

УДК 72.012:04 + 693.4

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2025.35.2>

ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПІВ БІОМІМЕТИКИ В АДАПТИВНИХ ФАСАДАХ

**Бурлак Галина Михайлівна¹, Вілінська Людмила Миколаївна²,
Курілович Катерина Володимирівна³**

¹ кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна,
e-mail: demiga89@gmail.com, orcid: 0000-0002-3259-1568

² кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна,
e-mail: vilsem56@gmail.com, orcid: 0000-0003-4597-2527

³ магістрантка кафедри архітектури будівель та споруд,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна,
e-mail: kate04k06@gmail.com, orcid: 0000-0002-7894-8446

***Анотація.** Біоміметика за допомогою принципів, натхнених природними процесами, дозволяє створювати інноваційні архітектурні рішення, здатні ефективно реагувати на зміни кліматичних умов.*

***Мета.** Проаналізувати використання біоміметичних принципів в адаптивних фасадних системах для підвищення енергозбереження будівель і забезпечення комфортного мікроклімату. На основі дослідження запропонувати ескізний проєкт готелю, який функціонуватиме за принципами біоміметики.*

***Методологія.** У роботі проведено аналіз наукових джерел, сучасних архітектурних практик і міжнародних проєктів (Institute du Monde Arabe, Al Bahar Towers, The Edge), що демонструють упровадження кінетичних фасадів, сенсорних технологій і адаптивних систем. Виконано порівняльний аналіз ефективності різних фасадних рішень і розроблено ескізний проєкт готельного комплексу.*

***Результати.** Показано, що застосування біоміметичних технологій дозволяє знижувати енергоспоживання будівель на 30–70% завдяки природному регулюванню мікроклімату. Розроблений ескізний проєкт готелю в Одесі передбачає фасадну систему, що імітує поведінку раковин мідій, з панелями, які автоматично відкриваються та закриваються залежно від умов навколишнього середовища. Використання самоочисних матеріалів на фасаді зменшує час обслуговування систем.*

***Наукова новизна.** Уточнено механізми застосування біоміметичних принципів на рівні форми, процесу й екосистеми для проєктування адаптивних фасадів. Розроблений проєкт готелю демонструє інноваційний підхід до інтеграції біоміметики в сучасну архітектуру, поєднуючи естетичність і функціональність.*

***Практична значущість.** Запропоновані підходи можуть бути використані для проєктування енергоефективних будівель в умовах мінливого клімату. Результати дослідження слугують основою для впровадження сталих архітектурних рішень у регіонах зі спекотним літом і м'якою зимою, як-от Одеса.*

***Ключові слова:** біоміметика, адаптивні фасади, енергоефективність, кінетичні фасади, природне охолодження, параметризм, природна вентиляція, біокліматичні принципи, екологічність.*

ВСТУП

Сучасні будівлі споживають значну кількість енергоресурсів, що негативно впливає на довкілля і сприяє глобальному потеплінню. Традиційні фасадні системи часто є енерговитратними, оскільки не забезпечують ефективного регулювання теплових і світлових потоків. Окрім того, архітектори стикаються з викликом створення енергозберезувальних рішень, що водночас відповідають естетичним і функціональним вимогам.

Використання біоміметичних принципів в архітектурі дозволяє черпати натхнення із природи для розроблення адаптивних фасадів, здатних реагувати на зміну зовнішніх умов, знижуючи енергоспоживання. Проте залишається проблема інтеграції таких інноваційних технологій у будівництво. Необхідні подальші дослідження для розроблення ефективних методів проектування, що базуються на принципах біоміметики, з метою підвищення комфорту мешканців.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Біоміметика проявляється на різних рівнях архітектури. Основними рівнями біоміметики є форма, процес і екосистема. Форма проявляється через імітацію окремого елемента чи організму загалом. Процес передбачає моделювання поведінки. Третій рівень стосується імітацію цілих екосистем і загальних засад їх успішного функціонування. Розвиток біоміметичних принципів в архітектурі надає нові можливості для інтеграції природних адаптивних рішень. Адаптивні фасади є ключовим елементом для забезпечення сталого розвитку будівель і підвищення енергозберезання. У роботах С. Еттіа, Р. Ліур, К. Деклод, М. Михер [10; 14] обговорюються основні концепції та майбутні тенденції адаптивних фасадних систем, які здатні змінювати свої властивості залежно від умов навколишнього середовища. Також зазначається, що такі фасади регулюють теплові та світлові потоки, що сприяє оптимізації внутрішнього середовища будівлі. Застосування біокліматичного підходу до використання кольору у фасадах висотних будівель ґрунтується на використанні природних аналогів і пов'язано із провадженням новітніх проектних і технологічних рішень [4].

