

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.28.4>  
УДК 725

## ЗАКОРДОННИЙ ДОСВІД ПРОЕКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ОФІСНИХ БУДІВЕЛЬ НАПРИКІНЦІ ХХ – ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ

Куцевич Богдан Вадимович

Аспірант

Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури, Київ, Україна,  
e-mail: [bkutsevych@yahoo.com](mailto:bkutsevych@yahoo.com), orcid: 0000-0002-6099-2545

**Анотація.** Метою даної статті є висвітлити закордонний досвід проектування та будівництва енергоефективних офісних будівель зазначеного періоду. Проаналізувати приклади будівель з різних континентів розташованих на північній півкулі із кліматичними умовами близькими до умов України (Північна Америка, Європа, Азія), такі країни, як: Канада, Німеччина, Китай. Дослідити окремі позитивні приклади реалізованих проектів. Проаналізувати рішення пасивного дизайну, а також активні інженерні системи, що були застосовані у зазначених будівлях. Узагальнити закордонний досвід проектування та будівництва енергоефективних офісних будівель, виявити сучасні тенденції у їхнього проектування та передбачити перспективи подальшого їхнього розвитку. **Методологія дослідження.** Це огляд наукових публікацій, монографій, онлайн джерел та нормативних документів за темою дослідження, а також детальний критичний аналіз трьох реалізованих об'єктів. **Результати.** Виявленні тенденції, що починаючи вже 90-х років ХХ ст. спостерігається більша екологічна обізнаність замовників, інвесторів, девелоперів, архітекторів та ін. з проблемою зміни клімату та необхідності більш сталих підходів до архітектурного проектування, де питанням сталого розвитку, екологічності, декарбонізації та енергоефективності віддається пріоритет. **Наукова новизна.** Виявлені основні завдання, що ставлять перед собою сучасні зарубіжні архітектори, а також характерні архітектурні стратегії та інженерні вирішення. З'ясовано, що високий рівень енергоефективності офісних будівель досягається за рахунок впровадження принципу адаптивності фасадів будівель в залежності від пори року. Цей принцип зазвичай досягається таким архітектурним засобом, як подвійний скляний фасад, що відкривається та зачиняється в залежності від пори року чи погодних умов. **Практична значущість.** Узагальнено позитивний досвід проектування, будівництва і експлуатації енергоефективних офісних будівель у північній півкулі із кліматичними умовами близькими до умов України, який може бути використано у вітчизняній архітектурній практиці.

**Ключові слова:** архітектура, архітектурно-планувальна організація, громадські будівлі, сталий розвиток, енергетична ефективність будівлі, енергоефективні офісні будівлі, пасивний дизайн, сонячна архітектура, сонцезахисні пристрої, природне освітлення, енергоефективні інженерні системи.

## ВСТУП

Наприкінці ХХ – початку ХХІ сторіччя сформувався тип енергоефективних офісних будівель. Це підтверджується історичним аналізом енергоспоживання та еволюцією формування офісних будівель умовах Північної Америки, Північно-Східної Азії та Західної Європи, що провели автори Oldfield P., Trabucco D., Wood A. [1], де сучасний етап розвитку архітектури відноситься до п'ятого енерго-покоління офісних будівель, а починаючи з 2012 року коли були оприлюднені «Цілі сталого розвитку» [2], де ціль 11 «Сталі міста та громади» безпосередньо стосується будівельної галузі, концепція сталого розвитку стає основною рушійною силою в архітектурній практиці [3]. Починає спостерігатися більша екологічна обізнаність з проблемою зміни клімату та необхідності більш сталих підходів до архітектурного проектування, де питанням сталого розвитку, екологічності, декарбонізації та енергоефективності віддається пріоритет.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В зарубіжній архітектурній науці питаннями енергоефективності, екологічності та сталого розвитку займаються чисельні автори. Дослідження зазначених питань наведені у наукових статтях: Echenagucia T., та ін. «The early design stage of a building envelope. Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis» [4], де зазначено, що оптимізація оболонки будівлі є важливим етапом ранньої стадії проектування для отримання високої енергоефективності архітектурних об'єктів. Взаємозв'язок між формою будівлі, її орієнтацією за сторонами світу, процентним співвідношенням скління до глухого фасаду будівлі, розташуванням скління, а також сонцезахисними пристроями може значно вплинути на енергопотребити для архітектурних об'єктів (опалення, кондиціювання, штучне освітлення). Тому належний аналіз на ранній стадії проектування має великий потенціал для зниження майбутньої потреби будівлі в енергії; Okeil A. «A holistic approach to energy efficient building forms» [5], де запропоновано цілісний підхід для енергоефективності будівлі, заснований на оптимізації форми будівлі та її орієнтації, використання енергії сонця взимку, пом'якшення ефекту міського теплового острова і впровадженні зелених покривів; Chen X. «A comprehensive review on passive design approaches in green building rating tools» [6], дослідив вплив форми будівлі, властивостей прозорих і не прозорих огорожувальних конструкцій, природної вентиляції та герметичності на енергоефективність; Stevanovic S.

