

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2024.31.5>

УДК 721.011

АРХІТЕКТУРНА ЕКОЛОГІЯ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

Жовква Ольга Іванівна

доктор архітектури, доцент,

завідувач кафедри архітектури та просторового планування

Національного авіаційного університету, Київ, Україна,

e-mail: Olha.zhovkva@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-0086-6774

Анотація. Відповідно до даних статистичного огляду світової енергетики Британської компанії «BP» упродовж наступних десятиліть відбудеться зріст світового споживання електроенергії на 30–50% у зв'язку з чим необхідно буде збільшити видобуток ресурсів, що в свою чергу може призвести до погіршення екологічного стану. Також, згідно наведених у статистичному огляді даних, у світі збільшується кількість будівель та комплексів, що здійснюють негативний вплив на оточуюче середовище через споживання значної кількості ресурсів. Враховуючи даний факт архітекторам, при проектуванні громадських та житлових будівель і споруд, необхідно замислюватись над питаннями екологічності та енергоефективності в архітектурі здійснюючи, таким чином, свій внесок у збереження екології та природних ресурсів.

Зважаючи на прогнози відносно зростання світового енергоспоживання, вченими США, Британії, Німеччини, Ізраїлю, України та інших країн проводяться дослідження відносно енергоефективності споруд. Суттєвий внесок у розвиток енергоефективної та екологічної архітектури зробив Норман Фостер, запроєктувавши будівлю лондонської мерії «City Hall»; офісну споруду «Swiss Re», башту «Мері-Екс» у Лондоні; висотну споруду «Hearst Tower» у Нью-Йорку; торгово-розважальний комплекс Хан-шатри у Астані тощо. Також даному питанню приділяв увагу і Ренцо Пьяно у своїй творчості, зокрема у споруді суду у Франції, музеї американського мистецтва у США тощо.

Сьогодні в Україні проводиться наукова робота у сфері енергозбереження, спрямована на розробку заходів із заощадження ресурсів та зменшення негативного впливу на оточуюче середовище. Однак не в повній мірі досліджено питання проектування енергоефективних і екологічних споруд; питання взаємодії об'ємно – просторових форм та енергозаощаджуючих технологій; методів застосування відновлювальних джерел енергії; питання впливу форми споруди на енергоефективність тощо. В Україні практично відсутні вдалі приклади реалізованих проектів енергоефективних екологічних споруд та комплексів; енергоспоживання більшості збудованих об'єктів у 2–3 рази перевищує європейські показники, що робить дане дослідження вкрай актуальним.

Мета. У зв'язку з цим, дане дослідження направлене на вивчення світового досвіду у проектуванні енергоефективних стійких комплексів із змішаними функціями, розробку проектних пропозицій, спрямованих на досягнення енергоефективності і екологічності та розробці наукових принципів енергоефективності в архітектурі.

Методологія. У ході дослідження широко застосовувався метод натурного обстеження, графоаналітичний метод тощо.

Результати. досліджено питання проектування енергоефективних і екологічних споруд; питання взаємодії об'ємно-просторових форм та енергозаощаджувачих технологій; методів застосування відновлювальних джерел енергії; питання впливу форми споруди на енергоефективність тощо.

Наукова новизна. Запропоновано наукові принципи енергоефективності в архітектурі громадських будівель і споруд.

Практична значущість. Результати дослідження можуть бути застосовані у проектній практиці, науковій роботі, викладацькій діяльності.

Ключові слова: енергоефективність, екологічність, стійкість в архітектурі багатофункціональних комплексів, оптимізація плану.

ВСТУП

Відповідно до «Мети Сталого Розвитку», сформульованої Організацією Об'єднаних Націй (ООН), у 2019 році, розвиток сталої енергетики і інфраструктури є одним з пріоритетних напрямків у реалізації принципів сталого розвитку. Однією з задач, спрямованою досягнути Мети 11 «Сталі міста і населені пункти», є зменшення негативного екологічного впливу міст до 2030 року, тоді як «Недорога і чиста енергія» (Мета 7) може бути досягнута в тому числі завдяки подвоєнню глобального показника енергоефективності до 2030 року [15]. Енергія є основою сучасного суспільства [5], тому заходи, спрямовані на досягнення «Мети Сталого Розвитку», повинні охоплювати різні сфери діяльності, в тому числі і архітектурне проектування будівель, які будучи спроектовані відповідно до принципів енергоефективності і екологічності, зможуть зменшити їх негативний вплив на екологію.