М.П. Войт, Д. Рот, Х. Бінз у дослідженні [18] зосереджуються на викликах життєвого циклу адаптивних фасадів, підкреслюють їхню ефективність у довгостроковій перспективі, а також на можливих складностях їх експлуатації. Наведено приклади успішного застосування адаптивних фасадів,

зокрема в будівлях Institute du Monde Arabe та Al Bahar Towers [15; 19]. Дані проекти демонструють значний потенціал інноваційних фасадних рішень у зниженні потреби в кондиціонуванні приміщень. Зокрема, ефективність кінетичних фасадів підтверджується на прикладі кампусу в Колдінгу, де було досягнуто помітне зменшення енергоспоживання. Будівля The Edge ілюструє успішне впровадження сенсорних технологій для оптимізації витрат енергії [9; 13].

К. Бедон, Д. Хонфі, К. Мачалицька, М. Ельязова, М. Вокач, М. Козловські, Т. Вйост, Ф. Сантос, Н.В. Портал, Дж. Бйок, Ю. Кнаак, М. Хемерлінг і С. Соудіан, Ю. Берарді [11; 12; 16; 17] у своїх працях розглянули методи проектування і автоматизації функції адаптивних фасадів. Такі фасади становлять перспективний напрям для сучасної архітектури, орієнтованої на стійкість і ефективність. Показані теоретичні аспекти біоміметики в архітектурі [1; 2], підкреслено важливість природних адаптивних рішень для зменшення енергоспоживання будівель. Зокрема, Н. Вергунова в [1] аналізує теоретичні основи біоміметики на прикладі архітектурних об'єктів, демонструє, як природні форми можуть впливати на дизайн будівель, що підвищує їхнє енергозберезання. О. Жежеря у своїй праці [2] розглядає тенденції біоміметичної архітектури та її значення в контексті соціальних і кліматичних криз. Параметризм є одним із конструктивних методів для створення природно адаптивних форм в архітектурі [7]. Це дослідження показує, як сучасні технології дозволяють архітекторам створювати будівлі, здатні адаптуватися до навколишнього середовища, тим самим зменшуючи енергоспоживання. Передумови формування біоніки в архітектурі розглядаються Д. Кравцовим та І. Цвіговською у [3], вони акцентують увагу на її еволюції та впливі на сучасний підхід до проектування будівель, що мають низьке енергоспоживання. Цей напрям показує перспективи розвитку стійкої архітектури, здатної інтегрувати природні принципи у свою структуру, а в [6] пропонується науковий дискурс щодо органічної архітектури та її ролі в сучасному просторово-предметному середовищі. Також розглядається значення органічних форм і матеріалів, що сприяють більш природному і гармонійному середовищу для користувачів, що також позитивно впливає на енергоефективність будівель. Одним зі способів уникнення екологічних проблем є активне застосування біонічних принципів в архітектурі, проектуванні та будівництві «екологічних» міст і населених пунктів [5]. Необхідно також зазначити, що

не досліджено огляд і класифікаційний аналіз інноваційних фасадних систем XXI ст. [8]. Чжан Х., Чжан Г., Ван Ю., Ши Х. [20] проведено ґрунтовний огляд сучасних адаптивних фасадів, зокрема і їхнього дизайну, методів оцінювання ефективності та систем управління. Автори акцентують увагу на важливості інтеграції інтелектуальних технологій для забезпечення енергоефективності й адаптації будівель до змінних умов навколишнього середовища. Однак ці дані існують фрагментарно і не структуровані належним чином, що потребує подальшого дослідження та визначення класифікаційних особливостей.

МЕТА

Провести аналіз використання біоміметичних принципів в адаптивних фасадних системах сучасних будівель для підвищення їх енергозбереження та забезпечення комфортного мікроклімату для мешканців. Розроблення ескізного проєкту готелю, якій передбачає функціонування за принципами біоміметики.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Адаптивні системи забезпечують оптимальний мікроклімат і значну економію енергоресурсів, що робить їх ключовим елементом сучасних енергоефективних будівель. Біоміметичні принципи в архітектурі дають змогу створювати інноваційні адаптивні фасадні системи, що значно підвищують енергозбереження будівель, особливо в умовах мінливого клімату. Кінетичні елементи дозволяють значно знизити енергоспоживання, що доведено на прикладах міжнародних

проєктів, як-от Institute du Monde Arabe, Al Bahar Towers. Сучасні архітектурні підходи, як-от параметризм, дозволяють створювати природно адаптивні форми, які відповідають зовнішнім кліматичним умовам, що сприяє покращенню енергозбереження будівель.

Institute du Monde Arabe у Парижі (рис. 1) є одним із найяскравіших прикладів архітектури, яка поєднує сучасні технології з культурною символікою і енергоефективністю. Проєкт, розроблений відомим архітектором Жаном Нувелем у 1987 р., відображає синтез арабської та європейської культур, а його фасад є ключовим елементом, що символізує цю концепцію.

