

УДК 725.728.69

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040624.75.1061

ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ

БОНДАРЕНКО О. І., *ст. виклад.*

Кафедра архітектурного проектування та містобудування, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (098) 435-08-44, e-mail: bond.bagatel@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9835-6053

Анотація. Постановка проблеми. Активне використання джерел відновлюваної енергії та впровадження енергоефективних систем у всіх сферах життя сьогодні – це найважливіша складова майбутнього розвитку, який здатен змінити життєдіяльність і комфорт кожної людини. І дуже важливо визначити місце архітектури в цьому процесі. Аналізуючи світовий досвід архітектурної діяльності останніх десятиліть, особливо в економічно розвинених країнах, можна зазначити, що інженерно-технологічні системи альтернативної енергетики стають невід'ємною частиною різних типів будівель та комплексів, як житлових (малоповерхові, багатоповерхові), так і громадських (ділові, торгові, культурні, поліфункціональні комплекси та ін.). Альтернативна енергетика стає одним із факторів, що впливає на планування та зовнішній вигляд будівлі, вибір матеріалів та декоративне оздоблення і значною мірою – на формування об'єктів «інноваційної» архітектури. **Мета статті** – дослідити особливості архітектурного формування енергоефективних багатоповерхових будівель як результат взаємозумовленості архітектури і енергоефективних технологічних систем, на прикладі сучасних архітектурних об'єктів світу. **Висновок.** Інженерно-технологічні системи альтернативної енергетики багатоповерхових будівель, які базуються на відновлюваних джерелах енергії, забезпечують такі характеристики будівель, як екологічність, автономність, самодостатність, економічність, енергоефективність і високий рівень комфортності проживання, архітектурна індивідуальність і свобода архітектурного формування, незвичайність об'ємно-композиційних рішень архітектурних об'єктів.

Ключові слова: багатоповерхова будівля; енергоефективність; відновлювані джерела енергії; архітектурне формування; екобудівля; будівлі високих технологій

FEATURES OF ARCHITECTURAL FORM FORMATION OF ENERGY-EFFICIENT MULTISTORY BUILDINGS

BONDARENKO O.I., *Senior Lecturer*

Department of Architectural Design and Urban Planning, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (098) 435-08-44, e-mail: bond.bagatel@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9835-6053

Abstract. Problem statement. The active use of renewable energy sources and the introduction of energy-efficient systems in all spheres of life today is the most important component of future development, which can change the life and comfort of every person. And it is very important to determine the place of architecture in this process. Analyzing the global experience of architectural activity in recent decades, especially in economically developed countries, it can be noted that engineering and technological systems of alternative energy are becoming an integral part of various types of buildings and complexes, both residential (low-rise, high-rise) and public (business, retail, cultural, multifunctional complexes, etc.). Alternative energy is becoming one of the factors influencing the layout and appearance of a building, the choice of materials and decorative finishing, and significantly influencing the formation of objects of new “innovative” architecture. **Purpose of the article.** To explore the features of the architectural form formation of energy-efficient multi-storey buildings as a result of the interdependence of architecture and energy-efficient technological systems using the example of modern architectural objects in the world. **Conclusion.** Engineering and technological systems of alternative energy for multi-storey buildings, based on renewable energy sources, provide such characteristics of buildings as: environmental friendliness, autonomy, self-sufficiency, profitability, energy efficiency and a high level of living comfort, architectural individuality and freedom of architectural form formation, unusual volumetric and compositional architectural solutions objects.

Keywords: multistorey building; energy efficiency; renewable energy sources; architectural form formation; eco-building; high-tech buildings

Постановка проблеми. Активне впровадження енергоефективних систем у всіх сферах життя сьогодні – це найважливіша складова майбутнього розвитку, який здатен змінити життєдіяльність і комфорт кожної людини. І дуже важливо визначити місце архітектури в цьому процесі.

Аналізуючи світовий досвід архітектурної діяльності останніх десятиліть, особливо в економічно розвинених країнах, можна зазначити, що інженерно-технологічні системи альтернативної енергетики стають невід'ємною частиною різних типів будівель та комплексів, як житлових (малоповерхові, багатоповерхові), так і громадських (ділові, торгові, культурні, поліфункціональні комплекси тощо). Альтернативна енергетика стає одним із факторів, що впливає на планування та зовнішній вигляд будівлі, вибір матеріалів та декоративне оздоблення, на формування об'єктів «інноваційної» архітектури.