Одночасно з цим, відповідно до досліджень, оприлюднених транснаціональною нафтовою компанією «BP», у щорічному огляді трендів глобальної енергетики за 2019 рік, одним із головних викликів світової енергетики є ріст енергоспоживання [4]. В світі збільшується кількість споруд і комплексів, що здійснюють негативний вплив на оточуюче середовище [13], а світовий попит на енергоресурси, в якому комерційні і житлові споруди займають третє місце за енергоспоживанням, зростає на третину до 2040 року [5]. У зв'язку з цим, архітектори з різних країн (серед яких США, Великобританія, Німеччина) займаються розробкою принципів стійкості будівель і споруд, значна роль приділяється вивченню можливості використання альтернативних джерел енергії для зниження енергоспоживання і підвищення енергоефективності споруд, а також вивченню методів по зниженню негативного впливу архітектурних об'єктів на екологію.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У різні роки такими вченими як Десідері [10], М. Крарті [12, 13], А. Шукла [14], А. Трої [16], А. Де Грація і А. Кабеца [8], а також А. Чел і Дж. Каушкі [13] був зроблений внесок у вивчення принципів підвищення енергоефективності споруд. Крарті (англ. Krarti), співробітник Університету Колорадо, у роботі «Energy-Efficient Electrical Systems for Buildings», у 2017 році, надав загальний огляд основних енергосистем споруд, а також запропонував систематичний і практичний підхід до проектування і аналізу енергоефективних споруд, відповідно до якого, особлива увага повинна приділятися питанню затрат на експлуатацію [12]. В монографії «Advanced Energy Efficient Building Envelope Systems», опублікованої в тому ж році Крарті представив новітні розробки інноваційних систем огорожуючих конструкцій будівель, що реагують на зміни умов оточуючого середовища, забезпечуючи комфортні умови всередині будівлі [11], а також довів важливість вибору матеріалів огорожуючих конструкцій відповідно до їх теплових характеристик, які здійснюють прямий вплив на ступінь енергоефективності споруд. Крарті наголосив на важливості прагнення до проектування будівель, які виробляють енергію із відновлюваних джерел і споживають її в рівній, або меншій кількості [13].

Дезідері (англ. Desideri), професор Університету Пізи, і Аздрубалі (англ. Asdrubali), професор Третього Університету Рима, у книзі «Handbook of Energy Efficiency in Buildings», виданій у 2018 році, розглядав питання оцінки життєвого циклу будівель із нульовим споживанням енергії, від будівництва до експлуатації. Однак, важливо відмітити, що на сьогоднішній день, жодного багатофункціонального комплексу з нульовим, або близьким до нульового споживання енергії, у міжнародній практиці ще не побудовано.

Дослідники Шукла (англ. Shukla) і Шарма (англ. Sharma), співробітники Інституту Нафтових Технологій Імені Раджива Гнді, досліджували методи застосування пасивного опалення та охолодження будівель, в опублікованій у 2014 році роботі «Sustainability through Energy-Efficient Buildings» [15], при такій системі опалення, тепло, необхідне для нагріву будівлі, генерується нетрадиційними джерелами. Наприклад, тепло, яке виділяється користувачами даної будівлі, у подальшому захоплюється вентиляційною системою і передається на нагрів рідини у системі опалення.

