночас вони створюють нову якість міського середовища, де архітектура виступає не як опонент, а як партнер природних процесів. Інтеграція біоморфних форм в архітектурну практику XXI століття формує інноваційну парадигму, в якій будівлі та урбаністичні простори постають як «живі системи», здатні адаптуватися, зберігати енергію та гармонізувати відносини людини з довкіллям.

З огляду на це, метою даного дослідження є виявлення та обґрунтування ролі впровадження біоморфних форм у сучасній архітектурі як інноваційного підходу до інтеграції природних структур у

міське середовище, що має на меті підвищення енергоефективності та екологічної стійкості.

Методологія дослідження ґрунтується на міждисциплінарному підході, який поєднує архітектурний аналіз, принципи екологічного проєктування та концепції біоміметики. Застосування такого підходу дозволяє сформувати цілісне бачення потенціалу біоморфних форм у сучасній архітектурі та обґрунтувати їх значення для підвищення енергоефективності та стійкості міського середовища.

2. Концептуальні засади використання біоморфних форм у сучасній архітектурі

Ідея звернення до природи як до моделі для архітектури має багатовікову традицію. Уже в античні часи архітектори та будівничі використовували природні мотиви як джерело орнаментальних рішень. Наприклад, коринфський ордер із характерними акантовими капітелями відображав прагнення упорядкувати природні форми й інтегрувати їх у архітектурний канон [8, р. 97]. Проте подібні спроби у давні часи мали радше декоративний характер і не передбачали системного вивчення природних процесів для вирішення функціональних завдань будівлі.

Справжній поворот у бік функціональної інтерпретації природи розпочався в епоху Відродження. Леонардо да Вінчі, вивчаючи анатомію птахів, намагався відтворити принципи польоту у своїх проєктах орнітопланів. Хоча ці спроби не мали практичного успіху, вони стали першим свідомим наближенням до біоінспірованого дизайну, метою якого є наслідування не лише форми, але й механіки природних систем [5].

Наприкінці XIX століття, у добу модерну (Ар-нуво), зросло прагнення інтегрувати органічні лінії та форми у мистецтво та архітектуру. Творчість Антоніо Гауді в Іспанії є знаковим прикладом такого підходу. Його Саграда Фамілія, Парк Гуель чи будинок Каса Батльо (рис. 1) демонструють, як природні структури, такі, як дерева, кістки, мушлі, можуть слугувати не лише естетичною метафорою, але й конструктивним принципом. Гауді розглядав природу як «найдосконаліший інженерний зразок», а тому прагнув відтворити її логіку у своїх архітектурних рішеннях [8, р. 98].



Рис. 1. Антоніо Гауді. Каса Батльо

На початку ХХ століття біоморфізм закріпився як окремий напрям у мистецтві та архітектурі. Сам термін був уведений у культурний обіг у 1930-х роках для позначення форм, натхнених органічними структурами. Йдеться вже не лише про декор, але про загальну морфологію будівель, що поступово змінювалася під впливом природних аналогів [5, р. 11].

Після Другої світової війни розвиток технологій дозволив перейти до більш системного наслідування природних зразків. Особливо цікавим у цьому контексті є японський рух «метаболістів» (1960–70-ті роки), що пропонував розглядати міські структури як «живі організми», здатні рости, оновлюватися та пристосовуватися до потреб суспільства. Прикладом цього є Капсульна вежа Накагін у Токіо, спроектована Кішо Курокавою у 1972 р. (рис. 2). Будівля складалася з автономних житлових модулів-«капсул», які можна було демонтувати та замінювати, подібно до клітин живого організму [8, р. 99].



Рис. 2. Кішо Курокава. Капсульна вежа Накагін у Токіо

Наприкінці XX століття відбулося оформлення біомімікрії як самостійної дисципліни. У 1997 році Джанін Бенюс опублікувала працю «Biomimicry: Innovation Inspired by Nature» ("Біомімікрія: інновація, що надихається природою), у якій визначила біомімікрію як підхід до дизайну, заснований на принципах природних систем. Ця публікація стала фундаментом сучасного розуміння біоінспірова-

ного проектування й закріпила його як ключову стратегію сталого розвитку [5, p. 14].

Як підкреслює Н. Хаямор-Хейл [5, p. 14], відмінність між біоінспірацією та біомімікрією полягає у рівні глибини взаємодії з природою. Якщо біоінспірація обмежується метафоричним або візуальним відтворенням форм, то біомімікрія вимагає дослідження функціональних принципів, таких, як оптимізація енергоспоживання, самоорганізація, адаптивність, циклічність використання ресурсів. Такий підхід дозволяє інтегрувати в архітектуру природні моделі ефективності та стійкості, що має критичне значення в умовах екологічної та енергетичної кризи.

А. Фікріаріні та М. Ішомуддін [8, p. 100] розглядають біоморфний підхід як форму екологічної відповідальності архітектури. Вони підкреслюють, що запозичення природних структур сприяє створенню будівель, здатних до природної вентиляції, зменшення теплового навантаження, оптимального використання світла. Прикладом тут може слугувати Центр Іст-Гейт (Східні Ворота) у Хараре (Зімбабве), спроектований Міком Пірсом (рис. 3). Його система вентиляції відтворює структуру термітників, які підтримують постійну температуру всередині гнізда. Спроектowana з урахуванням принципів самоохолодження термітників, будівля не потребує кондиціонування, мікроклімат регулюється за допомогою пасивних систем. Завдяки такому підходу будівля споживає на 90 % менше енергії, ніж стандартні офісні комплекси аналогічного розміру [5, p. 15].