Не втратила своєї актуальності сьогодні й архітектурна «Тріада Вітрувія» «Міцність. Користь. Краса» саме тому, що завдяки активному розвитку технологій вкупі з прагматичністю ХХІ століття, «Краса» архітектури, як складова Тріади, на жаль, частіше залишається позаду, як кажуть на «другорядних ролях», а повинна йти поруч із високими технологіями та інноваціями.

Мета статті – дослідити особливості архітектурного формування енергоефективних багатоповерхових будівель як результат взаємозумовленості архітектури й енергоефективних технологічних систем, на прикладі сучасних архітектурних об'єктів світу.

Аналіз публікацій. Енергетична ефективність – це властивість будівлі, її конструктивних елементів та інженерного обладнання забезпечувати протягом очікуваного життєвого циклу будівлі побутові потреби людини та оптимальні мікрокліматичні умови для її перебування чи проживання у приміщеннях такої будівлі за нормативно допустимого (оптимального) рівня витрат енергетичних ресурсів на опалення, освітлення, вентиляцію,

кондиціонування повітря, гаряче водопостачання з урахуванням місцевих кліматичних умов.

Чим менше енергії використовує будівля для підтримки сприятливого мікроклімату в приміщенні, тим більш енергоефективний будинок [1; 3; 4].

Визначені технологічно-конструктивні вимоги щодо забезпечення високого класу енергетичної ефективності будівлі, котрі постійно оновлюються і розширюються. Це – відновлювана енергія, якісна теплоізоляція, герметична конструкція, вентиляція з рекуперацією, якість будівництва, ізоляція підлоги, потрійне енергоефективне скління, регулювання інсоляції тощо [2].

Сьогодні зроблені великі напрацювання у сфері проектування та будівництва енергоефективних будівель у багатьох країнах світу, в тому числі і в Україні, що дало змогу розробити класифікаційний ряд енергоефективних будівель.

В Україні діє класифікація будівель для оцінювання енергоефективності будівель, відповідно до стандартів Європейських країн [3]:

- старі будівлі, побудовані до 1970-х років (в Україні до 2007 року), що вимагають для свого опалення і охолодження близько 300 кВт-ч /м²;

- нові, які зводилися в Європі з 1970-х до 2002 року (в Україні до 2016 р.) – 150 кВт-ч/м²; будівлі низького енергоспоживання (з 2002 р. в Європі не дозволено будівництво споруд з великим енергоспоживанням) – 60 кВт-ч/м²;

- пасивні будівлі (прийнято закон, за яким з 2019 р. в Європі не можна зводити будівлі за стандартами нижче «пасивний будинок») – 15 кВт-ч/м²;

- будинки нульової енергії (архітектурно мають ті ж самі стандарти, що і пасивні, але інженерно оснащені так, щоб використовувати тільки ту енергію, яку самі і виробляють) – 0кВт-ч/м²;

- будинки плюс енергія за допомогою встановленого на них інженерного обладнання: сонячних батарей, колекторів, теплових насосів, рекуператорів та ін. –

виробляють більше енергії, ніж самі споживають.

У сучасній практиці найбільш поширеними джерелами відновлюваної енергії для будівель стали: сонячна енергія, енергія вітру, геотермальна енергія, гідроенергія, енергія океану, біоенергія.

Відповідно до типу енергії, у проектуванні енергоефективних будівель, застосовується різне інженерне обладнання: геліоколектори, сонячні колектори, фотоелектричні перетворювачі, сонячні батареї та інші засоби отримання сонячної енергії; вітрогенератори (енергія вітру); геотермальні системи (енергія Землі); гідроелектростанції, припливно-відпливні електростанції (енергія води) та ін. [5].

Результати досліджень. На перших етапах моделювання інженерно-технологічних систем альтернативної енергетики (систем інженерного обладнання будівлі, яка забезпечує вищезазначені характеристики і, особливо, високий клас енергетичної ефективності будівлі) експериментальним об'єктом була переважно малоповерхова споруда. Вона більше нагадувала інженерний об'єкт, під час проектування якого питання планування, архітектурного формоутворення, композиції відходили на другий план.