Бауер (англ. Bauer), Мосл (англ. Mosle), Шварц (англ. Shvarz), автори праці «Green building. Konzepte fur nachhaltige Architektur», стверджують, що будівельний сектор у всьому світі споживає до 40% первинної енергії [6], а тому закликають архітекторів до відповідального ставлення до природи і наводять методи переходу на екологічно чисте енергозбереження, скорочення споживання енергії і води без зниження рівня комфорту архітектурних об'єктів. Автори використовують поняття «Зелені будівлі», тобто ті, які об'єднують високий рівень комфорту з мінімальним споживанням ресурсів, що позитивно впливає на екологію. Гош (англ. Ghosh) і Дака (англ. Dhaka) зробили свій внесок у вивчення «Зеленої енергії», дослідивши, що даний вид альтернативних джерел енергії може бути отриманим при переробці міських, муніципальних і промислових відходів [10].

В Україні, питання енергоефективності і екологічності споруд почали досліджуватись відносно недавно, але вже отримали широкий інтерес з боку наукової спільноти, про це говорить наявність великої кількості дисертаційних робіт, направлених на пошук архітектурних та інженерних рішень, що впливають на збільшення енергоефективності, зменшення енергоспоживання будівель і зменшення їх негативного впливу на екологію міст. Таким чином, внесок у дослідження даних питань, зробили Димо Б.В. [3], Немировський І.А. і Овсянніков І.М. [1], Сергійчук О.В. [2] та інші. Дисертаційна робота Сергійчука О.В. на тему «Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних споруд» [2] була направлена на дослідження принципів оптимізації форми споруд, що сприятиме збільшенню їх енергоефективних показників, а також на розробку теоретичних основ геометричного моделювання фізичних процесів у теплоізоляційній оболонці споруд і внутрішнього середовища.

В цілому, всі вищезазначені наукові роботи в сфері енергозбереження, написані спеціалістами технічних і архітектурних спеціальностей, були направлені на розробку заходів з економії енергії і скорочення негативного впливу архітектурних об'єктів на оточуюче середовище, формуючи широку технічну базу як для України, так і для інших країн світу. Проте теоретичні аспекти проектування енергоефективних і екологічних багатофункціональних комплексів із змішаними функціями, а також принципи взаємодії об'ємно – просторового рішення і енергозберігаючих технологій, досі залишається малодослідженим в Україні.

МЕТА

Об'єкт даного дослідження – комплекси із змішаними функціями, поєднуючи у собі комерційні і житлові функції, мають значні показники по енергоспоживанню. У зв'язку з цим, дане дослідження направлене на вивчення світового досвіду у проектуванні енергоефективних стійких комплексів із змішаними функціями, розробку проектних пропозицій, спрямованих на досягнення енергоефективності і екологічності.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Методом натурного аналізу обстежені комплекси Сент-Мері Екс 30» (рис. 1), «Коммерцбанк-Тауер» (рис. 2), «Хан-Шатри» (рис. 3), «Палац Правосуддя», розташовані відповідно у Лондоні, Франкфурті-на-Майні, Астані (нині Нурсултан), Парижі.

Були досліджені вибрані архітекторами даних комплексів планувальні рішення форми споруд, а також інженерно-технічні рішення, які, ставлячи за мету покращення енергоефективності і екологічності споруд, використовувались при проектуванні огорожуючих конструкцій, фасадів, вентиляційних систем тощо.

Як вже зазначалось, суттєвий внесок у розвиток енергоефективної архітектури зробив архітектор Норман Фостер (англ. Norman Foster). Ним, серед інших споруд, були спроектовані башта «Сент-Мері Екс 30» у Лондоні і «Коммерцбанк-Тауер» у Франкфурті-на-Майні, де він використав природне освітлення і вентиляцію, що посприяло значній економії енергії. Тоді як у проекті торгово-розважального центру «Хан-Шатри» у Астані, архітектор застосував енергоефективні огорожуючі конструкції, теплотехнічні характеристики матеріалу даних конструкцій дозволили запобігти втраті тепла, а застосування озеленення в середині споруди, яке

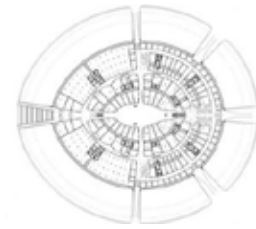
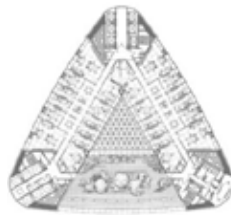
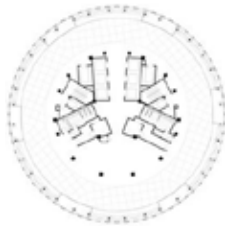