Витоки біомімікрії та біоінспірованого дизайну демонструють поступовий перехід від декоративного наслідування природних мотивів до використання природних процесів як інженерних і конструктивних моделей. У цій еволюції відображені зміни у світогляді архітекторів, які переходили від прагнення наслідувати красу природи до пошуку в ній принципів сталості, ефективності та гармонії з довкіллям. Біоморфні стратегії, що базуються на такому підході, сьогодні розглядаються не лише як естетичний інструмент, але й як практична відповідь на глобальні виклики енергоефективності та екологічної безпеки.

Як підкреслюють В. Озек та Д. Єлер [18], біоморфізм не є просто наслідуванням органічних форм, він є стратегією, яка ставить у центр

уваги змінність і гнучкість природних структур. Ми можемо бачити це у Саграда Фамілія Антоніо Гауді (рис. 4), де колони, що нагадують гілки дерев, піднімаються вгору у вигляді розгалуженої сітки, яка водночас є естетичною та несе конструктивне навантаження.



Рис. 3. Центр Іст-Гейт у Хараре (Зімбабве)

Будівля Храму Лотоса (Нью-Делі) (рис. 5), спроектована Фареборзом Сахба, має форму квітки лотоса і є прикладом того, як форма природного символу поєднується з функціональною легкістю й ефективною організацією простору.

Хмарочос «Мері-Екс» (The Gherkin (Mary Axe)) у Лондоні (рис. 6) натхненний природою моря: шестикутна решітка нагадує скелет «венечії», губки, що розсіює навантаження, забезпечуючи геометричну оптимізацію структури.

Проект Едем (Eden Project, Корнволл, Велика Британія) (рис. 7) являє собою серію сферичних теплиць, натхнених структурою бульбашок і пілкових зерен. Автори проекту використали легкий, прозорий матеріал ETFE, технологію, властиву природним оболонкам, для економії матеріалів та освітлення.



Рис. 4. Антоніо Гауді. Саграда Фамілія

Проект Сахара Форест (Sahara Forest Project) в Тунісі (рис. 8) являє собою масштабний приклад біомімікричної конструкції, що імітує зразки життєвої поведінки пустельних жуків, що використовується для водозатримання та охолодження. В проєкті поєднуються сонячні теплиці зі сталим водозабезпеченням.



Рис. 5. Храм Лотоса (Нью-Делі)

Дослідники вказують на те, що природні форми демонструють високу ефективність завдяки еволюційним процесам, які впродовж мільйонів років удосконалювали їхні функції. Зокрема, Озек та Єлер [18] підкреслюють, що біоморфізм у архітектурі має враховувати «динамічний процес, що постійно оновлює себе в живому середовищі» й, відповідно, може слугувати моделлю для архітектурних стратегій. Такі підходи виходять за межі формотворення, перетворюючись на методи технологічного моделювання.

Класичним прикладом цього є структура скелета діатомових водоростей або шестикутні стільники бджіл, які стали основою для створення полегшених, але міцних фасадних систем. У подібних проєктах архітектурна оболонка не лише повторює геометрію природного прототипу, але в ній застосовуються новітні матеріали, зокрема полімерні мембрани ETFE, що використовуються, наприклад, у згаданому Проєкті Едем (Велика Британія) для створення куполів біомів [6, р. 203]. Застосування ETFE дозволяє досягати високої прозорості та легкості конструкції, що зменшує витрати на енергію та ресурси.



Рис. 6. Хмарочос «Мері-Екс», Лондон

Найбільш інноваційні архітектурні рішення виникають тоді, коли природні структури поєднуються з кліматичними технологіями. Й. Беньосеф і А. Разін [3, р. 2] наголошують, що архітектура проекту Форест Сахари і традиційні методи природної вентиляції можуть бути



Рис. 7. Проект Едем (Велика Британія)

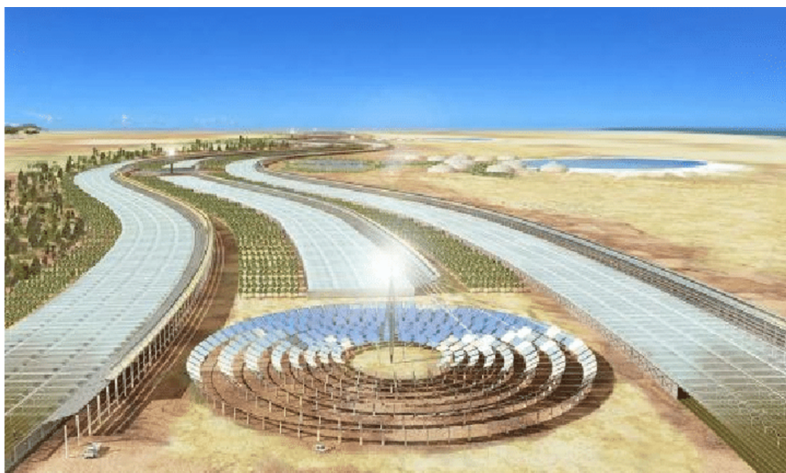


Рис. 8. Проект Сахара Форест (Туніс)

осмислені через призму біомімікрії. Система саморегуляції температури у термітниках, яка була відтворена у згаданому Центрі Іст-Гейт (Хараре, Зімбабве), стала ключовою моделлю для створення штучних вентиляційних каналів, які працюють без активного кондиціонування, підтримуючи стабільний мікроклімат у будівлі, що є прикладом прямої трансформації природного принципу у технологію.

