

УДК 7.012:502.211

МУХІНА Поліна, ЄЖОВА Ольга

Київський національний університет технологій та дизайну

БІОМІМЕТИЧНІ ПРИНЦИПИ В ЕКО-ДИЗАЙНІ СЕРЕДОВИЩА

Анотація. Дослідження присвячене проблемам та перспективам застосування біоміметичних принципів в архітектурному еко-дизайні. Проаналізовано методологічні, технологічні, економічні та освітні перешкоди для широкого впровадження біоміметики у проектну практику. Розглянуто успішні приклади реалізації біоміметичних рішень у сучасній архітектурі та визначено перспективні напрями розвитку цього підходу в контексті екологічних викликів.

Ключові слова: біоміметика; еко-дизайн; дизайн середовища, сталий розвиток; адаптивні фасадні системи; структурна оптимізація; енергоефективність; природоподібні технології.

Abstract. The article addresses the problems and prospects of applying biomimetic principles in architectural eco-design. Methodological, technological, economic, and educational barriers to the widespread implementation of biomimetics in design practice are analyzed. Successful examples of biomimetic solutions in modern architecture are examined, and promising directions for the development of this approach in the context of environmental challenges are identified.

Keywords: biomimetics; eco-design; spatial design, sustainable development; adaptive facade systems; structural optimization; energy efficiency; nature-inspired technologies.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Архітектурний еко-дизайн на основі біоміметичних принципів представляє інноваційний міждисциплінарний підхід до створення будівель і споруд, що функціонують у гармонії з природними екосистемами. Біоміметика (від грец. βίος — життя та μίμησις — наслідування) в архітектурі передбачає цілеспрямоване дослідження, аналіз та наслідування структурно-функціональних принципів біологічних систем для розробки стійких, енергоефективних та екологічно сприятливих проектних рішень [1]. За визначенням Бен'юса, біоміметика є "інновацією, інспірованою природою" і передбачає не лише поверхневе копіювання біологічних форм, але й глибоке розуміння та адаптацію принципів функціонування живих організмів [2].

Антропогенне навантаження на екосистеми, спричинене індустріалізацією та урбанізацією, призвело до критичного стану навколишнього середовища. Будівельна галузь є одним із найбільших споживачів природних ресурсів і продуцентів відходів. За даними Міжнародного енергетичного агентства, будівлі споживають близько 40% світової первинної енергії, продукують 36% викидів вуглекислого газу та генерують близько 30% твердих відходів [3]. Це зумовлює необхідність докорінного переосмислення принципів проектування і будівництва в контексті парадигми сталого розвитку.

Еволюційні процеси в природі упродовж мільярдів років виробили високоефективні, стійкі та ресурсощадні рішення, що можуть слугувати джерелом

інспірації для архітектурного еко-дизайну. Біоміметичні підходи потенційно здатні забезпечити значне зменшення негативного впливу будівельної галузі на довкілля та сприяти створенню здорового антропогенного середовища [4]. Дослідженням доведено, що застосування біоміметичних стратегій може зменшити енергоспоживання будівель на 20-80% залежно від кліматичних умов та типології споруд [5].