Фасад будівлі вирізняється унікальною системою механічних діафрагм, які нагадують традиційні арабські візерунки. Фасад складається із 240 рухомих металевих діафрагм, кожна з яких оснащена фотоелементами, що реагують на інтенсивність сонячного світла. Ці діафрагми автоматично відкриваються і закриваються протягом дня, змінюють свою структуру для контролю потоку світла, яке потрапляє всередину будівлі. Кожен механізм вікон має 18 рухомих частин, що дозволяють досягти тонкої регуляції освітлення. Ця адаптивна система дозволяє значно знизити потребу у використанні штучного освітлення та кондиціонування, оскільки будівля природно контролює рівень температури й освітленості. Улітку фасад зменшує проникнення сонячного світла, допомагає підтримувати прохолоду всередині, а взимку він дозволяє більшій кількості світла проникати у приміщення, допомагає зігріти простір. Завдяки такій

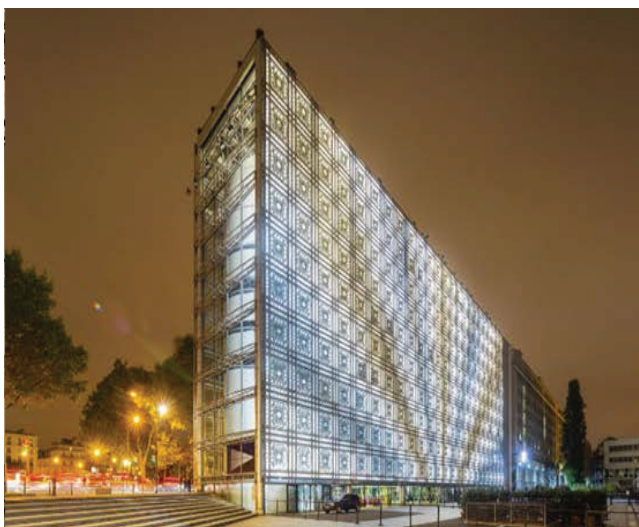
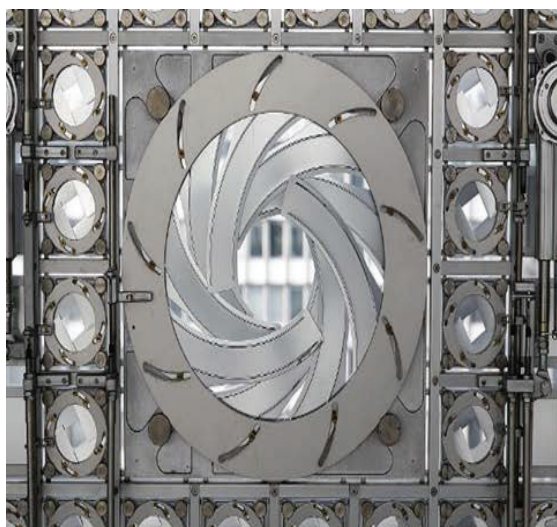


Рис. 1. Фотофіксації. Institute du Monde Arabe (Париж, Франція).
(Джерело: <https://www.shutterstock.com/search/institute-du-monde-arab>)

інноваційній адаптивній системі вдалося досягти зниження енергоспоживання будівлі на 30%. Це значне скорочення стало можливим завдяки зменшенню використання штучного освітлення та кондиціонування повітря, оскільки природні кліматичні умови ефективно регулюються фасадом. У наведеному прикладі використано біоміметичний принцип на рівні форми. Такий принцип роботи нагадує те, як зір живих організмів адаптується до змін освітлення, реагуючи на яскравість та інтенсивність світла.

The Al Bahar Towers (2012 р.) в Абу-Дабі є символом сучасної адаптивної архітектури, де технології служать для підвищення комфорту мешканців і зменшення негативного впливу на довкілля. Фасад задуманий як сучасна інтерпретація традиційної ісламської «машрабії» – архітектурного елемента, який використовується в архітектурних об'єктах для зменшення відблисків і сонячного випромінювання (рис. 2).

Ця сучасна машрабія має понад 2 000 динамічних одиниць, які можуть відкриватися та