Схожі підходи застосовуються й у проєкті Sahara Forest Project, де принципи збору вологи з повітря, натхненні жуками пустелі Наміб, поєднуються з сонячними теплицями. Така інтеграція демонструє, що біоморфні стратегії можуть забезпечити не лише енергоефективність, але й водозбереження, що є критично важливим фактором у посушливих регіонах [3, р. 3].

Одним із ключових чинників інтеграції природних структур у сучасну архітектуру стало цифрове моделювання. Завдяки параметричному дизайну архітектори здатні відтворювати складні геометрії, які раніше здавалися неможливими. Як підкреслюють А. Фікріаріні та М. Ісхумудін [8, р. 101], використання біоморфних форм неможливе без нових цифрових технологій, що дозволяють візуалізувати, тестувати й оптимізувати архітектурні рішення.

Прикладом цього є Центр Гейдара Алієва в Баку (арх. Заха Хадід) (рис. 9), де плавні, біоморфні поверхні стали можливими завдяки застосуванню параметричних алгоритмів. Природні форми тут поєднуються з технологіями моделювання, створюючи новий тип архітектурної пластики, що відповідає як естетичним, так і функціональним завданням.

Ще одним прикладом є Вежі Аль-Бахар (Al Bahar Towers) в Абу-Дабі (рис. 10), де фасад побудований за принципом адаптивної «шкіри». Він реагує на інтенсивність сонячного випромінювання, відкриваючись і закриваючись подібно до квіткових пелюсток. Ця технологія поєднує біологічний принцип фототропізму з сучасними механізмами автоматизації.

Окремий вимір взаємозв'язку природних структур та інноваційних технологій становить розвиток матеріалів. Біоморфна архітектура активно застосовує біоінспіровані матеріали, здатні змінювати свої властивості в залежності від умов довкілля. Зокрема, використання так званих «розумних матеріалів» надихається принципами адапта-

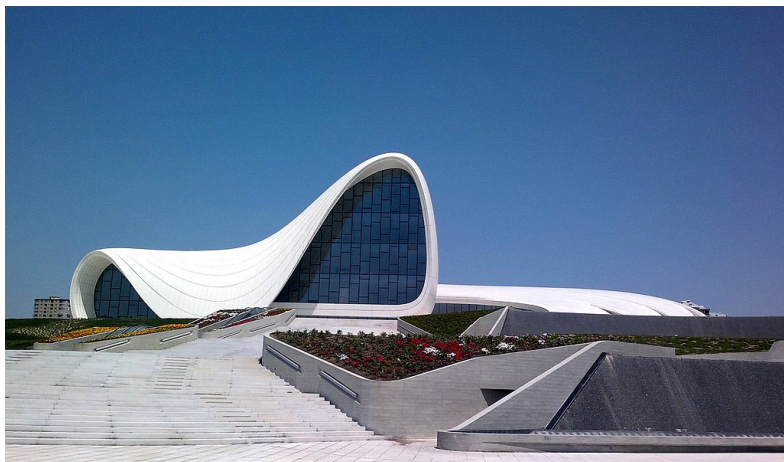


Рис. 9. Центр Гейдара Алієва в Баку



Рис. 10. Вежі Аль-Бахар, Абу-Дабі

ції листя, що регулює випаровування води через продиhi. Аналогічні механізми застосовуються у фасадних панелях, надаючи їм здатності реагувати на температуру та вологість, що відкриває перспективи для створення саморегульованих оболонок будівель [6, p. 204].

Тож можна бачити, що біоморфні стратегії є у наш час вже системною трансформацією архітектури, яка формує підґрунтя для стійких міських середовищ майбутнього.

У цьому зв'язку треба зазначити, що сучасні міста стикаються з комплексними викликами – від енергетичних криз і забруднення повітря до втрати біорізноманіття та соціальної фрагментації. У цьому контексті біоморфні форми, що інтегрують природні структури в архітектуру та міське середовище, стають не лише естетичною стратегією, але й засобом досягнення екологічної та соціальної стійкості. Як зазначає К. Радха [19, p. 2], біофільний дизайн є перспективною парадигмою для сталого розвитку міст, оскільки він формує «природні та психологічні зв'язки між людиною і довкіллям», що має прямий вплив на якість життя.

У біофільному підході, який був розвинений у праці С. Келерт і ін. [14] і пізніше уточнений у дослідженні А. Хаді [10], підкреслюється значення включення природних елементів у штучне середовище шляхом застосування просторових й морфологічних підходів. Біоморфні форми, що наслідують природні патерни, у цьому випадку виконують роль медіатора: вони дозволяють людині переживати досвід «присутності природи» навіть у щільній міській тканині. Абдель Хаді [10, p. 46] доводить, що активування біофільних патернів у ландшафтному та архітектурному проєктуванні сприяє як психологічному комфорту мешканців, так і оптимізації екологічних процесів (наприклад, регуляції водного балансу чи покращення мікроклімату).

Прикладом такої інтеграції є Хай-Лайн парк (High Line Park) у Нью-Йорку (рис. 11), який перетворив занедбану інфраструктуру на простір із виразними біоморфними структурами та зеленою інфраструктурою. Тут природні форми не лише покращують естетичне сприйняття середовища, але й підвищують біорізноманіття, забезпечуючи стійкість міського простору.