Треба також зазначити, що об'єктом для моделювання енергоефективних технологічних систем була обрана малоповерхова будівля завдяки достатній площі покрівлі для геліосистеми, основного

технологічного елемента, який виробляє енергію, що спрощувало забезпечення високого класу енергоефективності будівлі.

Зовсім інша історія проектування енергоефективних багатоповерхових споруд.

Забезпечення енергетичної ефективності багатоповерхової будівлі вимагає комплексного підходу, а саме: використання поверхні всіх зовнішніх огорожувальних конструкцій (покрівля, стіни тощо) для інтегральних геліосистем, розроблення нових конструктивних схем огорожувальних конструкцій та інших конструктивних елементів, розроблення архітектурно-планувальних рішень, які забезпечать високі показники енергоефективності будівлі в конкретних природно-кліматичних умовах.

Формоутворення в архітектурному проектуванні – це творчий процес, що включає систему знань проектувальника в технічній, екологічній, композиційній, психологічній та інших сферах.

Розглянемо деякі об'єкти, зведені з використанням передових еко-смайт-технологій, які являють собою не лише зразки екологічності й енергоефективності, а й зразки нестандартних архітектурно-планувальних, об'ємно-композиційних та інженерних рішень.

1. *Енергоефективна офісна будівля корпорації Manitoba Hydro, Вінніпег, Канада.* «Жива будівля» з передовими технологіями, яка динамічно реагує на місцевий клімат (рис. 1) [6].



Рис. 1. Енергоефективна офісна будівля корпорації Manitoba Hydro

Архітектурна форма 21-поверхової споруди – це органічна симетрична композиція геометричних елементів,

динамічно спрямованих у небо і розкритих до сонця. Найбільш знакові технологічні особливості: «Сонячний димар», 115-м

(система пасивної (природної) вентиляції), подвійна фасадна система навісних стін, три шестиповерхові південні атріуми (легкі будівлі), водоспад (24 м) в кожному з атріумів, геотермальна система, зелений дах стилобату. Особлива увага приділена формуванню композиції внутрішнього простору будівлі.

2. Еко-будівля, яка обертається за сонцем, Фрайбург, Німеччина. Як листя та



Рис. 2. Еко-будівля Heliotrop, Фрайбург

3. Енергоефективна будівля «Elithis Tower», Діжон, Франція. Виробляє електроенергії більше, ніж споживає. На даху та фасаді 10-поверхового офісного центру розташовано 330 сонячних панелей, що виробляють електроенергію в обсязі, достатньому для освітлення, опалення та кондиціонування 54 тис. м² офісного простору (рис. 3) [8].

4. «Екобудівля» миру – «Дім Сонця і Місяця» в місті Дечжоу в Китаї. Поліфункціональний комплекс: офіси, зимовий сад, виставковий комплекс, науково-дослідні установи, навчальні заклади, конференц-зали, готель. Загальна площа будівлі – 75 000 м². Упроваджено комбіновану енергоефективну технологічну систему: сонячні колектори, фотоелектричні панелі, «теплі стелі», сезонне зберігання тепла, фотовольтаїчна світлодіодна ілюмінація, теплосберігальне скло та багато іншого. Геліосистема – це окрема конструкція дугоподібної форми, яка

квіти обертаються за сонцем, так і Heliotrop слідує за його рухом, щоб досягти максимальної ефективності використання сонячного випромінювання (рис. 2) [7]. Циліндрична, динамічна триповерхова житлова екобудівля встановлена на колоні висотою 14,5 м і діаметром 2,6 м. З одного боку будинок має потрійне скління, з іншого – добре ізольована стіна.



Рис. 3. «Elithis Tower», Діжон, Франція

забезпечує необхідну розрахункову площу для сонячних панелей загальною потужністю 20 кВт. На гігантських дугах розташовано 1 270 сонячних колекторів загальною площею 9 000 м². За рік цей будинок виробляє 36 тис. кВт-год. енергії. У підвалі розташовані два 20-тонні резервуари води, яку нагрівають сонячні колектори (рис. 4) [9].

Архітектура, дизайн, образ «Дому Сонця і Місяця» заснований на ідеї сонячного годинника.