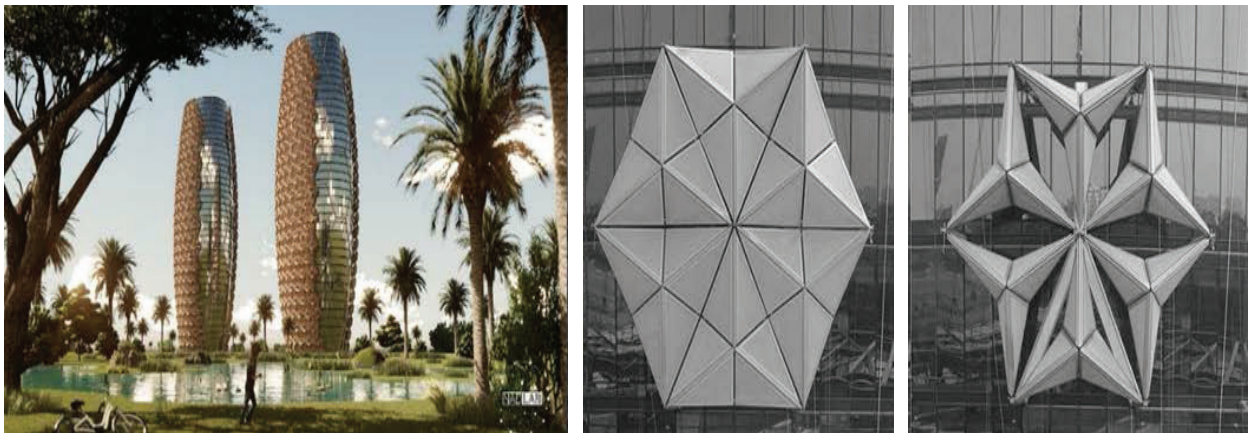


Рис. 2. Фотофіксації. The Al Bahar Towers (Абу-Дабі, ОАЕ) та фасадна система.
The Al Bahar Towers (Абу-Дабі, ОАЕ). (Джерело: Al Bahar Towers Responsive Facade / Aedas", 5 Sep 2012. ArchDaily. Accessed 5 Sep 2024. <<https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas>> ISSN 0719-8884)

закриватися згідно з рухом сонця, зменшуючи сонячне випромінювання. Фасадні елементи виготовлені з легких матеріалів і розташовані на сталевих рамах, що дозволяє їм гнучко рухатися. Система адаптується кожні 15 хвилин, щоб відповідати поточним умовам освітлення та захищати від спеки. Такий підхід до дизайну робить будівлі не тільки естетично привабливими, а й функціонально ефективними. Цей підхід можна визначити як процес на рівні біоміметики, адже він схожий на адаптацію рослин до сонячної радіації, коли листя змінює положення, щоб уникнути перегріву. Завдяки цьому фасад забезпечує природне охолодження будівлі та знижує споживання енергії для кондиціонування повітря на 45%.

Колдінгський кампус Університету Південної Данії (рис. 3), розташований у центрі міста Колдінга, що спроектовано архітекторами компанії "Henning Larsen Architects" у 2014 р. П'ятиповерхова будівля університету має знаковий трикутний план.

Кінетичний фасад у кампусі Колдінга створений на основі триангулярної сітки

й обладнаний вертикальними сонцезахисними елементами, що складаються з 1 600 перфорованих алюмінієвих панелей, які також виконують функцію жалюзі. У неробочому стані ці жалюзі розташовані вздовж фасаду, але за необхідності вони відкриваються під різними кутами для регулювання рівня денного світла та тепла в будівлі. Панелі закріплені на оцинкованій сталевій рамі, яка виступає на 600 мм від стіни будівлі. Цей простір використовується як сервісний коридор для обслуговування кінетичного фасаду. Приблизно 70% енергоспоживання будівлі було оптимізовано ще на ранніх етапах проектування завдяки використанню пасивних стратегій і кінетичного фасаду. Будівля загальною площею 13 700 м² споживає 38 кВт·год/м² на рік, що відповідає вимогам будівель класу енергоефективності 1. Систему фасаду можна порівняти із процесом дихання, оскільки панелі динамічно змінюють своє положення у відповідь на зміну зовнішніх умов. Подібно до того, як організм втягує і випускає повітря, фасад «дихає» разом із навколишнім середовищем,

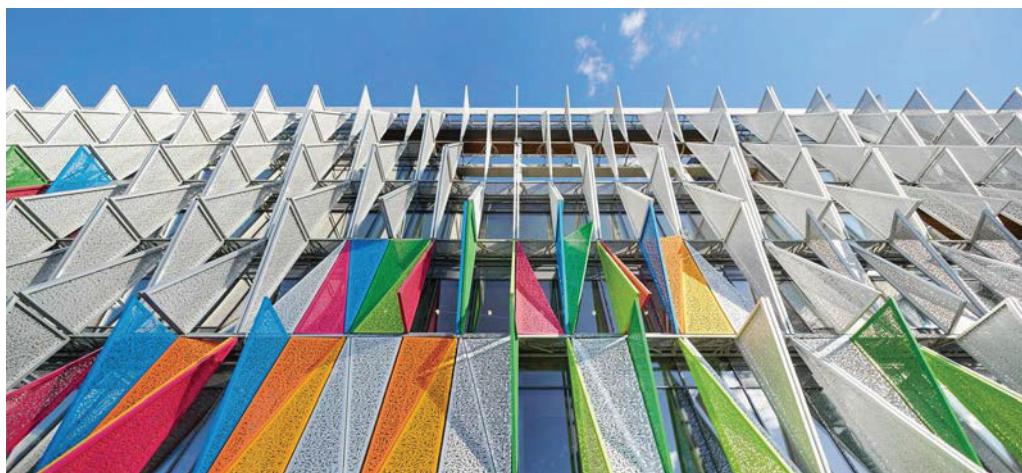


Рис. 3. Фотофіксація. Kolding Campus (Колдінг, Данія). (Джерело: "SDU Campus Kolding / Henning Larsen", 30 Jan 2014. ArchDaily. Accessed 7 Sep 2024. <<https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects>> ISSN 0719-8884)

забезпечує оптимальний комфорт усередині будівлі. Ця плавна динаміка створює відчуття, що будівля є живою системою, яка підтримує гармонію із природою. Даний підхід натхнений принципами, за якими організми у природі реагують на зміни середовища для збереження ресурсів. Наведений приклад використовує біоміметичний принцип на рівні процесу.