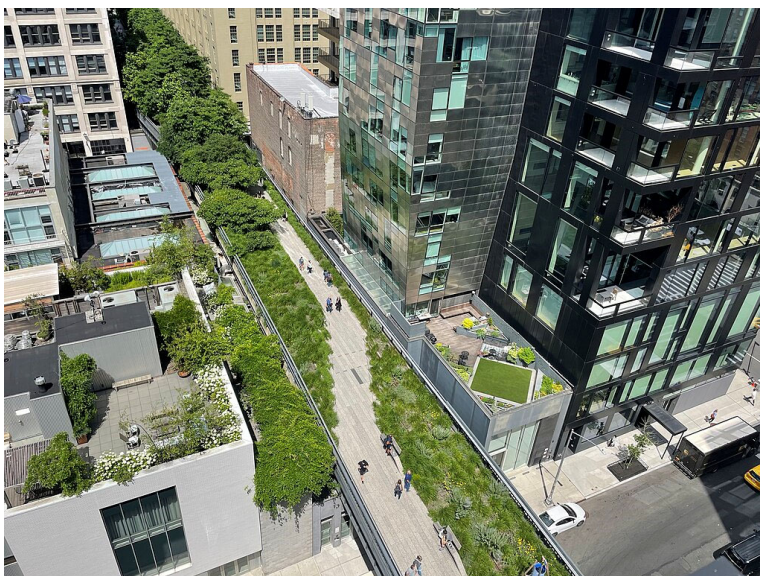


Рис. 11. Хай-Лайн парк, Нью-Йорк

У дослідженні Я. Інуса і ін. [12, р. 44] наголошується, що морфологія міста є визначальним чинником його сталого розвитку. Міські структури, що наслідують природні ритми та фрактальні форми, здатні створювати більш гнучкі й адаптивні просторові системи. Замість жорстких геометричних планів, що підвищують ризик перегрівання міських територій, біоморфні структури сприяють природній вентиляції, регуляції сонячного випромінювання та формуванню комфортного мікроклімату.

Так, наприклад, у проєкті Масдар-Сіті (Masdar City), ОАЕ (рис. 12-13), першого у світі еко-міста майбутнього, біоморфні фасадні структури виконують роль своєрідних «фільтрів», що зменшують теплове навантаження, одночасно забезпечуючи природне освітлення. У цьому випадку архітектура наслідує як принципи пустельної екології, так і культурні традиції, трансформовані у високотехнологічний урбаністичний контекст.



Рис. 12-13. Масдар-Сіті, ОАЕ

Біоморфні підходи в архітектурі відіграють також важливу роль у соціальній стійкості міста. Згідно з К. Радха [19, р. 2], впровадження природних патернів у міське середовище зміцнює відчуття приналежності, знижує рівень стресу та сприяє соціальній інтеграції. Біоморфні парки, зелені дахи та фасади створюють простір для спільної взаємодії мешканців, що підвищує рівень соціальної згуртованості.

Зокрема, Bosco Verticale в Мілані (архіт. Стефано Боері) (рис. 14) є не лише прикладом екологічної стратегії інтеграції зелених фасадів, але й символом міської трансформації. Біоморфна вертикальна лісова система у цьому проєкті виконує одночасно екологічні (поглинання CO₂, зменшення шумового забруднення) та соціальні функції (створення «природних балконів», що сприяють взаємодії мешканців).



Рис. 14. Bosco Verticale, Мілан

Ще одним важливим аспектом є інтеграція біоморфних структур у міські водно-зелені системи. А. Хаді [10, р. 47] підкреслює значення створення «живих коридорів», які поєднують природні та урбанізовані простори, сприяючи таким чином створенню міської екологічної мережі. Такі рішення є особливо актуальними в умовах кліматичних змін, коли міста стикаються з ризиком підтоплень і перегрівання.

Прикладом такого проекту є Хамарбю Шьостад (Hammarby Sjöstad), Стокгольм (рис. 15), де система водних каналів і зелених насаджень організована за принципами природних екосистем. Тут біоморфна морфологія простору не лише підвищує привабливість району, але й виконує функцію кліматичної адаптації, сприяючи очищенню води та зниженню навантаження на інженерні мережі.



Рис. 15. Хамарбю Шьостад, Стокгольм

Дослідники [12, р. 45] також підкреслюють, що морфологічні характеристики міста відіграють ключову роль у формуванні регіональної ідентичності. Біоморфні форми, адаптовані до місцевого клімату та культурних традицій, дозволяють створювати унікальні урбаністичні образи, які зміцнюють локальну самобутність. Це видно на прикладі Садів біля Затоки у Сінгапурі (рис. 16), де «супердерева» поєднують біоморфну структуру з технологіями збору сонячної енергії та дощо-

вої води. У результаті створено простір, що виконує одночасно екологічні, соціальні та символічні функції, підкреслюючи унікальність міста як «екологічного мегаполісу».



Рис. 16. Сади біля Затоки, Сінгапур

Отже, ми бачимо, що роль біоморфних форм у розвитку сталих міських середовищ полягає у створенні інтегрованих екологічно орієнтованих структур, що поєднують природні принципи з інноваційними технологіями. Такий підхід сприяє екологічній стійкості (завдяки оптимізації мікроклімату, зниження енергоспоживання, підтримку біорізноманіття, соціальній інтеграції (завдяки формуванню простору для взаємодії та психологічного комфорту мешканців), створенню культурної унікальності (завдяки створенню міських морфологій, що резонують із природним та історичним контекстами). Біоморфні форми постають не лише як декоративний елемент міста, але як ключова стратегія формування сталого міського середовища, яке здатне відповідати на виклики XXI століття.