«Optimization of passive solar design strategies: A review» [7], представив широке резюме попередніх досліджень котрі фокусуються на: оптимізації форми будівлі, не прозорих частинах огорожувальних конструкцій будівлі, склінні, сонцезахисті та повної оптимізації будівлі методом пасивного використання сонячної енергії. Також, наприклад, у монографії автора Guzowski M. «Towards zero energy architecture: New solar design» [8] досліджуються теорії, практики та принципи нових підходів до сонячної архітектури, які сприяють як досконалому дизайну, так і низькому споживанню енергії. У відповідь на виклики глобального потепління та зміни клімату дизайн і технології дозволяють архітекторам досягати вищих стандартів ефективності, одночасно розвиваючи екологічну естетику; та ін.

## МЕТА

Виявити зарубіжний досвід проектування та будівництва енергоефективних офісних будівель зазначеного періоду. Проаналізувати приклади будівель з різних континентів розташованих на північній півкулі із кліматичними умовами близькими до умов України (Північна Америка, Європа, Азія), такі країни, як: Канада, Німеччина, Китай. Дослідити окремі позитивні приклади реалізованих проектів. Проаналізувати рішення пасивного дизайну, а також активні інженерні системи, що були застосовані у зазначених будівлях. Підсумувати закордонний досвід проектування та будівництва енергоефективних офісних будівель, виявити сучасні тенденції їхнього проектування та передбачити перспективи подальшого їхнього розвитку.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Вже з 90-х років ХХ ст. починається будівництво енергоефективних офісних будівель переважно у розвинених країнах західної Європи та Північної Америки, а пізніше цей процес продовжується і у інших країнах. Ці будівлі багато в чому мали експериментальний характер і вперше впроваджували архітектурні рішення з пасивного дизайну, чи інноваційні інженерні системи. Відомими прикладами таких будівель є: Commerzbank Tower, Франкфурт на Майні, Німеччина, арх. Foster + Partners, 1997 р.; Stadttor, Дюссельдорф, Німеччина, арх. Petzinka Pink & Partners, 1998 р.; London City hall, Лондон, Великобританія, арх. Foster + Partners, 2002 р.; Forum Chriesbach, Дюбендорф, Швейцарія, арх. BGP Architekten, 2006 р.; Sino-Italian Ecological and Energy-Efficient Building, Пекін, Китай, арх. Mario Cucinella Architects, 2006 р.; Bahrain World

Trade Centre, Манама, Бахрейн, арх. Atkins, 2008 р.; Manitoba Hydro Place, Винніпег, Канада, арх. KPMB Architects, 2009 р.; Shimizu Corporation Headquarters, Токіо, Японія, арх. Shimizu Corporation, 2012 р.; Parkview Green Beijing, Пекін, Китай, арх. Integrated Design Associates, 2013 р.; Daikin Technology and Innovation center, Сеттсу, Японія, арх. Nikken Sekkei Ltd, 2015 р.; Bloomberg's European headquarters, Лондон, Великобританія, арх. Foster + Partners, 2017 р.; та ін.