The Edge в Амстердамі (2015 р., рис. 4) – одна з найбільш енергоефективних і «розумних» будівель у світі, відома своїм інноваційним адаптивним фасадом. На фасаді будівлі розташовано 30 000 сенсорів, які контролюють інтенсивність світла, температуру та вологість, що дозволяє значно скоротити енергоспоживання.

Фасад оснащений електрохромними вікнами, які змінюють свою прозорість відповідно до інтенсивності сонячного світла. Це

дозволяє мінімізувати використання штучного освітлення та знизити навантаження на систему кондиціонування. Зокрема, будівля оснащена сонячними панелями на південному фасаді, які допомагають забезпечити частину енергопотреб. Завдяки цьому The Edge споживає на 70% менше енергії, ніж традиційні будівлі аналогічного розміру. Великі скляні фасади та система сонячних панелей працюють за принципом фотосинтезу, як у рослин, збирають і максимізують використання сонячного світла для освітлення та живлення будівлі, тому даний підхід можна визначити як систему на рівні біоміметики. Розумні сенсори, що контролюють освітлення, вентиляцію та споживання енергії, нагадують біологічні структури регуляції у природі, знижують енергоспоживання та підвищують екологічну стійкість. У наведеному прикладі

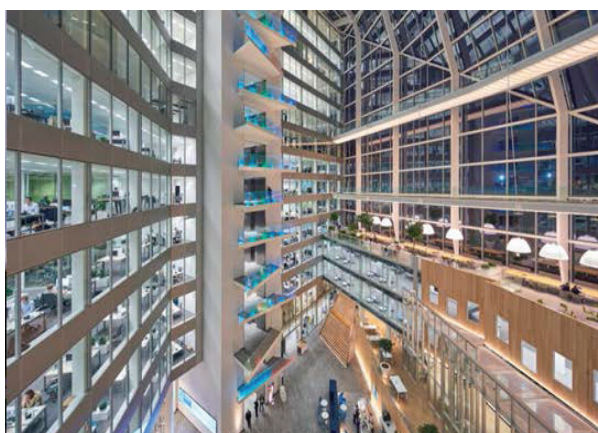
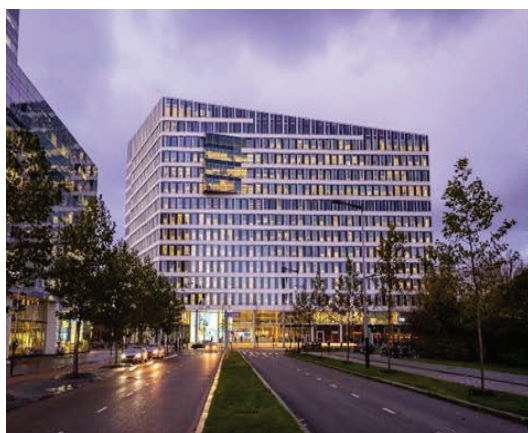


Рис. 4. Фотофіксація. The Edge (Амстердам, Нідерланди). (Джерело: <https://www.bloomberg.com/features/2015-the-edge-the-worlds-greenest-building/>)

використано біоміметичний принцип на рівні процесу.

У даній роботі запропоновано ескізний проєкт готелю в місті Одесі (рис. 5) (розробник – К. Курілович), який вирізняється застосуванням передових біоміметичних технологій у конструкції фасаду. Готель заплановано в зоні відпочинку з видом на море та зелені насадження, що буде ідеальним місцем для відпочинку як місцевих жителів, так і туристів, що шукають спокійного відпочинку на природі, поєднаного з курортною атмосферою. Готель пропонує широкий вибір номерів для різних потреб і бюджетів. Екоапартаменти площею 50 м² вирізняються натуральними матеріалами, енергоефективними технологіями.

Основною відмінністю запропонованої готельної будівлі є складна композиція конструкції фасаду. Фасад складається з панелей, що автоматично відкриваються і закриваються, подібно до того, як раковини мідій реагують на зміни навколишнього середовища. У мідій двостулкові раковини відкриваються в оптимальних умовах для доступу води і кисню, і закриваються в разі зовнішньої загрози, як-от коливання температури або небезпека. У готелі, аналогічно, фасадні панелі управляються системою датчиків, що реагують на температуру повітря, вологість і силу вітру. У теплу погоду панелі автоматично відкриваються, чим забезпечують природну вентиляцію приміщень. Морський бриз проникає всередину



Рис. 5. Ескізний проєкт готельного комплексу в місті Одеса. Автор К. Курілович

будівлі, що зменшує необхідність в кондиціонуванні. У холодні періоди або в разі сильного вітру панелі закриваються, що зберігає тепло всередині будівлі та зменшує вплив холодного повітря. Також передбачається, що фасад може бути покритий спеціальним самоочисним матеріалом, який працює за принципом природної гідрофобності – подібно до того, як поверхня листя лотоса відштовхує воду та бруд. Це зменшує потребу в додатковому обслуговуванні фасаду, що є великою перевагою для прибережних регіонів, де вплив солоної води та вітрів може прискорити зношування будівель. Архітектурний дизайн готелю гармонійно поєднується із природним середовищем завдяки органічним формам фасаду, які відсилають до морських мотивів.