3. Особливості підходів до застосування інтеграції природних структур для підвищення енергоефективності та стійкості міського середовища

Сучасні підходи до інтеграції природних структур у міський простір ґрунтуються на концепціях біофільного дизайну та синьо-зеленої інфраструктури (Blue-Green Infrastructure, BGI). Вони розглядаються як ефективні стратегії підвищення енергоефективності, екологічної відповідальності та стійкості міського середовища. Їхня мета полягає у створенні міст, які поєднують технологічний прогрес із природними системами, формуючи гармонійне та придатне для життя середовище [13, p. 195; 16, p. 2007].

Ключові особливості інтеграції природних структур у міське середовище включають, зокрема, застосування зелених дахів і стін, синю інфраструктуру, біофільний дизайн, стратегії пасивного проектування, денне освітлення та природну вентиляцію, інтегроване планування.

У цьому контексті дослідники вказують на те, що, наприклад, рослинні покриття на дахах і фасадах сприяють зниженню ефекту міського теплового острова, підвищенню ізоляційних властивостей будівель, покращенню якості повітря та підтриманню міського біорізноманіття [21, p. 74]; синя інфраструктура, яка охоплює природні та напівприродні водні системи (річки, озера, болота), інтегровані у міський простір, використовується для управління водними ресурсами, запобігання повеням і стабілізації мікроклімату [13, p. 197]; біофільний дизайн сприяє інтеграції елементів природи в архітектурне середовище з метою підвищення фізичного та психологічного добробуту населення, а також відновлення зв'язку людини з природою [16, p. 2008]; стратегії пасивного проектування спрямовані на оптимізацію орієнтації будівель, використання вискоєфективної ізоляції та природної вентиляції, що сприяє зменшенню енергоспоживання на опалення й охолодження [17, p. 32]; розробка архітектурних рішень, що максимально використовують природне світло та рух повітря, знижує залежність від штучного освітлення й кондиціонування, підвищуючи енергоефективність об'єктів [17, p. 33]; комплексний підхід до розвитку міст поєднує синьо-зелену інфраструктуру з «розумними» технологіями та цифровими системами управління, створюючи адаптивні та стійкі урбаністичні простори [13, p. 199].

З цим пов'язані наступні переваги: природні елементи архітектури забезпечують зниження енергоспоживання через стабілізацію внутрішнього мікроклімату [17, р. 33]; зелені системи сприяють очищенню повітря, управлінню зливовими водами та підвищенню рівня міського біорізноманіття [21, р. 80]; інтеграція природних структур в міське середовище робить міські системи більш стійкими до кліматичних змін і екологічних ризиків [13, р. 201]; біофільні рішення підвищують естетичну привабливість міського середовища та позитивно впливають на якість життя його мешканців [16, р. 210].

На практиці серед найбільш поширених практик застосування біоморфних форм є синьо-зелена інфраструктура (BGI), що включає парки, міські ліси, зелені дахи та водні системи. Вона формує цілісну мережу екологічних і соціальних переваг у межах міської забудови [13, р. 202]. Часто має місце також інтеграція «зеленого будівництва» з інтелектуальними технологіями. Використання сенсорів і адаптивних систем управління дозволяє оптимізувати витрати енергії та забезпечити довгострокову екологічну стійкість [21, р. 81].

Дослідники вказують на те, що біомімікрія в архітектурі передбачає проєктування будівель і міських структур на основі природних процесів та форм з метою підвищення їхньої енергоефективності, стійкості та комфорту для мешканців [6, р. 210; 4, р. 127]. Архітектори та дизайнери черпають натхнення в ефективних структурах, властивих природі, таких як кістки, мушлі, термітники, рослинні органи та інші біологічні системи. Внаслідок цього з'являються будівлі, здатні адаптуватися до змін кліматичних умов і мінімізувати енергоспоживання без значного використання механічних систем опалення чи охолодження [24, р. 494; 7, р. 6].

Одним із найяскравіших прикладів застосування біомімікрії для енергозбереження є згаданий Центр Іст-Гейт у Зімбабве, спроектований Ноамом Фраєм (див. Рис. 3). Натхненням для пасивної системи вентиляції стала структура термітників, які регулюють температуру всередині курганів за допомогою відкривання та закривання вентиляційних каналів. У будівлі застосовано аналогічний принцип: природна вентиляція забезпечує регульовані теплові потоки, підтримуючи комфортну температуру в приміщеннях протягом усього року без використання кондиціонерів [6, р. 219; 4, р. 127]. Результатом такого підходу

стало значне зменшення енергоспоживання та підвищення стійкості будівлі до коливань зовнішньої температури.

Ще одним важливим прикладом у цьому контексті є архітектурні проекти Антоніо Гауді, зокрема Саграда Фамілія у Барселоні (рис. 4). Гауді активно використовував кісткоподібні гіперболоїдні структури, властиві природним організмам, для створення міцних і водночас матеріалоефективних конструкцій. Цей принцип дозволяв оптимізувати використання будівельних матеріалів, знижуючи їхню масу та одночасно підвищуючи структурну стійкість [4, р. 128; 6, р. 219].