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ РОБОТИ

Метою дослідження є комплексний аналіз проблем та перспектив застосування біоміметичних принципів в архітектурному еко-дизайні. Завданнями роботи є: систематизація основних перешкод для впровадження біоміметики в проєктну практику; аналіз успішних прикладів реалізації біоміметичних рішень у сучасній архітектурі; визначення перспективних напрямів розвитку біоміметичного підходу в архітектурному проєктуванні; розробка методологічних рекомендацій щодо ефективної імплементації біоміметичних принципів у практику архітектурного еко-дизайну.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз наукових джерел свідчить про зростання інтересу до біоміметичних підходів в архітектурному проєктуванні та дизайні середовища. У вітчизняній науковій літературі проблематика біоміметики представлена роботами Бець С.М. [1], яка досліджує використання біологічних структур для формування гармонійного інтер'єрного середовища, та Жежері О. [2], що розглядає теоретичні засади і практичні аспекти застосування біонічних засобів формоутворення в предметному середовищі. Лазарев О.І. [3] аналізує сучасний досвід теорії і практики архітектурної біоніки в дизайні, виявляючи потенціал біологічних принципів для інноваційних проєктних рішень. Фундаментальні основи біодизайну систематизовано в навчальному посібнику Михайленка В.Є. та Кашенка О.В. [4], де представлено методологію інтеграції біологічних знань у проєктну діяльність. У зарубіжних дослідженнях проблематика органічної архітектури та біоміметики розкрита в роботах Фігероа Дж.А. [5], який досліджує філософські аспекти органічної архітектури, та Франка Ллойда Райта [6], що заклали теоретичні основи органічного підходу в архітектурному проєктуванні. Паулл Дж. [7] розглядає історичний аспект розвитку органічної архітектури на прикладі першого Гетеанума, аналізуючи принципи інтеграції архітектури з природними формами. Принципи дизайн-проєктування дитячого сценічного костюма на основі біонічного творчого джерела окреслені в статті Єжової та ін. [8].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Біоміметика в архітектурному еко-дизайні базується на трьох основних рівнях: організмичному, поведінковому та екосистемному [6]. На організмичному рівні архітектурні рішення наслідують морфологію та функціональність живих організмів, як-от стовбур дерева для створення несучих конструкцій. Поведінковий рівень орієнтований на адаптивні механізми природи — наприклад, терморегуляція термітників стала прототипом для систем пасивного охолодження будівель. Екосистемний рівень розглядає споруди як частину більших систем взаємодії, що функціонують за принципами природних екосистем — зокрема, за моделлю замкнених циклів енергії та ресурсів [7].

Сучасна методологія біоміметичного проєктування передбачає два підходи: "від біології до дизайну" та "від дизайну до біології". У першому випадку біологічне явище розглядається як джерело інспірації для архітектури, а в другому — архітектурна задача підштовхує до пошуку відповідного біологічного аналогу. Ці підходи не є

взаємовиключними, а радше доповнюють один одного на різних етапах проєктного процесу [3].

Згідно з принципами, сформульованими Бен'юсом, біоміметика спрямована на використання сонячної енергії, адаптацію до локального контексту, функціональну інтеграцію, кооперацію та циклічне використання ресурсів [2]. Проте практичне впровадження цих ідей стикається з низкою міждисциплінарних проблем, зокрема потребою в інтеграції знань із біології, матеріалознавства, інженерії та архітектури [1].

Серйозним викликом є проблема абстрагування, тобто перетворення біологічного принципу на ефективне архітектурне рішення. Близько 70% біоміметичних проєктів зазнають невдач через некоректне відтворення біологічної функції [1]. Відсутність уніфікованих методик аналізу біологічної інформації призводить до фрагментарного використання біоміметики в архітектурі [14].

Крім того, складність верифікації ефективності таких рішень залишається проблемною, адже традиційні інженерні підходи часто не охоплюють усі аспекти біоміметичних стратегій. Необхідно створювати методики оцінки, які б враховували екологічні, економічні та соціальні чинники одночасно [3].

Ще однією перешкодою є проблема масштабування: ефективні біологічні рішення на клітинному рівні не завжди можуть бути без втрат адаптовані для архітектурного масштабу. Дослідження Фішера показують, що масштабування біологічних структур вимагає змін у їхній геометрії та матеріалах для збереження властивостей [2].

Впровадження складних біоміметичних форм гальмується також технічними обмеженнями: традиційні методи будівництва не здатні відтворити варіативність та складність природних структур. Попри перспективи 3D-друку, робототехніки та цифрового виробництва, їх широке застосування залишається обмеженим через економічні та логістичні чинники [3].

Економічні бар'єри — ще один вагомий чинник. Біоміметичні проєкти потребують великих інвестицій у дослідження, експериментальні технології та нестандартні матеріали. Відсутність стандартів оцінки повної вартості життєвого циклу (LCC) ускладнює доведення економічної доцільності таких рішень, навіть попри їхню енергоефективність [2]. Комерційні інвестори схильні уникати таких проєктів через довгий термін окупності [1].