Двостулкові раковини мідій не лише стали прототипом для функціональних рішень,

але й підкреслюють естетику будівлі, створюють відчуття єдності з морем і природою. Проєкт поєднує рівні форми та процесу біоміметики. На рівні форми фасад виконаний у вигляді органічних морських мотивів і може бути покритий спеціальним самоочисним матеріалом, що імітує природну гідрофобність листя лотоса. Це покриття відштовхує воду і бруд, зменшує потребу в обслуговуванні фасаду, що є перевагою для прибережних умов із впливом солоної води та вітру. На рівні процесу фасадні панелі автоматично відкриваються і закриваються, імітують поведінку раковин мідій, які реагують на зміни навколишнього середовища. Даний проєкт має функціонувати за принципами біоміметики, поєднувати рівні форми та процесу. Отже, цей проєкт не тільки вирішує питання енергоефективності й екологічності, а і створює

унікальний архітектурний образ, який гармонійно вписується у прибережний ландшафт міста Одеси.

ВИСНОВКИ

Результати проведеного аналізу розглянутих міжнародних проєктів продемонстрували значний потенціал використання біоміметичних принципів в адаптивних фасадах для зменшенні витрат на кондиціювання і освітлення, що є особливо актуальним у контексті глобальних кліматичних змін.

На основі проаналізованих прикладів передбачені фасадні рішення, що імітують біологічні процеси, зокрема адаптацію до змінних зовнішніх умов. Запропонований ескізний проєкт готелю в місті Одесі вирізняється застосуванням біоміметичних принципів у конструкції фасаду. Це сприяє ефективному регулюванню температури всередині будівлі, підвищує її енергоефективність. Такі системи можуть стати основою для нових підходів до проєктування будівель, де поєднуються естетика та функціональність з високою енергоефективністю. Отже, біоміметичні адаптивні фасади мають потенціал стати ключовим елементом стійкої архітектури майбутнього, забезпечувати комфорт для мешканців і зменшувати екологічний вплив будівель.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Вергунова Н. Теоретичні викладки біоміметики на прикладі архітектурних об'єктів. *Науковий вісник будівництва*. 2017. № 90 (4). С. 10–14. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/687>.
- [2] Жежеря О. Архітектурна біоміметика. *InterConf*: науковий збірник. 2021. November. P. 25–26. URL: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/logos/article/view/16849>.
- [3] Кравцов Д., Цвіговська І. Передумови формування та розвиток біоніки в архітектурі. *Регіональні проблеми архітектури та містобудування*. 2022. Вип. 16. С. 106–112.
- [4] Кривенко О., Пилипчук О. Аналіз прикладів застосування біокліматичного підходу до колористичних рішень у висотній забудові. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2020. Вип. 58. С. 223–232. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.58.223-232>.
- [5] Крижанівський О., Співак І. Біонічні принципи в архітектурі та дизайні. *Theory and practice of design*. 2023. Issue 29–30. P. 72–81. <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.29-30.8>.
- [6] Ришова І., Захарова С., Павлюк О., Харченко К. Науковий дискурс органічної архітектури в сучасному просторово-предметному середовищі. *Humanities Studies*. 2024. № 20 (97). С. 93–108. <https://doi.org/10.32782/hst-2024-20-97-11>.
- [7] Сопов Д., Проценко О. Параметризм як конструктивний спосіб створення природно-адаптивних форм в архітектурі. *Науковий вісник будівництва*. 2021. Вип. 104 (2). С. 133–139. URL: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/83/83>.
- [8] Тютіна Л., Давидов А. Типологія новітніх фасадних систем та її вплив на пластичну мову архітектури XXI ст. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. № 1. С. 102–108. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.230221.103.724>.
- [9] Aedas. Al Bahar Towers Responsive Facade. *ArchDaily*. URL: <https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas>.
- [10] Attia S., Lioure R., Declaude Q. Future trends and main concepts of adaptive facade systems. *Energy Science & Engineering*. 2020. № 8. P. 3255–3272. URL: https://www.researchgate.net/publication/341467830_Future_trends_and_main_concepts_of_adaptive_facade_systems.
- [11] Bedon C., Honfi D., Machalická K., Eliášová M., Vokáč M., Kozłowski M., Wüest T., Santos F., Portal N.W. Structural characterisation of adaptive facades in Europe. Part I : Insight on classification rules, performance metrics and design methods. *Journal of Building Engineering*. 2019. № 25. P. 1–9. URL: https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/84998074/1_s2.0_S0926580519306673_main.pdf.
- [12] Böke J., Knaack U., Hemmerling M. Automated adaptive façade functions in practice – Case studies on office buildings. *Automation in Construction*. 2020. № 113. P. 103–113. URL: https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/84998074/1_s2.0_S0926580519306673_main.pdf.
- [13] Henning L. SDU Campus Kolding. *ArchDaily*. 2015. January 30. URL: <https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects>.
- [14] Meagher M. Designing for change: The poetic potential of responsive architecture. *Frontiers of Architectural Research*. 2015. № 4. P. 159–165. URL: https://www.researchgate.net/publication/276076021_Designing_for_change_The_poetic_potential_of_responsive_architecture.
- [15] Pandjwani P., Sahu K. Biomimetic Adaptive Facades. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2023. № 10 (6). P. 470. URL: <https://www.irjet.net>.
- [16] PLP Architecture. The Edge. *ArchDaily*. 2016. April 22. URL: <https://www.archdaily.com/785967/the-edge-plp-architecture>.
- [17] Soudian S., Berardi U. Development of a performance-based design framework for multifunctional climate-responsive façades. *Energy and Buildings*. 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/345682221_Development_of_a_performance-based_design_framework_for_multifunctional_climate-responsive_facades.
- [18] Voigt M.P., Roth D., Binz H., Challenges with adaptive facades – a life cycle perspective. *ResearchGate*. 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/355499453_Challenges_with_adaptive_facades-a_life_cycle_perspective.