Детально розглянуто кілька згаданих об'єктів, так, стратегії пасивного дизайну вдало використовуються в будівлі Manitoba Hydro Place, Винніпег, Канада, арх. KPMB Architects, 2009 р. Згідно з оновленою кліматичною картою Körpen-Geiger [9], будівля знаходиться у вологому континентальному кліматі, для якого характерні холодна зима та спекотне літо. Треба відмітити, що згідно «ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [10], перша температурна зона України має схожі риси із цією кліматичною зоною. У будівлі втілено багато інноваційних рішень для досягнення енергоефективності, наприклад, при виборі форми та орієнтації будівлі, вона була повернута таким чином, щоб багаторівневі атріуми виходили на південь, для отримання теплопоступлень в зимовий період від сонячної радіації та утилізації південних вітрів. Висотний об'єм будівлі відіграє роль пасивного сонячного колектора. Офісні простори, що орієнтовані на схід та захід мають розширення у південний бік, що сприяє теплопоступленням взимку. Простори об'єднуються у північному торці будівлі, зменшуючи тим самим периметр будівлі, що орієнтований на північ для скорочення тепловтрат. Суцільно зашклена будівля у кліматі Вінніпегу виявилася логічним рішенням, тому що взимку коли дуже холодно, тут також дуже сонячно, що ідеально підходить для отримання тепла від сонячної енергії. Зменшення потреби в опаленні для будівлі здебільшого пов'язане з високоефективною конструкцією навісних стін із подвійним фасадом. Це суперечить традиційному підходу до енергоефективної оболонки, який збільшує непрозорі зони та теплоізоляцію на зовнішній частині будівлі. Консервативне співвідношення скління ставить під загрозу дві ключові якості високоякісного внутрішнього середовища: максимальне денне освітлення і види назовні. За рахунок впровадження буферних фасадів на східно-західних сторонах будівлі та розширенню буферних зони південного фасаду, для того щоб вони діяли як зимові сади,

вдалося зберегти денне освітлення і краєвиди, а також підтримати енергоефективність. Східний і західний фасади працюють у трьох основних режимах. Взимку фасад герметизується і виконує роль сонячного колектора. Без допомоги активного нагріву простір між фасадами регулярно досягає температури у  $+20^{\circ}\text{C}$ , навіть при зовнішній температурі нижче  $-25^{\circ}\text{C}$ . Це значно зменшує втрати тепла через зовнішню оболонку будівлі. Влітку вікна на зовнішньому фасаді відкриваються і дозволяють вітру та конвекційним потокам повітря провітрювати подвійний фасад. Автоматизовані жалюзі в порожнині подвійного фасаду забезпечують затінення зашклення та контролюють відблиски, що протидіє перегріву фасаду. Під міжсезоння зовнішній фасад відкривається, і працівників просять відкрити вікна з ручним управлінням на внутрішній навісній стіні. Зовнішній фасад контролюється автоматично на основі внутрішніх і зовнішніх умов, включаючи зовнішню температуру повітря та температуру між фасадами, вологість, рівень освітленості та швидкість вітру. Стратегії пасивного дизайну в поєднанні з ефективною системою теплопостачання, включаючи ґрунтовий тепловий насос, рекуперацію тепла відпрацьованого повітря та конденсаційні котли, що зменшують споживання енергії для опалення лише до  $28 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$  на рік, порівняно типовим опалювальним навантаженням у  $250 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$  на рік у Вінніпезі.

Інший приклад енергоефективних офісних будівель для розгляду – Stadttor, Дюссельдорф, Німеччина, арх. Petzinka Pink & Partners, 1998 р. Хоч ця будівля і знаходиться у вологому помірному кліматі згідно з кліматичною картою Körpen-Geiger [9], для якого характерні прохолодне літо і м'яка зима, автор вважає доцільним її розгляд у якості прикладу для другої температурної зони України. Це одна з перших багатоповерхових офісних «зелених» будівель що базується на принципах стійкості у Європі. Ромбоподібний план будівлі реагує на міське середовище та відповідає проектному аналізу щодо оптимальної орієнтації згідно з основним напрямку вітру. Будівля розділена на три частини, де масивна основа спирається на стіни тунелю, що знаходиться під будівлею, над нею розташовані дві 16-поверхові вежі, які з'єднані триповерховою частиною згори. Між вежами розташований атріум висотою 55 м з характерною скляною оболонкою, що огорожує ворота та атріум. Одним із викликів перед проектувальниками було мінімізація використання первинної енергії за допомогою архітектурних засобів і зменшення