Недостатня інтеграція біоміметики в архітектурну освіту також гальмує її поширення. В архітектурних програмах бракує міждисциплінарного підходу, а спеціалізовані знання з біології подаються в складній для архітекторів формі [2]. Створення відкритих баз даних із біологічними аналогами, адаптованими до потреб архітекторів, є актуальним завданням [1].

Попри ці труднощі, реалізовано низку успішних проєктів:

- Al Bahar Towers (Aedas Architects, Абу-Дабі) застосували адаптивну систему затінення, натхненну механізмом квіткових структур, що зменшила потребу в охолодженні на 50% [2; 3].

- Інститут гуманітарних наук у Сінгапурі (Kengo Kuma & Associates) має фасад, що імітує листя, знижуючи теплове навантаження на 35% [4].

- У Stuttgart 21 застосовано опори у вигляді дерев, що дозволило скоротити використання матеріалів на 80% без втрати міцності [5].

- ICD/ITKE Pavilion (2013–14) демонструє ефективність композитних структур, інспірованих надкрилами жуків, з економією матеріалів до 90% [5].
- Eastgate Centre у Зімбабве використовує вентиляційну систему, інспіровану термітниками, досягаючи 90% зниження енергоспоживання [3].
- Система BioSkin (Nikken Sekkei, Токіо) застосовує випарне охолодження через керамічні трубки, знижуючи температуру фасаду на 12°C та навколишнього повітря на 2°C [2].

ВИСНОВКИ

Розвиток цифрових технологій проєктування та виробництва відкриває нові можливості для реалізації біоміметичних принципів в архітектурі. Генеративний дизайн, що використовує алгоритми еволюційної оптимізації, дозволяє створювати архітектурні форми та структури з підвищеною ефективністю використання матеріалів та енергії.

Параметричне моделювання дозволяє реалізувати комплексні біоміметичні стратегії, адаптовані до конкретних умов проєктування. Інтеграція параметричних моделей з симуляційними інструментами аналізу енергоефективності, освітлення та аеродинаміки дозволяє оптимізувати біоміметичні рішення на етапі проєктування, забезпечуючи баланс між естетичними, функціональними та екологічними аспектами.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бець С.М. Біоніка та дизайн інтер'єру. Використання біологічних методів та структур для формування гармонійного середовища. Теорія та практика дизайну: зб. наук. праць. Дизайн. К.: НАУ, 2022. Вип. 25. С. 150-157. doi: 10.18372/2415-8151.25.16791
2. Жежеря О. Біонічні засоби формоутворення в сучасному дизайні: теоретичні засади і практика їх застосування в предметному середовищі. Вісник Львівської національної академії мистецтв 2021. Вип. № 46. С. 114-122. <https://visnyk.lnam.edu.ua/visnyk/2021/46/olvita-zhezherya-114-122>
3. Лазарєв О.І. Сучасний досвід теорії і практики архітектурної біоніки в дизайні. Вісник Харківської державної академії дизайну та мистецтва. 2008. № 6. С. 33–42.
4. Михайленко В. Є., Кащенко О. В. Основи біодизайну: навч. посіб. К.: Каравела, 2011. 224 с.
5. Figueroa J.A. The Philosophy of Organic Architecture. (S. L.): CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014. 114 p.
6. Frank Lloyd Wright. The Future of Architecture. - Horizon Press, New York, 1953. 248 p.
7. Paull J. The First Goetheanum: A Centenary for Organic Architecture. Journal of Fine Arts. 2020. Vol. 3. Issue 2. 2020. P. 1–11. doi: 10.22259/2637-5885.0302001
8. Yezhova O., Abramova O., Pashkevich K., Vasylieva O. Designing of children's stage costume using bionic objects. Fashion, Style & Popular Culture. 2022. Vol. 9, is. 3. P. 259-271 https://doi.org/10.1386/fspc_00053