Рис. 1. «Сент-Мері Екс 30», Лондон, Великобританія
Рис. 2. «Коммерцбанк-Тауер», Франкфурт-на-Майні, Німеччина

Рис. 3. «Хан-Шатри», Астана, Казахстан

являє собою теплоізоляційний купол, дозволило створити в центрі власний мікроклімат. Питанням енергоефективності і екологічності також приділяв увагу італійський архітектор Ренцо Піано (іт. Renzo Piano). Так, у проекті комплексу «Палац Правосуддя» у Парижі, він спроектував повністю скляний фасад споруди, який повинен був забезпечити високий рівень природного освітлення і вентиляції. А в офісній споруді «Конде Наст Білдинг», американські архітектори, Роберт Фокс (англ. Bob (Robert) F. Fox, Jr) і Брюс Фоул (англ. Bruce Fowle), у якості джерела електроенергії використовували сонячні батареї.

Важливо, що вищезгадані споруди, незважаючи на комплексність застосованих інженерно-технологічних рішень, спрямованих на покращення показників енергоефективності і екологічності, з точки зору архітектурних рішень, мають досить просту форму, як плану, так і об'ємно-просторового рішення. У результаті натурного обстеження та аналізу був зроблений висновок, що конфігурація планів енергоефективних будівель прагне до простих геометричних форм – кола, трикутника, квадрата і прямокутника, тобто до форм, які краще за все зберігають тепло. Огороджуючі конструкції споруд «Сент-Мері Екс 30», «Коммерцбанк-Тауер», «Хан-Шатри» і «Конде Наст Білдинг» практично не мають гострих кутів у плані, що також дозволяє знизити тепловтрати при експлуатації

споруди. Також цікаво, що фасади всіх досліджуваних комплексів виконані із домінуванням світлопрозорих конструкцій, що дозволяє збільшити освітленість приміщень природним світлом, скоротивши час використання штучних джерел освітлення, що також дозволяє знизити енергоспоживання при експлуатації споруд.

Було зроблено припущення, що форми, які краще за все зберігають тепло, дозволяють досягнути значної економії енергії, тому були проведені розрахунки енергетичної ефективності споруди круглої, квадратної, прямокутної і трикутної форми.

В Україні на даний момент питанню проектування і будівництва енергоефективних і екологічних багатофункціональних споруд із змішаними функціями приділено недостатньо уваги, практично відсутні вдалі реалізовані приклади таких об'єктів. У зв'язку з цим, використовуючи метод експериментального проектування, була створена модель енергоефективного і екологічного багатофункціонального комплексу, з метою подальшої розробки пропозицій щодо зменшення негативного впливу споруд на оточуюче середовище. Враховуючи, що у міжнародній практиці, архітектурно-планувальні і технологічні заходи щодо забезпечення стійкості споруд у більшості випадків спрямовані на застосування інженерних рішень і рідше архітектурних, дана стаття спрямована на розробку

наукових принципів і рекомендацій відносно визначення оптимальної форми планів споруд і їх конфігурації на прикладі проектування енергоефективного і екологічного комплексу із змішаними функціями у Києві. У проектне рішення закладена ідея поєднання традиційних і альтернативних джерел енергії (сонячних панелей тощо), яка виникла також у зв'язку з наявністю перенавантаження інженерних мереж території, наведені проектні пропозиції з максимальним застосуванням сонячної енергії з врахуванням інсоляційного режиму острова, і досліджено вплив форми на показники енергоспоживання.

Комплекс, концепція якого була запропонована у ході експериментального проектування, пропонується розташувати на Рибальському острові у Києві. Комплекс поєднує в собі функції, розподілені між блоками «А», «Б» «В» і «Г» (рис. 7, 8), перелічені нижче:

– Житлова функція – дві 42 – поверхові башти з апартаментами готельного типу – блоки «Б» і «В», (рис. 4.) висотою 167 м. Дані блоки мають в плані форму трикутника із закругленими кутами.