загальної потреби в енергії за допомогою інтелектуальних будівельних технологій. Вперше вдалося розробити багатоповерхову офісну будівлю за стандартом низько енергетичного будинку. На додаток до сприятливого співвідношення об'єму до зовнішньої поверхні будівлі, застосована природна вентиляція приміщень, багато уваги приділено денному освітленню та використанню ґрунтових вод для обігріву води. Вперше природна вентиляція та захист від шуму базуються на оптимізованому використанні подвійного фасаду. Атриум – є одним з найвищих у Європі, і своїм внутрішнім об'ємом утворює великий резервуар свіжого повітря. Завдяки інтелектуальним вентиляційним заходам у своїй зовнішній оболонці міські ворота постійно адаптуються до погодних умов і досі залишаються однією з найенергоефективніших багатоповерхових будівель у Європі.

Ще один приклад енергоефективної офісної будівлі розташовано на Азійському

континенті, це – Sino-Italian Ecological and Energy-Efficient Building, Пекін, Китай, арх. Mario Cucinella Architects, 2006 р. Клімат в якому розташована будівля є вологим континентальним і є схожим з першою температурною зоною України. В будівлі об'єднані пасивні та активні стратегії контролю зовнішнього середовища з метою оптимізації умов внутрішнього середовища (Рис. 1). Будівля має U-подібну форму в плані і розташована навколо центрального двору. На нижньому рівні будівлі знаходиться ландшафтний сад із водоймою та водоспадом. Будівля була задумана як оболонка, яка захищає її північну сторону, і навпаки відкрита сонцю на південній стороні. Північний фасад, був спроектований як майже глуха, добре ізольована стіна для захисту будівлі від холодних зимових вітрів. Південні фасади, більш прозорі, затінені виступаючими перекриттями та консольними конструкціями із фотоелектричними панелями, які