Сучасні приклади біомімікрії включають фасади, які імітують поведінку рослин. Такі конструкції здатні динамічно реагувати на зміну освітлення та температури, контролюючи проникнення сонячного світла й повітря у внутрішні приміщення. Це дозволяє значно скоротити енерговитрати на освітлення, опалення та охолодження [24, р. 501; 7, р. 11]. Деякі фасади оснащені сенсорами та механізмами адаптації, які автоматично змінюють геометрію елементів покриття залежно від зовнішніх умов. Такі динамічні системи створюють ефект «живого будинку», який адаптується до кліматичних змін подібно до природних організмів.

До загальних принципів застосування біомімікрії відноситься орієнтація на природні принципи. Як модель для оптимізації управління енергією архітектори використовують природні процеси та форми, такі, як ефективний потік повітря, контроль сонячного випромінювання, стійкі структурні форми тощо [4, р. 129; 6, р. 218].

Крім того, використовується динамічна реакція, що означає, що будівлі можуть «реагувати» на зовнішні умови як живі організми, зменшуючи потребу в додаткових енергетичних витратах. Ця стратегія показала високу ефективність у різних кліматичних умовах та типах споруд [24, р. 502]. Запозичення природних принципів дозволяє знизити експлуатаційні витрати, покращити мікроклімат у будівлях і підвищити їхню довговічність [7, р. 11; 6, р. 217].

Що стосується застосування біоморфних форм та природоорієнтованих стратегій у сучасній архітектурі України, то треба сказати, що воно перебуває на стадії активного розвитку. Під впливом світових трендів сталого будівництва, а також зростання уваги до енергоефективності та екологічної безпеки, українські міста та приватні забудов-

ники все частіше впроваджують концепції біофільного дизайну та зелених технологій. Особливо характерним це є для у великих міст, таких як Київ, Львів, Харків, де щільність забудови та міський клімат потребують інтеграції природних структур для покращення мікроклімату та зниження споживання енергії [22, р. 17; 11, р. 8].

Набуває актуальності в Україні впровадження зелених дахів у міській забудові. В Україні такі технології застосовуються як у громадських, так і в приватних будівлях, сприяючи покращенню теплоізоляції, зменшенню ефекту міського теплового острова та управлінню дощовими водами [11, р. 9]. Наприклад, у Києві реалізовані декілька проєктів багатоповерхових житлових комплексів із зеленими дахами та вертикальним озелененням, що дозволяє значно знизити витрати на опалення та кондиціонування повітря протягом року (рис. 17–18).

Зелені фасади та дахи не лише покращують енергоефективність будівель, але й сприяють підвищенню біорізноманіття у міському середовищі, створюючи мікросередовище для птахів та комах, а також покращуючи якість повітря [11, р. 9; 23, р. 2]. Такий підхід є безпосереднім запозиченням принципів біоморфної архітектури, де природні процеси та форми інтегруються у функціональну структуру будівлі.

Також в українських містах активно впроваджується біофільний дизайн, зокрема у громадських і соціальних просторах, таких, наприклад, як школи, університети та офісні будівлі. Наприклад, Київський національний університет будівництва і архітектури впровадив принципи зеленого будівництва у проєктах кампусів, інтегруючи природні елементи у внутрішні дворики та фасади, що сприяє підвищенню комфорту перебування та енергетичної ефективності [22, р. 20].

Біофільні простори дозволяють зменшити психологічне навантаження на людей і стимулюють творчу активність, що є особливо важливим для освітніх та робочих середовищ [23, р. 3], що демонструє, що інтеграція природних структур у міське середовище має не лише технічне, але й соціальне значення.

Можна вважати, що в Україні є великий потенціал для впровадження біоморфних та природоорієнтованих рішень у містобудуванні. Інтеграція цих підходів в архітектуру міського середовища може не лише знизити енергоспоживання будівель, але й підвищити якість життя мешканців та екологічну стійкість міст.



Рис. 17. Житловий комплекс «Diadans» у Києві

Біоморфні рішення, натхненні природою, забезпечують комплексний вплив на функціональні та екологічні характеристики сучасних будівель, сприяючи ефективному регулюванню мікроклімату, зниженню енергоспоживання та підвищенню екологічної стійкості [20, р. 99; 8, р. 121]. Використання природних візерунків, матеріалів та геометричних форм дозволяє будівлям «взаємодіяти» з навколишнім середовищем, зменшуючи залежність від механічних систем та оптимізуючи природні процеси, такі як вентиляція, освітлення та терморегуляція.



Рис. 18. Житловий комплекс «Fjord» у Києві

Одним із основних напрямів застосування біоморфних рішень є покращення мікроклімату забудованих середовищ. Використання стратегій пасивного дизайну передбачає інтеграцію природних елементів, таких як затінені внутрішні дворики, веранди та зелені покриття, для оптимізації теплового балансу будівлі та покращення циркуляції повітря [2, р. 3]. Наприклад, у згаданому Центр Іст-Гейт у Зімбабве застосовано принципи пасивної вентиляції, натхненні термітниками, що дозволяє підтримувати стабільну температуру в будівлі без використання кондиціонерів [6, р. 221].

Природна вентиляція у біоморфних архітектурних проєктах реалізується через орієнтацію будівель, геометрію фасадів та структурну артикуляцію. Оптимізована перехресна вентиляція знижує потребу в механічному охолодженні та сприяє більш рівномірному розподілу повітряних потоків у приміщеннях [1, р. 28]. Динамічна адаптація фасадів до змін освітлення та температури, як, наприклад, у біомімітичних конструкціях, демонструє значне підвищення внутрішнього комфорту та стабільності мікроклімату.