5. Екобудівля Energy Flower – «Енергетична квітка», Китаї. Науково-дослідний центр висотою близько 140 м. Енергією екобудівля забезпечуватиметься за рахунок сонячних панелей на даху великого діаметра та вітротурбін, які будуть розміщені в середині циліндричної колони. Energy Flower буде оснащений системами збирання дощової води та її очищення. Передбачено систему природної вентиляції (рис. 5) [9].



Рис. 4. «Дім Сонця і Місяця» в Кунмі



Рис. 5. Екобудівля Energy Flower в Кунмі

6. *The Pearl River Tower* – хмарочос «Перлинна ріка», Гуанчжоу, Кунмі. 300-метрова 69-поверхова Pearl River Tower повністю автономна і сама забезпечує себе енергією, яка вироблятиметься за рахунок сонячної та енергії вітру.

Особливу увагу приділено архітектурному формоутворенню і конструктивній системі будівлі. Вона має плавну обтічну форму і побудована у формі величезного вітрила, при цьому має відмінну стійкість і здатна витримати сильний землетрус.

Прагнучи створити один із найбільш енергоефективних хмарочосів у світі, компанія SOM включила новітні стійкі технології та інженерні ноу-хау до проекту вежі Pearl River Tower. Усередині та зовні дизайн втілює ідею існування людства в гармонії з навколишнім середовищем, при цьому значно підвищуючи енергоефективність та комфорт.

Енергоефективна технологічна система комбінована й інтегрована в об'єм будівлі.

Аеродинамічна форма вежі розроблена завдяки ретельному вивченню особливостей сонячної радіації та вітру навколо об'єкта. Скульптурний корпус спрямовує вітер в отвори на технічних поверхах, де встановлені вітрові турбіни. Конструкція будівлі оптимізує шлях сонячної енергії.

Енергія виробляється і за допомогою фотоелектричних панелей фасаду. Сонячні теплові колектори нагрівають воду для потреб хмарочоса. Фасадна система із скла не тільки накопичує енергію, а й захищає саму будівлю від перегрівання. Спеціальне

подвійне скління південного фасаду знижує нагрівання будинку. Жалюзі на вікнах автоматично змінюють свій кут для забезпечення оптимального освітлення протягом усього дня, що зменшує витрати на кондиціонування. У конструкції підлог передбачена система охолодження: спеціальними трубами тече холодна вода, яка забезпечує швидке кондиціонування повітря в приміщеннях. Вода для цієї системи надходить із даху, де встановлені спеціальні збірники для дощової води (рис. 6) [10].

7. *The Bahrain World Trade Center Towers* – Башти всесвітнього торговельного центру Бахреїну. Світовий торговий центр Бахреїну – це символ екологічності, сталого дизайну та інженерії. Будівля включає першу установку великогабаритних вітряних турбін в комерційній будівлі.

Форма хмарочоса дозволяє створювати прискорені потоки повітря для гігантських лопатей турбін. Унікальний для цієї будівлі проект, що об'єднує рішення у галузі відновлюваних джерел енергії зі стійкою архітектурою, передбачає три вітряні турбіни діаметром 29 м, які горизонтально підтримуються між двома вежами.

Профілі вітрил двох веж спрямовують береговий бриз між ними, а також створюють підйомну силу позаду, тим самим прискорюючи швидкість вітру між двома конструкціями. Кожна вежа, що звужується до висоти 240 м, візуально прикріплена до землі гармошкою вигнутих, схожих на вітрила форм (рис. 7) [11].



Рис. 6. Хмарочос «Перлинна ріка», Китай



Рис. 7. Бапти торговельного центру Бахрейна

У Європі все частіше для розміщення сонячних панелей використовують, крім дахів, фасади будівель і споруд, для сонячної генерації – це вкрай перспективний напрямок. Експерти пророкують бум упровадження сонячних панелей у будівельні фасадні матеріали.