[19] Winstanley T. AD Classics: Institute du Monde Arabe / Enrique Jan + Jean Nouvel + Architecture-Studio. *ArchDaily*. 2011. October 2. URL: <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel>.

[20] Zhang X., Zhang H., Wang Y., Shi X. Adaptive Façades: Review of Designs, Performance Evaluation, and Control Systems. *Buildings*. 2022. № 12 (12). P. 2112. URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/12/2112>.

REFERENCES

[1] Verhunova, N. (2017). Teoretychni vyklady biomimetyky na przyklady arkhitekturnykh ob'ektiv [Theoretical considerations of biomimetics on the example of architectural objects]. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 90 (4), 10–14. Retrieved from: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/687> [in Ukrainian].

[2] Zhezheria, O. (2021. November.) Arkhitekturna biomimetyka [Architectural biomimetics]. *Naukovyi zbirnyk InterConf*, 25–26. Retrieved from: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/logos/article/view/16849> [in Ukrainian].

[3] Kravtsov, D., & Tsvihovska, I. (2022). Peredumovy formuvannya ta rozvytok bioniky v arkhitekturi [Prerequisites for the formation and development of bionics in architecture]. *Rehionalni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya*, 16, 106–112 [in Ukrainian].

[4] Kryvenko, O., & Pylypchuk, O. (2020). Analiz przykladiv zastosuvannya bioklimatychnoho pidkhodu do kolorystychnykh rishen u vysotni zabudovi [Analysis of examples of the application of the bioclimatic approach to colour solutions in high-rise buildings]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya*, 58, 223–232. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.58.223-232> [in Ukrainian].

[5] Kryzhanivskiy, O., & Spivak, I. (2023). Bionichni pryntsyipy v arkhitekturi ta dyzaini [Bionic principles in architecture and design]. *Theory and practice of design*, 29–30, 72–81. <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.29-30.8> [in Ukrainian].

[6] Ryzhova, I., Zakharova, S., Pavliuk, O., & Kharchenko, K. (2024). Naukovyi dyskurs orhanichnoi arkhitektury v suchasnomu prostoro-vo-predmetnomu sereodovyschi [The scientific discourse of organic architecture in the contemporary spatial and subject environment]. *Humanities Studies*, 20 (97), 93–108. <https://doi.org/10.32782/hst-2024-20-97-11> [in Ukrainian].

[7] Sopov, D., & Protsenko, O. (2021). Parametryzm yak konstruktyvnyi sposib stvorennia pryrodno adaptyvnykh form v arkhitekturi [Parametrism as a constructive way to create naturally adaptive forms in architecture]. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 104 (2), 133–139. Retrieved from: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/83/83> [in Ukrainian].

[8] Tiutina, L., & Davydov, A. (2021). Typolohiia novitnykh fasadnykh system ta ii vplyv na plastychnu movu arkhitektury XXI st. [Typology of the latest facade systems and its influence on the plastic language of architecture in the XXI century]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury*, 1, 102–108. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.230221.103.724> [in Ukrainian].

[9] Aedas, Al Bahar Towers Responsive Facade. *ArchDaily*. Retrieved from: <https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas> [in English].