Біоморфна архітектура сприяє також значному зниженню енергоспоживання. Нещодавні дослідження показують, що використання природного денного світла, інтегрованого в конструктивні та фасадні рішення, дозволяє зменшити витрати на освітлення та кондиціонування [15, р. 232]. Крім того, імітація природних моделей зростання, таких як деревні крони та кісткові структури, оптимізує використання матеріалів та створює легкі, але міцні конструкції, що зменшує енергетичні та ресурсні витрати на будівництво [8, р. 98; 20, р. 135].

Також треба вказати на те, що інтеграція таких принципів у житлові та комерційні будівлі забезпечує ефективне використання енергії, що відбувається завдяки природному затіненню, акумуляції тепла та керованій вентиляції. Нещодавні дослідження показують, що біоморфні фасади та структури можуть знижувати енергоспоживання на опалення та охолодження до 30–40 % порівняно з традиційними будівлями [9, р. 2].

Важливо також зазначити, що біоморфні підходи сприяють розвитку екологічно збалансованого середовища, включаючи інтеграцію зелених зон, водних елементів та біофільних просторів. Такі рішення забезпечують підвищення стійкості міст до кліматичних змін та екологічних загроз, таких як підвищення температури чи надмірне споживання ресурсів [2; 1, р. 28].

Як на приклад цього можна вказати на біофільну реконструкцію міських громадських просторів, де застосовуються зелені фасади, внутрішні сади та адаптивні водні системи для покращення якості повітря та зниження теплового навантаження, про що йдеться в одному з нещодавніх досліджень [20, р. 139]. Як показано в нещодавніх дослідженнях, у результаті цього формуються простори, котрі не лише зменшують негативний вплив будівель на навколишнє середовище, але й покращують здоров'я та добробут мешканців, підвищуючи психологічний та фізичний комфорт [9, р. 3].

Ми можемо, таким чином, бачити підтвердження того, що біоморфні підходи доводять свою ефективність у забезпеченні сталого розвитку міст, зменшенні споживання енергії та покращенні мікроклімату. Сучасні дослідження підтверджують, що ці підходи демонструють потенціал для поєднання інноваційної естетики з функціональною та екологічною стійкістю, що робить їх перспективними для широкого впровадження у сучасному будівництві [20, р. 141; 9, р. 10].

4. Висновки

Проведений аналіз показав, що біоморфні форми, в основі яких лежать природні структури та процеси, відіграють ключову роль у трансформації архітектури та міського середовища в напрямку сталого розвитку, поєднуючи естетичний вимір із функціональною ефективністю, забезпечуючи гармонізацію між побудованим простором і природою. Завдяки інтеграції біоморфних рішень архітектори отримують інструмент для регулювання мікроклімату, оптимізації енергоспоживання та підвищення екологічної стійкості міст. У цьому контексті важливим є застосування як пасивних стратегій, таких як природна вентиляція, затінення, денне освітлення, так і активних технологій, що підтримують енергоефективність та здорове середовище для мешканців.

Крім екологічного виміру, біоморфні рішення сприяють підвищенню якості життя та добробуту людини. Біофільний дизайн, що тісно переплітається з біоморфними принципами, демонструє позитивний вплив на психофізіологічний стан мешканців, формуючи середовище, яке стимулює комфорт, продуктивність і соціальну взаємодію. Таким чином, біоморфні форми стають не лише інструментом архітектурної інновації, але й стратегічним чинником у створенні більш адаптивних, екологічно збалансованих і стійких міських систем.

Було продемонстровано, що інтеграція природних структур у сучасну архітектуру виступає одним із провідних напрямів архітектурної інновації, оскільки дозволяє поєднати технічні досягнення з екологічними та естетичними засадами. Використання принципів біомімікрії та біофільного дизайну сприяє розробці нових конструктивних рішень, що забезпечують адаптивність будівель до змін клімату, зменшення енергоспоживання та підвищення комфорту мешканців. Природні аналоги, зокрема геометричні форми рослин, структурні властивості черепашок чи термітників, не лише надихають архітекторів, але й формують підґрунтя для створення матеріалів та технологій нового покоління, орієнтованих на сталість та довговічність.

Застосування природних структур розширює межі архітектурної творчості, дозволяючи інтегрувати в дизайн інноваційні фасадні системи, енергоактивні оболонки та адаптивні конструкції, що взаємодіють із навколишнім середовищем. Такі рішення демонструють,

що архітектура, спираючись на закономірності природи, здатна виходити за межі традиційного проектування, створюючи гармонійні, технологічно просунуті й водночас екологічно відповідальні простори. У цьому сенсі інтеграція природних структур стає не лише джерелом естетичних образів, але й рушієм глибинної трансформації архітектури, спрямованої на досягнення балансу між інноваційністю та стійкістю міського розвитку.