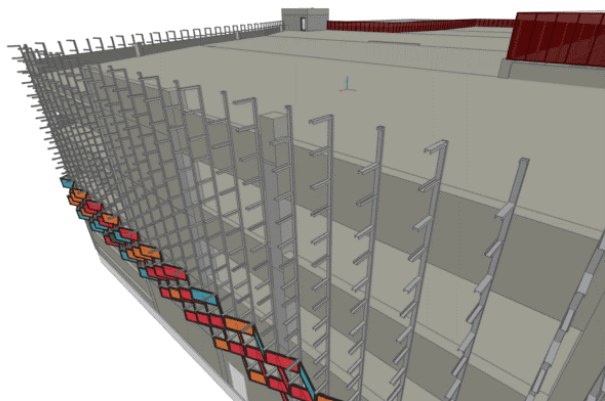
8. Будівлі високих технологій – Фасадна електростанція. Шведська компанія Soltech Energy змонтувала на фасаді паркінгу сонячні панелі. Фасад, як джерело енергії, розроблений з урахуванням необхідної

циркуляції повітря для вентиляції внутрішнього простору та охолодження сонячних панелей.

Фасадна електростанція складається з напівпрозорих безрамних панелей зі скла з прозорістю 40 % і потужністю 60 кВт. Електроенергія призначена для живлення 300 зарядних пристроїв для електромобілів. У цьому їй допомагає традиційна сонячна електростанція, розміщена на даху гаража. (рис. 8) [12].



Рис. 8. Фасадна електростанція, паркінг, Шведська компанія Soltech Energy



9. Будівлі високих технологій – Сонячні фасади (Solar Facades). Сонячні фасади Данської компанії SolarLab інтегрують виробництво енергії в оболонку будівлі і замінюють як традиційне облицювання

фасаду, так і непривабливі фотоелектричні установки на даху. Це звільняє площі дахів для керування дощовою водою, зелених дахів, що поліпшують біорізноманіття, одночасно окупаючи інвестиції. Сонячні

фасади пропонують свободу дизайну у виборі панелі та геометрії монтажу, а також кольори, оздоблення та текстури.

Сонячні фасади – це економічний та красивий спосіб створити й реалізувати

архітектуру з нульовими викидами та отримати високі екологічні сертифікати.

Потреба у значній площі геліосистем зумовлює появу незвичайних об'ємно-композиційних рішень архітектурних об'єктів (рис. 9) [13].



Рис. 9. Будівлі високих технологій – Сонячні фасади (Solar Facades)

10. Біоенерготехнології. «Водоростевий» фасад «зеленої» архітектури. Німецька фірма Splitterwerk Architects спроектувала будинок, зовнішні панелі якого – це фотобіореактори з хлорелою всередині. Панелі будуть виробляти біопаливо, одночасно знижуючи витрати на охолодження споруди влітку. Водоростевий фасад оснащений зовнішніми жалюзі, що закривають фотобіореактори вночі для скорочення теплових втрат.

Оскільки фотобіореактори певною мірою прозорі, вони замінюють частину вікон, знижуючи витрати на освітлення внутрішніх приміщень.

Передбачено утилізацію стічних вод будівлі для насичення живильного середовища фотобіореакторів та прискорення розвитку водоростей (рис. 10) [14].



Рис. 10. «Водоростевий» фасад «зеленої» архітектури, Splitterwerk Architects

11. Будівлі високих технологій – фасад Копенгагенської міжнародної школи – найбільша сонячна електростанція. Головна особливість об'єкту – фасад, який «за сумісництвом» є сонячною електростанцією.

Ця електростанція вироблятиме приблизно 300 мегават-годин електроенергії

на рік, забезпечуючи близько половини енергетичних потреб школи.

Колір сонячним модулям надається у процесі інтерференції світла (фарба не використовується). Інтерференція світла – один із способів фарбування.