[10] Attia, S., Lioure, R., & Declaude, Q. (2020). Future trends and main concepts of adaptive facade systems. *Energy Science & Engineering*, 8, 3255–3272. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/341467830_Future_trends_and_main_concepts_of_adaptive_facade_systems [in English].

[11] Bedon, C., Honfi, D., Machalická, K., Eliášová, M., Vokáč, M., Kozłowski, M., Wüest, T., Santos, F., & Portal, N.W. (2019). Structural characterisation of adaptive facades in Europe. Part I: Insight on classification rules, performance metrics and design methods. *Journal of Building Engineering*, 25, 1–9. Retrieved from: https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/84998074/1_s2.0_S0926580519306673_main.pdf [in English].

[12] Böke, J., Knaack, U., & Hemmerling, M. (2020). Automated adaptive façade functions in practice – Case studies on office buildings. *Automation in Construction*, 113, 103113. Retrieved from: https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/84998074/1_s2.0_S0926580519306673_main.pdf [in English].

[13] Henning Larsen (2015, January 30). SDU Campus Kolding. *ArchDaily*. Retrieved from: <https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects> [in English].

[14] Meagher, M. (2015). Designing for change: The poetic potential of responsive architecture. *Frontiers of Architectural Research*, 4, 159–165. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/276076021_Designing_for_change_The_poetic_potential_of_responsive_architecture [in English].

[15] Pandjwani, P., & Sahu, K. (2023). Biomimetic Adaptive Facades. *International Research Journal of Engineering and Technology*. № 10 (6). P. 470. Retrieved from: <https://www.irjet.net> [in English].

[16] PLP Architecture (2016, April 22.) The Edge. *ArchDaily*. Retrieved from: <https://www.archdaily.com/785967/the-edge-plp-architecture> [in English].

[17] Soudian, S., & Berardi, U. (2021). Development of a performance-based design framework for multifunctional climate-responsive façades. *Energy and Buildings*. 23, 110581. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/345682221_Development_of_a_performance-based_design_framework_for_multifunctional_climate-responsive_facades [in English].

[18] Voigt, M.P., Roth, D., Binz, H., Challenges with adaptive facades – a life cycle perspective. *ResearchGate*. 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/355499453_Challenges_with_adaptive_facades_-_a_life_cycle_perspective

[19] Winstanley, T. (2011). AD Classics: Institute du Monde Arabe / Enrique Jan + Jean Nouvel + Architecture-Studio. *ArchDaily*. Retrieved from: <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel> [in English].

[20] Zhang, X., Zhang, H., Wang, Y., & Shi, X. (2022). Adaptive Façades: Review of Designs, Performance Evaluation, and Control Systems. *Buildings*, 12 (12), 2112. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/12/2112> [in English].

ABSTRACT**Burlak G., Vilinskaya L., Kurilovych K. Using biomimetic principles in adaptive facades**

Biomimetics, leveraging principles inspired by natural processes, enables the creation of innovative architectural solutions capable of effectively responding to changing climatic conditions.

Purpose. *Analyze the use of biomimetic principles in adaptive facade systems to enhance building energy efficiency and ensure a comfortable microclimate. Based on this research, propose a conceptual design for a hotel operating on biomimetic principles.*

Methodology. *The study employs an analysis of scientific sources, contemporary architectural practices, and international projects (Institute du Monde Arabe, Al Bahar Towers, The Edge), demonstrating the implementation of kinetic facades, sensor technologies, and adaptive systems. A comparative analysis of the efficiency of various facade solutions was conducted, leading to the development of a conceptual hotel complex design.*

Results. *The research revealed that implementing biomimetic technologies can reduce building energy consumption by 30–70% through natural microclimate regulation. The proposed conceptual design for a hotel in Odesa features a facade system inspired by the behavior of mussel shells, with panels that automatically open and close depending on environmental conditions. The use of self-cleaning materials on the facade reduces maintenance requirements.*

Scientific novelty. *The mechanisms for applying biomimetic principles at the levels of form and process for adaptive facade design were refined. The developed hotel project demonstrates an innovative approach to integrating biomimetics into modern architecture, combining aesthetics and functionality.*

Practical relevance. *The proposed approaches can be used to design energy-efficient buildings in the context of changing climates. The research results provide a basis for implementing sustainable architectural solutions in regions with hot summers and mild winters, such as Odesa.*

Keywords: *biomimetics, adaptive facades, energy efficiency, kinetic facades, natural cooling, parametricism, natural ventilation, biomimetic principles, sustainability.*

AUTHOR'S NOTE:

Burlak Galina, *Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Physics of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine, e-mail: demiga89@gmail.com, orcid: 0000-0002-3259-1568*

Vilinskaya Lyudmila, *Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Physics of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine, e-mail: vilsem56@gmail.com, orcid: 0000-0003-4597-2527*

Kurilovych Kateryna, *Master's Student at the Department of Architecture of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine, e-mail: kate04k06@gmail.com, orcid: 0000-0002-7894-8446*

Стаття подана до редакції 07.01.2025 р.