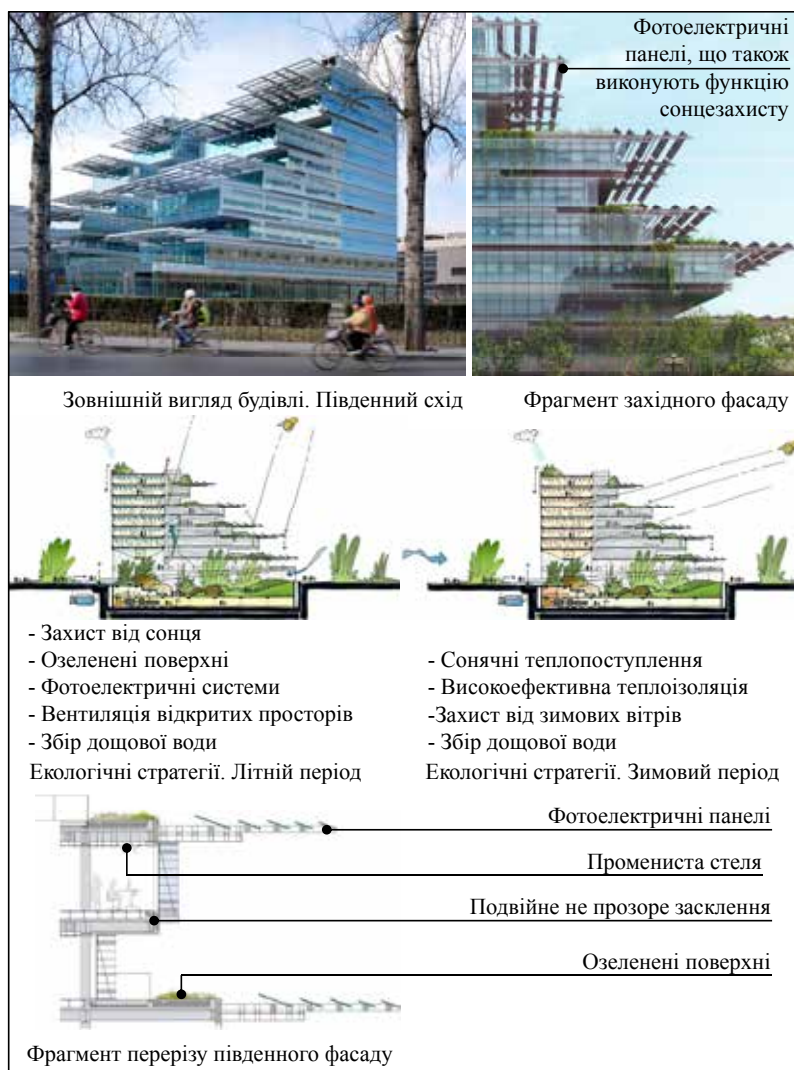


Рис. 1. Sino-Italian Ecological and Energy-Efficient Building, 2006, Пекін, Китай, арх. Mario Cucinella Architects

виробляють енергію для будівлі. Система подвійного фасаду східної та західної сторін складається із безперервної конструкції з прозорих і непрозорих скляних панелей. Офіси та лабораторії на верхніх поверхах мають терасові сади. Особливу увагу було приділено оптимізації природного освітлення шляхом інтеграції світлових полиць у фасад, також у приміщеннях встановлена система автоматичного регулювання освітленості.

## ВИСНОВКИ

Виходячи із аналізу попередніх досліджень та досвіду проектування, будівництва та експлуатації енергоефективних офісних будівель, встановлені основні задачі що ставлять перед собою сучасні зарубіжні архітектори, це:

- прагнення скоротити споживання будівлею первинної енергії;
- зменшення впливу будівлі на зміни клімату на планеті;
- зменшення викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу під час будівництва, експлуатації і демонтажу будівлі.

Також з'ясовано, що характерними архітектурними стратегіями стає:

- контроль тепlopоступлень за рахунок сонячної радіації;
- контроль тепловтрат через огорожувальні конструкції;
- контроль природного освітлення приміщень;
- контроль відблисків у приміщеннях;
- досягнення візуального контакту з оточуючим середовищем;
- використання природної вентиляції.

Це досягається за рахунок таких архітектурних рішень:

- Оптимізація форма будівлі, її коефіцієнту компактності, орієнтації будівлі за сторонам світу;

- Співвідношення площі скління до площі стін, позиціонування вікон відносно стін будівлі;

- Використання різноманітних систем зовнішнього сонцезахисту;
- Максимальне використання природної та гібридної вентиляції;
- Максимальне використання природного освітлення;
- Максимальне утеплення фасадів;
- Використання подвійних світлопрозорих фасадів, що відкриваються;
- Використання атриумних просторів.

Характерними інженерними рішеннями стають:

- нові технології управління штучним освітленням;
- зменшення залежності від кондиціонування повітря, використання природної та змішаної систем вентиляції;
- виробництво енергії на місці з нульових чи низько вуглецевих джерел.

З'ясовано, що високий рівень енергоефективності офісних будівель досягається за рахунок впровадження принципу адаптивності фасадів будівель в залежності від пори року. Принцип адаптивності зазвичай досягається таким архітектурним засобом, як подвійний скляний фасад, що відкривається та зачиняється в залежності від пори року чи погодних умов.

Підсумовуючи закордонний досвід проектування та будівництва енергоефективних офісних будівель, треба зазначити, що в перспективі подальше їхнє проектування має ґрунтуватися на ретельних попередніх дослідженнях ділянок (орієнтація за сторонами світу, рух сонця, напрямки панівних вітрів, та ін.), варіантному енергомодельованні та модельованні денної освітленості приміщень. Результати цього дослідження можуть бути використані для підвищення якості вітчизняних проектних рішень офісних будівель.

## ЛІТЕРАТУРА

[1] Oldfield P., Trabucco D., Wood A. Five energy generation of tall buildings: An historical analysis of energy consumption in high-rise buildings. *The Journal of Architecture*. 2009. Vol. 14. P. 590–613.

[2] URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/> (дата звернення: 15.02.2023).

[3] Al-Kodmany K., Ali, M. *The Future of the City: Tall Buildings and Urban Design*. Billerica, 2013. 460 p.

[4] Echenagucia T. et al. The early design stage of a building envelope. Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. *Applied Energy*. 2015. Vol. 154. P. 577–591.