– Громадська функція – торгово-культурно-розважальний і діловий центр підвищеної поверховості – блок «Г» (рис. 5), який складається з: торговельної і сервісної зон, зони громадського харчування, розважальної зони, культурно-видовищної і клубної зон, офісної зони.

– Технічна функція – наземна багатоярусна автостоянка на 7,500 машиномісць з допоміжними сервісними і рекреаційними

функціями – блок «А» (рис. 6), який має форму наближену до овалу.

В даному комплексі були закладені наступні технологічні принципи, що забезпечують енергоефективність:

– Використання природної інсоляції і вентиляції. Конструкція висотних блоків комплексу дозволяє у теплий період використовувати природну вентиляцію приміщень, що значно зменшить затрати електроенергії на кондиціювання.

– Природне освітлення, високий рівень якого, був досягнутий завдяки прозорості фасадів блоків багатофункціонального комплексу.

– Використання відновлюваних незалежних джерел екологічно чистої енергії, таких як сонячні батареї і фотоелектричні панелі. Башти «Б», «В» і «Г» запроектовані із застосуванням часткового пасивного сонячного електропостачання, для цього на покрівлях даних споруд були встановлені сонячні панелі, з кутом нахилу 30° і зорієнтовані на південь.

– Використання ефективних огорожуючих конструкцій і будівельних матеріалів, фасадних систем. Було рекомендоване застосування тришарового полімерного покриття – енергоефективний матеріал, який добре пропускає сонячне світло і захищає внутрішній простір від перепадів температур.

– Використання нових технологій автоматизації управління, («інтелектуальні системи управління»), що забезпечує оптимальний режим роботи систем вентиляції,



Рис. 4. Блок «Б», «В» комплексу з апартаментами готельного типу

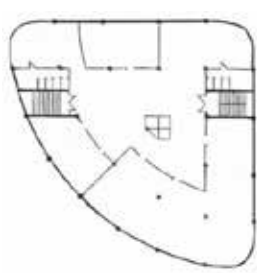


Рис. 5. Торгово-культурно-розважального і ділового блоку «Г» комплексу

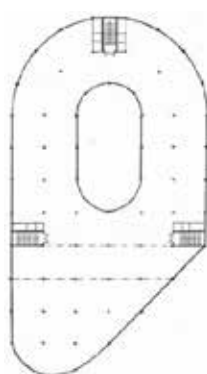


Рис. 6. Блок «А» комплексу. Наземна багатоярусна автостоянка з додатковими і сервісними і рекреаційними функціями



Рис. 7. Об'ємно-планувальна схема Багатофункціонального комплексу на Рибальському острові, Київ



Рис. 8. Озеленення покрівлі блоку «А» і влаштування зимових садів в висотних блоках «Б», «В» і «Г» Багатофункціонального комплексу на Рибальському острові, Київ

опалення, охолодження. Так, всі механічні системи вікон комплексу керуються «інтелектуальною» системою, що забезпечує оптимальний режим роботи системи вентиляції, опалення і охолодження: при несприятливих погодних умовах вікна автоматично закриваються і вмикається система механічної вентиляції і опалення, при сонячній і теплій погоді – вікна автоматично відкриваються.

– Застосування раціональних компактних, енергозберігаючих об'ємно-планувальних рішень, оптимізація параметрів і архітектурних форм блоків комплексу.

– У підвалах блоків пропонується встановити системи очистки дощової води і стічних вод, що дозволить зменшити споживання води з централізованої системи водопостачання на 20–30%. Очищена таким чином вода може використовуватись для поливу зимових садів, принцип організації яких буде викладено нижче.

Принципам екологічності приділено особливу увагу у даному проекті і вони направлені на:

– Забезпечення візуального і функціонального взаємозв'язку комплексу з природою. Також озеленення, яке грає важливу роль служить:

– сонцезахистом, зменшує ефект «теплового купола» (англ. «heat island»), сприяє зменшенню тепловтрат, допомагає підтримувати необхідну вологість повітря і регулює його склад, понижує температуру у приміщенні

в літній час, сприяє зменшенню тепловтрат в зимовий період.