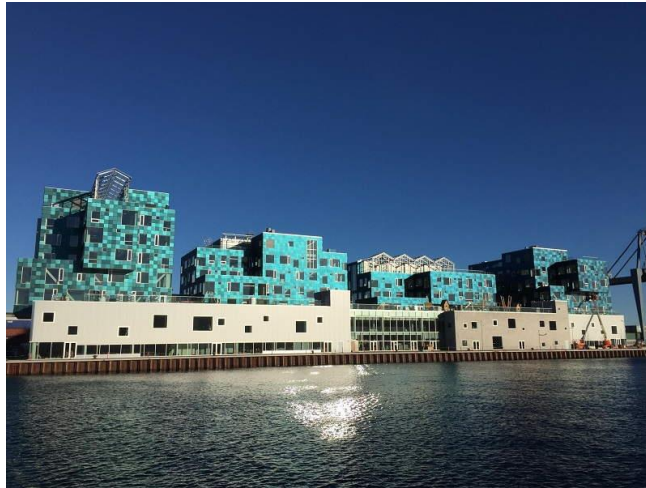


Рис. 11. Копенгагенська міжнародна школа – найбільша сонячна електростанція

Для колерування використовуються спеціальні фільтри, які наносяться на скляні панелі. Конструкція фільтра визначає, світлові хвилі якої довжини відобразяться як видимий колір. Решта сонячного світла поглинається сонячною панеллю і перетворюється на енергію (рис. 11) [15].

Висновки.

Розвиток інноваційних екосмарт-технологій, що забезпечують енергоефективність багатоповерхових будівель, відкриває нові можливості і новий погляд на архітектуру майбутнього. Базуючись на аналізі сучасного досвіду проектування і будівництва енергоефективних багатоповерхових будівель і комплексів, можна зазначити, що склалися умови для формування типологічного ряду енергоефективних багатоповерхових споруд: енергоефективна екобудівля, будівлі високих технологій, біотехнологій тощо.

Інженерно-технологічні системи альтернативної енергетики багатоповерхових будинків, які базуються на відновлюваних джерела енергії, забезпечують такі характеристики, як: екологічність, автономність, самодостатність, економічність, енергоефективність і високий рівень комфортності проживання, архітектурну індивідуальність і свободу

архітектурного формоутворення, незвичайність об'ємно-композиційних рішень архітектурних об'єктів.

Енергоефективна технологічна система багатоповерхової будівлі комбінована й інтегрована в її об'ємно-планувальну структуру, що забезпечує взаємозумовленість архітектурного формоутворення та інженерно-технологічного рішення системи альтернативної енергетики.

Так, пластика фасаду, габарити і форма будівлі проектується з урахуванням направленості потоків повітря на вітрогенератори, які вбудовані в конструкцію споруди. Забезпечення енергоефективності багатоповерхового будинку впливає на габарити, геометрію плану, форму оболонки будівлі, конструкцію огорожувальної поверхні (стіни, покрівля) та інших елементів, конструктивну систему.

Формування оптимальної та економічної системи вентиляції і кондиціонування спонукає до пошуку нестандартних архітектурно-об'ємних і композиційних рішень окремих елементів і будівлі в цілому. Альтернативна енергетика стає одним із факторів, що впливає на планування та зовнішній вигляд споруди, вибір матеріалів та декоративне оздоблення і, значною мірою, на формоутворення об'єктів «інноваційної» архітектури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергоефективний будинок. URL: <https://termobud.com.ua/ua/news/energoeffektivniy-dom.html>
2. Енергоефективність: що це і як впливає на комфорт проживання. URL: <https://nerukhomi.ua/news/energoeffektivnost-cto-eto-takoe-i-kak-vliyaet-na-komfort-prozhivaniya.htm>

3. Енергоефективність будівель в Україні. URL: <https://dergbud.org.ua/enerhoefektyvnist-budivelua.html>
4. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Київ, 2017. URL: https://dbn.co.ua/dbn/DBN_V.2.6-31-2016_Teplova_izolyatsiya_budively.pdf
5. Енергонезалежні будівлі та відновлювальні джерела енергії. URL: <https://www.civilbud.com.ua/index.php/articles/tehnologii/315-energonezalezni-budivli-ta-vidnovlualni-dzherela-enerгии>
6. Manitoba Hydro. KPMB Architects. URL: <https://www.archdaily.com/44596/manitoba-hydro-kpmb-architects>
7. Фрайбург – приклад сталого енергоефективного розвитку. URL: <https://caxapa.ua/kompaniya-statti-frajburg-priklad-stalogo-energoefektivnogo-rozvitku-mista>
8. Елітис Таур. URL: <https://www.arte-charpentier.com/en/projects/elithis-tower/>
9. Екологічні будівлі. URL: <https://svitppt.com.ua/ekologiya/top-naycikavishih-novin-pro-ekologichne-budivnictvopidgotuvav-balabuha-d.html>
10. Башта перлиної річки. URL: <https://www.som.com/projects/pearl-river-tower/>
11. Світовий торговий центр Бахрейну. URL: <https://www.arch2o.com/bahrain-world-trade-center-kill-design/>
12. У Швеції створили сонячний фасад для заряджання електромобілів. URL: <https://eenergy.media/news/19790>
13. Сонячні фасади «Solar Facades». URL: <https://hvoya.wordpress.com/2023/02/15/solarlab>
14. У Німеччині будується сама «зелена» будівля у світі. URL: <https://bin.ua/news/economics/economic/134619-v-germanii-stroitsya-samoe-zelyonoe-zdanie-v-mire.html>
15. Copenhagen International School. URL: <https://www.archdaily.com/879152/copenhagen-international-school-nordhavn-cf-moller>