[5] Okeil A. A holistic approach to energy efficient building forms. *Energy and Buildings*. 2010. Vol. 42. P. 437–1444.

## REFERENCES

[1] Oldfield, P. Trabucco, D. Wood A. (2009). Five energy generation of tall buildings: An historical analysis of energy consumption in high-rise buildings. *The Journal of Architecture*, (14), 590–613.

[2] *Goal 11: Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable* (b. d.). United Nations. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>

[3] Al-Kodmany K. & Ali M. (2013). *The Future of the City: Tall Buildings and Urban Design*. WIT Press.

[4] Echenagucia, T. Capozzoli A. Cascone Y. Sassone M. (2015). The early design stage of a building envelope. Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. *Applied Energy*, (154), 577–591.

[5] Okeil, A. (2010). A holistic approach to energy efficient building forms. *Energy and Buildings*, (42), 437–1444.

- [6] Chen X., Yang H., Lu L. A comprehensive review on passive design approaches in green building rating tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 50. P. 1425–143.
- [7] Stevanovic S. Optimization of passive solar design strategies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 25. P. 177–196.
- [8] Guzowski M. *Towards zero energy architecture: New solar design*. 2010. ISBN: 9781856696784. 208 p.
- [9] Beck E. et al. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*. 2018. Vol. 5.
- [10] ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Вид. офіц. Київ, 2022.

- [6] Chen, X., Yang, H., Lu, L. (2015). A comprehensive review on passive design approaches in green building rating tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (50), 1425–1436.
- [7] Stevanovic, S. (2013). Optimization of passive solar design strategies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (25), 177–196.
- [8] Guzowski, M. (2010). *Towards zero energy architecture: New solar design*. Laurence King Publishing.
- [9] Beck, E. Zimmermann E. McVicar T. Vergopolan N. Berg A. Wood E. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, (5).
- [10] Minregion Ukrainy. (2022). *Теплова ізоляція та енергоефективність будівель* [Thermal insulation and energy efficiency of buildings]. (DBN V.2.6-31:2021). [in Ukrainian].

## ABSTRACT

### ***Kutsevych B. Architectural design and realization of energy-efficient office buildings in foreign countries (end of 20th – beginning of 21st century).***

**The purpose this paper** is to highlight the international experience of the design and realization of energy-efficient office buildings of the specified period; to analyze positive case studies of office buildings from different continents located in the northern hemisphere with climatic conditions similar to the conditions of Ukraine (North America, Europe, Asia), such countries as: Canada, Germany, China; to explore passive design solutions, as well as active engineering systems, which were applied in the analyzed buildings; to summarize the experience of the design and construction of energy-efficient office buildings, to identify modern trends in their design, and to predict prospects for their further development. **Research methodology.** Literature review of scientific papers, monographs, online sources, regulatory documents and in-depth critical analysis of three case studies were used as the research methods.

**The results.** The trend was identified that starting from the 1990s there is greater environmental awareness among customers, investors, developers, architects, etc. with the problem of climate change and the need for more sustainable approaches to architectural design. Issues of sustainable development, environmental consciousness, decarbonization and energy efficiency are given high priority at architectural practice. **Scientific novelty.** The main challenges which modern international architects are facing were identified as well as typical architectural strategies and engineering solutions. Furthermore, it was revealed that energy-efficiency of office buildings is achieved due to the implementation of the principle of adaptability of building facades depending on the season. The principle of adaptability is usually achieved by implementation of transparent double skin facades that open and close depending on the season or weather conditions. **Practical significance.** The positive experience of design, construction and operation of energy-efficient office buildings in the northern hemisphere with climatic conditions similar to the conditions of Ukraine was revealed, which can be used in Ukrainian domestic architectural practice.

**Key words:** architecture, architectural planning, building's energy-efficiency, energy-efficient office buildings, sustainable development, passive design, solar architecture, solar shading devices, natural lighting, energy-efficient service systems.

## AUTHOR'S NOTE:

**Kutsevych Bogdan**, Postgraduate student, National Academy of Fine arts and Architecture, Kyiv, Ukraine, e-mail: [bkutsevych@yahoo.com](mailto:bkutsevych@yahoo.com), orcid: 0000-0002-6099-2545

Стаття подана до редакції 02.05.2023 р.