– Сортування сміття. У господарській зоні комплексу передбачені контейнери для окремої утилізації побутових відходів, що буде сприяти зменшенню забруднення оточуючого середовища при подальшій утилізації.

Вивчення міжнародного досвіду проектування енергоефективних і екологічних споруд, дозволило розділити усі заходи щодо зменшення енергоспоживання і поліпшення екологічної стійкості комплексів із змішаними функціями на два види: інженерно-технічні заходи і архітектурно-планувальні. Важливо, що дані заходи повинні застосовуватись спільно, з метою досягнення якнайкращих результатів. Розробкою даного проекту було доведено, що основні світові принципи енергоефективності і екологічності можуть бути застосовані до проектування багатофункціональних комплексів на території України. Виявлені основні заходи з підвищення енергоефективності серед яких: використання природної інсоляції і вентиляції; зниження споживання енергії за допомогою використання відновлюваних джерел енергії; використання енергозберігаючих матеріалів і архітектурних форм. Однак, важливо розуміти, що світові принципи стійкого проектування повинні бути адаптовані під контекст країни, наприклад, домінування світлопрозорих конструкцій на фасаді – це загальна рекомендація, тоді як вибір типу засклення повинен бути зроблений

в залежності від кліматичних та екологічних умов міста і країни. Рівень природного освітлення повинен бути вибраний виходячи із орієнтації споруди і регіону, в якому вона буде збудована.

На нашу думку, при проектуванні багатофункціональних комплексів в Україні, більше уваги необхідно приділяти питанням мінімізації тепловтрат споруд, підвищенню комфортності перебування у комплексі шляхом функціонального і візуального взаємозв'язку з оточуючим середовищем, створенням особливого мікроклімату за допомогою озеленення, а також максимальному використанню в архітектурі потенціалу природних ресурсів. Енергоефективність в архітектурі повинна проявлятися у використанні оптимальних форм споруди, а також активному застосуванні нетрадиційних джерел енергії. Це дозволяє зробити висновок про те, що застосування нетрадиційних джерел енергії може покрити 15–20% загального енергетичного навантаження на комплекс.

У ході проектування були проведені значні наукові дослідження відносно оптимізації параметрів і архітектурних форм комплексу, а також експериментальне моделювання. Вимірювання тепловтрат приміщень споруд було проведене за допомогою тепловізора, що показало динаміку тепловтрат, допомогло визначити причини даних втрат у різних частинах споруди. Результати замірів показали, що 25% від загальної кількості тепловтрат відбувається через стіни, тобто через огорожуючі конструкції, що дозволило вибрати оптимальну форму планів блоків комплексу, а також будівельних матеріалів.

На основі даних розрахунків був зроблений висновок, що застосування компактних планувальних схем, таких як квадрат і коло, сприяє збільшенню енергетичної ефективності споруди на 14% відповідно, у порівнянні із спорудами прямокутної форми. Трикутна в плані споруда, має такий же показник ефективності, як і прямокутник, але дає можливість скоротити площу огорожуючих конструкцій, через які відбувається значна втрата тепла. Враховуючи даний факт у проектному рішенні використані блоки з великим периметром стін.

ВИСНОВКИ

На базі проведеного дослідження була запропонована концепція підвищення енергоефективності споруд і наукові принципи проектування енергоефективних, екологічних багатофункціональних комплексів зі змішаними функціями. Також сформульовані

рекомендації відносно послідовного використання різних заходів і методів формування архітектури енергоефективних і екологічних багатофункціональних споруд і комплексів.