Список літератури:

1. Africa J., Heerwagen J., Loftness V., Balagtas C. R. Biophilic Design and Climate Change: Performance Parameters for Health. *Frontiers in Built Environment*. 2019. Vol. 5. P. 28. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.0002>
2. Almusaed A. Biophilic and bioclimatic architecture: Analytical therapy for the next generation of passive sustainable architecture. Springer, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-534-7>
3. Benyoucef Y. M., Razin A. Biomimicry architecture, from the inspiration by nature to the innovation of the Saharan architecture. 2019. DOI: <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2018-3-4-3-12>
4. Bijari M., Aflaki A., Esfandiar M. Plants Inspired Biomimetics Architecture in Modern Buildings: A Review of Form, Function and Energy. *Biomimetics*. 2025. Vol. 10. No. 2. P. 124. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomimetics10020124>
5. Chayaamor-Heil N. Biomimicry: optimization strategy from nature towards sustainable solutions for energy-efficient building design. *Advances on Sustainable Cities and Buildings Development*. Porto, Portugal, 15–17 November 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/330503097_Biomimicry_optimization_strategy_from_nature_towards_sustainable_solutions_for_energy-efficient_building_design
6. Chayaamor-Heil N. From Bioinspiration to Biomimicry in Architecture: Opportunities and Challenges. *Encyclopedia*. 2023. Vol. 3. P. 202–223. DOI: <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010014>
7. Estévez A. T. Sustainable Nature-Inspired Architecture. In *Sustainable Engineering Technologies and Architectures*. 2021. P. 1–24. DOI: https://doi.org/10.1063/9780735424036_004
8. Fikriarini A., Ishomuddin M. Biomorphic architecture approach in building form based on environmental concern. *Jurnal Teknologi*. 2016. Vol. 78. No. 5. P. 97–202. DOI: <https://doi.org/10.11113/jt.v78.8281>
9. Gadhi A., Tiwari A., Qurnfulah E. M. Biophilic Urbanism's Impact on Sustainable Development: Challenges and Opportunities. *Journal of Sustainable Development*. 2024. Vol. 17. No. 6. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.5539/jsd.v17n6p1>
10. Hady S. I. M. A. Activating biophilic design patterns as a sustainable landscape approach. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2021. Vol. 68. No. 46. DOI: <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00031-x>

11. Hnilskurenko M., Ivanchenko K. Green Roofs as a Tool of Sustainable Development: Analysis of the Experience of Ukraine and the World. *Research and Methodological Works of the National Academy of Visual Arts and Architecture*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.32782/2411-3034-2025-37-1>
12. Yaktor J. I., Doris H. C. T., Kum W. Y. Urban Form and the Role of Urban Morphological Characters in Town-Plan Regionalization: A Systematic Review. *Architecture and Urban Planning*. 2022. Vol. 18. No. 1. P. 43–56. DOI: <https://doi.org/10.2478/aup-2022-0005>
13. Kanade T., Batule R. B. Exploring Blue and Green Infrastructure Options for Urban Integration. In *Integrating Blue-Green Infrastructure Into Urban Development*. IGI Global, 2024. P. 195–222. DOI: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8069-7.ch010>
14. Kellert S. R., Heerwagen J. H., Mador M. L. Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2008.
15. Nagy G., Osama N. Harmonizing health and sustainability: Advanced analytical approaches in biophilic architectural design. *Applied and Computational Engineering*. 2024. Vol. 66. No. 1. P. 231–236. DOI: <https://doi.org/10.54254/2755-2721/66/20240961>
16. Nasrullah N., Syafri S. Innovative Sustainable Design Approaches in Urban Architecture: Balancing Aesthetics and Environmental Impact. *Global International Journal of Innovative Research*. 2024. Vol. 2. No. 9. P. 2007–2024. DOI: <https://doi.org/10.59613/global.v2i9.290>
17. Olatunde T., Okwandu A., Akande D. O., Sikhakhane Z. Q. Energy efficiency in architecture: Strategies and technologies. *Journal of Multidisciplinary Studies*. 2024. Vol. 7. No. 2. P. 031–041. DOI: <https://doi.org/10.53022/oarjms.2024.7.2.0024>
18. Özek V., Yeler G. M. Biomorphism as a design instrument of architectural shape – A discussion on morphological concepts. 2009. URL: https://www.academia.edu/78058818/Biomorphism_as_a_Design_Instrument_of_Architectural_Shape_A_Discussion_on_Morphological_Concepts
19. Radha C. H. Biophilic design as a new approach in urban sustainability. *Pollack Periodica*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1556/606.2021.00424>
20. Sajadirad F., Masoumi S., Mastouri R. Designing Sustainable and Energy-Efficient Buildings through Biomorphic and Climatic Architectural Strategies. *International Journal of Sustainable Development Goals*. 2025. Vol. 1. P. 99–143. DOI: <https://doi.org/10.59543/ijdsdg.v1i.14691>
21. Sapuan N. M., Faizah H. N., Kumaran V. V., Mohd Saudi N. S. Green Building Best Practices in Achieving Energy and Environmental Sustainability. *Environmental Management and Sustainable Development*. 2022. Vol. 11. No. 4. P. 74–92. DOI: <https://doi.org/10.5296/emsd.v11i4.21052>
22. Varavin D., Kryvomaz T. Applying of green building standards for implementation of the city development strategies in Kyiv. *USEFUL*. 2019. Vol. 3. No. 1. P. 16–30. DOI: <https://doi.org/10.32557/useful-3-1-2019-0003>

23. Vasiuta V., Kryvoshei D. “GREEN” Construction as a Promising Direction for the Development of Small Entrepreneurship in Ukraine. *Economy and Enterprise Management*. 2021. DOI: [https://doi.org/10.26906/EiR.2021.4\(83\).2525](https://doi.org/10.26906/EiR.2021.4(83).2525)

24. Webb M. Biomimetic building facades demonstrate potential to reduce energy consumption for different building typologies in different climate zones. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2022. Vol. 24. P. 493–518. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02183-z>