REFERENCES

1. *Enerhoefektyvnyy budynok* [Energy efficient house]. URL: <https://termobud.com.ua/ru/news/energoeffektivnyy-dom.html> (in Ukrainian).
2. *Enerhoefektyvnist': shcho tse i yak vplyvaye na komfort prozhyvannya* [Energy efficiency : what it is and how it affects living comfort]. URL: <https://nerukhomi.ua/news/energoeffektivnost-cho-eto-takoe-i-kak-vliyaet-na-komfort-prozhivaniya.htm> (in Ukrainian).
3. *Enerhoefektyvnist' budivel' v Ukrayini* [Energy efficiency of buildings in Ukraine]. URL: <https://dergbud.org.ua/enerhoefektyvnist-budivelua.html> (in Ukrainian).
4. *DBN V.2.6-31:2016. Teplova izolyatsiya budivel'* [DBN V.2.6-31:2016. Thermal insulation of buildings]. Kyiv, 2017. URL: https://dbn.co.ua/dbn/DBN_V.2.6-31-2016_Teplova_izolyatsiya_budively.pdf (in Ukrainian).
5. *Enerhonezalezni budivli ta vidnovlyuval'ni dzherela enerhiyi* [Energy-independent buildings and renewable energy sources]. URL: <https://www.civilbud.com.ua/index.php/articles/tehnologii/315-energonezalezni-budivli-ta-vidnovlualni-dzherela-enerгии> (in Ukrainian).
6. Manitoba Hydro. KPMB Architects. URL: <https://www.archdaily.com/44596/manitoba-hydro-kpmb-architects>
7. *Frajburh – pryklad staloho enerhoefektyvnoho rozvytku* [Freiburg is an example of sustainable energy-efficient development]. URL: <https://caxapa.ua/kompaniya-statti-frajburg-priklad-stalogo-energoefektivnogo-rozvitku-mista> (in Ukrainian).
8. *Elitys Tauer* [Elytis Tower]. URL: <https://www.arte-charpentier.com/en/projects/elithis-tower/> (in Ukrainian).
9. *Ekolohichni budivli* [Ecological buildings]. URL: <https://svitppt.com.ua/ekologiya/top-naycikavishih-novin-pro-ekologichne-budivnictvopidgotuvav-balabuha-d.html> (in Ukrainian).
10. *Bashta perlynoyi richky* [Pearl River Tower]. URL: <https://www.som.com/projects/pearl-river-tower/> (in Ukrainian).
11. *Svitovyy torhovyy tsentr Bakhreynu* [Bahrain World Trade Center]. URL: <https://www.arch2o.com/bahrain-world-trade-center-kill-design/> (in Ukrainian).
12. *U Shvetsiyi stvoryly sonyachnyy fasad dlya zaryadzhan'ya elektromobiliv* [A solar façade for charging electric vehicles was created in Sweden]. URL: <https://eenergy.media/news/19790> (in Ukrainian).
13. *Sonyachni fasady "Solar Facades"* [Solar facades "Solar Facades"]. URL: <https://hvoya.wordpress.com/2023/02/15/solarlab> (in Ukrainian).
14. *U Nimechchini buduyet'sya sama "zelena" budivlya u sviti* [The greenest building in the world is being built in Germany]. URL: <https://bin.ua/news/economics/economic/134619-v-germanii-stroitsya-samoe-zelyonoe-zdanie-v-mire.html> (in Ukrainian).
15. Copenhagen International School. URL: <https://www.archdaily.com/879152/copenhagen-international-school-nordhavn-cf-moller>

Надійшла до редакції: 30.03.2024.