Науковий вклад полягає у запропонованій концепції підвищення енергоефективності споруд шляхом оптимізації основних характеристик архітектурних форм, застосуванні альтернативних джерел енергії, енергозберігаючих технологій на етапі проектування і використанні наукових принципів енергоефективності. Застосування викладених у статті принципів в проектній практиці дозволить скоротити централізоване споживання електроенергії, опалення, водопостачання підвищити, таким чином, енергоефективність, екологічність і комфортність споруд, що проектується, а також зробить їх подальшу експлуатацію більш економічно доцільною.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Методичні рекомендації до виконання практичних робіт за темою «Енергетичний аудит системи освітлення» до курсу «Енергетичний менеджмент і енергоаудит»: для студ. Спец.: 7.000008, 8.000008 «Енергетичний менеджмент» / упоряд. І.А. Немировський, І.М. Овсяннікова. Х. : НТУ «ХПІ», 2009. 23 с.
- [2] Сергійчук О. В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних споруд : автореф. дис. ...д-ра техн. наук: спец. 05.01.01 / О. В. Сергійчук. Київ, 2008. 39 с.
- [3] Димо Б. В. Основи енергетичного аудиту [навчальний посібник] / Б. В. Димо, В. І. Пилипчак. Миколаїв : Національний ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова, 2007. 128 с.
- [4] 2019 BP Energy Outlook / BP. London, 2019. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>.
- [5] Amasyali K., El-Gohary N. M. A review of data-driven building energy consumption prediction studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018. Vol. 81, p. 1192–1205.
- [6] Bauer M., Mosle P., Shvarz M. Green building. *Konzepte fur nachhaltige Architektur – Munhen, Callwey*. 2007. 207 p.
- [7] Chel A., Kaushik G. Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. *Alexandria Engineering Journal*, 2018. Vol. 57, № 2, p. 655–669.
- [8] De Gracia A., Cabeza L. F. Phase change materials and thermal energy storage for buildings. *Energy and Buildings*, 2015. Vol. 103, p. 414–419.
- [9] Desideri U., Asdrubali F. Handbook of Energy Efficiency in Buildings: A Life Cycle Approach – Heinemann. 2018. 858 p.
- [10] Ghosh S., Dhaka A. Green Structures: Energy Efficient Buildings – Ane Books. 2015. 200 p.

[11] Krarti M. Advanced Energy Efficient Building Envelope Systems. American Society of Mechanical Engineers (ASME). 2017. 134 p.

[12] Krarti M. Energy-Efficient Electrical Systems for Buildings. CRC Press. 2017. 494 p.

[13] Krarti M. Optimal Design and Retrofit of Energy Efficient Buildings, Communities, and Urban Centers. Butterworth-Heinemann. 2018. 646 p.

[14] Shukla A., Sharma A. Sustainability through Energy-Efficient Buildings. CRC Press. 2018. 296 p.

[15] Sustainable Development Goals. 17 Goals to Transform Our World. OOH, 2019. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment>.

[16] Troi A., Bastian Z. Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook. Birkhäuser, 2014. 336 p.

REFERENCES

[1] Metodychni rekomendatsii do vykonannya praktychnykh rabit za temoiu "Enerhetychnyi audyt systemy osvittlenia" do kursu «Enerhetychnyi menedzhment i enerhoaudyt»: dlia stud. Spets.: 7.000008, 8.000008 «Enerhetychnyi menedzhment» (2009). [Methodological recommendations for the implementation of practical work on the topic «Energy audit of the lighting system» for the course «Energy management and energy audit»: for students. spec.: 7.000008, 8.000008 «Energy management»]. (I.A. Nemyrovskiy, I.M. Ovsyannikova, Eds.). Kh.: NTU «KhPI». 23 p. [in Ukrainian].

[2] Serhiychuk, O.V. (2008). Heometrychne modeliuвання fizychnykh protsesiv pry optymizatsii formy enerhoefektyvnykh sporud [Geometrical modeling of physical processes during optimization of the form of energy-efficient buildings]. Extended abstract of doctor's thesis. O. V. Serhiychuk. Kyiv, 39 p. [in Ukrainian].

[3] Dymo, B.V. (2007). Osnovy enerhetychnoho audytu [navchalnyi posibnyk] [Fundamentals of energy audit [educational manual]]. B.V. Dymo, V.I. Pylypchak. Mykolaiv: National University of Shipbuilding named after of Admiral Makarov. 128 p. [in Ukrainian].

[4] 2019 BP Energy Outlook / BP. London, 2019. Retrieved from: <https://www.bp.com/content/dam/>

[bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf), Fre. – fro screen [in English].

[5] Amasyali, K., & El-Gohary, N.M. (2018). A review of data-driven building energy consumption prediction studies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 81, p. 1192–1205 [in English].

[6] Bauer, M., Mosle, P., & Shvarz, M. (2007). Green building. Konzepte fur nahhaltige Architektur – Munhen, Callwey. 207 p. [in English].

[7] Chel, A., & Kaushik, G. (2018). Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. Alexandria Engineering Journal. Vol. 57, № 2, p. 655–669 [in English].

[8] De Gracia, A., & Cabeza, L.F. (2015). Phase change materials and thermal energy storage for buildings. Energy and Buildings. Vol. 103, p. 414–419 [in English].

[9] Desideri, U., & Asdrubali, F. (2018). Handbook of Energy Efficiency in Buildings : A Life Cycle Approach – Heinemann. 858 p. [in English].

[10] Ghosh, S., & Dhaka, A. (2015). Green Structures : Energy Efficient Buildings – Ane Books. 200 p. [in English].

[11] Krarti, M. (2017). Advanced Energy Efficient Building Envelope Systems – American Society of Mechanical Engineers (ASME). 134 p. [in English].

[12] Krarti, M. (2007). Energy-Efficient Electrical Systems for Buildings – CRC Press. 494 p. [in English].

[13] Krarti, M. (2018). Optimal Design and Retrofit of Energy Efficient Buildings, Communities, and Urban Centers – Butterworth-Heinemann. 646 p. [in English].

[14] Shukla, A., & Sharma, A. (2018). Sustainability through Energy-Efficient Buildings – CRC Press. 296 p. [in English].

[15] Sustainable Development Goals (2019). 17 Goals to Transform Our World. OOH. Retrieved from: <https://www.un.org/sustainabledevelopment> [in English].

[16] Troi, A., & Bastian, Z. (2014). Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook – Birkhäuser. 336 p. [in English].

ABSTRACT

Zhovkva O. Architectural ecology of civil buildings and structures.

Energy efficiency and environmental friendliness, as important principles of sustainability for multifunctional complexes, are here considered in the context of the international experience, enabling an identification of the main aspects that are applicable when designing such buildings in Ukraine. Purpose: The purpose of this article is to study the principles of improving energy efficiency and environmental friendliness of multifunctional complexes in Ukraine and thereby enrich the national experience in designing sustainable architecture. Results: On the basis of the study, scientific principles and recommendations are developed that contribute to improving the energy efficiency and environmental friendliness of such complexes. Conclusion: It is concluded that the use of alternative energy sources can cover at least 15–20% of the total energy consumption, and by optimizing the plan it is possible to increase the energy efficiency of a building by up to 14%.

Goal. *In this regard, this research is aimed at the study of world experience in the design of energy-efficient sustainable complexes with mixed functions, the development of project proposals aimed at achieving energy efficiency and environmental friendliness, and the development of scientific principles of energy efficiency in architecture.*

Methodology. *In the course of the research, the field survey method, grapho-analytical method, etc. were widely used.*

The results. *the issue of designing energy-efficient and ecological buildings was investigated; issues of interaction between volumetric and spatial forms and energy-saving technologies; methods of using renewable energy sources; the question of the influence of the shape of the building on energy efficiency, etc.*

Scientific novelty. *Scientific principles of energy efficiency in the architecture of public buildings and structures are proposed.*

Practical significance. *The results of the research can be applied in project practice, scientific work, and teaching activities.*

Key words: *Sustainability in architecture, energy efficiency, environmental friendliness, multifunctional complex, plan optimization.*

AUTHOR'S NOTE:

Zhovkva Olga, Doctor of Architecture, Professor, Head of the Department of Architecture and Urban Planning, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: olha.zhovkva@npp.nau.edu.ua, orcid: 0000-0002-0086-6774

Стаття подана до редакції 07.12.2023 р.