

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.13.22-42

УДК 728.2:699.8

**Букреєв А.С.,**

antonbukreev53@gmail.com, ORCID: 0009-0008-4031-3358,

Придніпровська державна академія будівництва і архітектури

## **АРХІТЕКТУРНО ПЛАНУВАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДИНКІВ**

*Впровадження енергоефективних технологій є важливим для майбутнього розвитку, адже знижує енергетичні витрати та підвищує комфорт життя. Архітектура відіграє ключову роль у цьому процесі, впливаючи на енергоефективність через вибір матеріалів, орієнтацію будівель, зелені дахи та фасади, а також інтеграцію відновлюваних джерел енергії. Архітектура стає не лише мистецтвом, але й наукою, що формує екологічно стійке середовище. Розуміння впливу енергоефективних технологій на архітектурний вигляд та планування є важливим для досягнення стійкого розвитку та забезпечення комфорту для майбутніх поколінь.*

*Аналіз сучасного архітектурного досвіду свідчить про те, що альтернативна енергетика вийшла за межі суто технічної чи промислової сфери, набула символічного значення та стала невід'ємним елементом концепції «відповідальної» архітектури. Вона відображає новий рівень екологічної свідомості, що формується як у професійному середовищі архітекторів, так і в суспільстві загалом. У багатьох випадках саме інтеграція технологій відновлюваної енергетики визначає архітектурно-просторову організацію об'єктів: впливає на вибір конструктивних матеріалів, декоративне оздоблення, формоутворення, а також планувальну та функціональну орієнтацію будівель.*

*Ключові слова: багатопверхова будівля; енергоефективність; відновлювані джерела енергії; архітектурне формоутворення; автономність; екологічність.*

**Постановка проблеми.** Проектування енергоефективних будівель є важливою складовою сучасного будівництва, яка поєднує в собі теоретичні знання та практичні навички для створення споруд, що забезпечують максимальну енергоефективність і мінімізацію впливу на навколишнє середовище. Ця тема набуває особливого значення в умовах глобальних змін клімату, підвищення цін на енергоносії та необхідності зменшення викидів парникових газів.

**Акутальність і новизна.** Теорія енергоефективного проектування базується на принципах раціонального використання енергії та ресурсів. Вона включає в себе аналіз теплових процесів, що відбуваються в будівлях, дослідження властивостей будівельних матеріалів, використання математичних моделей для прогнозування енергоспоживання та впровадження передових технологій. Основним завданням є досягнення оптимального балансу між комфортом для користувачів будівлі та енергетичними витратами на її обслуговування.

Практика проектування енергоефективних будівель вимагає інтегрованого підходу, який включає вибір енергоефективних конструкцій та матеріалів, використання систем відновлюваної енергії, оптимізацію систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Архітектори та інженери повинні враховувати місцеві кліматичні умови, орієнтацію будівлі, її конфігурацію та інші фактори, що впливають на енергоспоживання. Використання програмного забезпечення для моделювання енергоспоживання дозволяє проектувальникам оцінювати ефективність різних рішень на ранніх етапах проектування.

**Мета статті** – аналіз та узагальнення архітектурно-планувальних рішень, які сприяють створенню енергоефективних багатоповерхових будівель, з урахуванням впливу систем на основі відновлюваних джерел енергії на планування, форму та функціональну організацію об'єкта.

Одним із ключових аспектів енергоефективного проектування є використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, теплові насоси, вітрові турбіни та системи збирання дощової води. Інноваційні технології, які здатні значно знизити споживання енергії завдяки максимальному використанню природних ресурсів, як-от сонячного світла та тепла. 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.

**Результати досліджень.** В Україні діє класифікація будівель для оцінювання енергоефективності будівель, відповідно до стандартів Європейських країн [1]:

- старі будівлі, побудовані до 1970-х років (в Україні до 2007 року), що вимагають для свого опалення і охолодження близько 300 кВт-ч /м<sup>2</sup>;
- нові, які зводилися в Європі з 1970-х до 2002 року (в Україні до 2016 р.) – 150 кВт-ч/м<sup>2</sup>; будівлі низького енергоспоживання (з 2002 р. в Європі не дозволено будівництво споруд з великим енергоспоживанням) – 60 кВт-ч/м<sup>2</sup>;
- пасивні будівлі (прийнято закон, за яким з 2019 р. в Європі не

можна зводити будівлі за стандартами нижче «пасивний будинок») – 15 кВт·ч/м<sup>2</sup>;

- 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/м<sup>2</sup>;

- будинки плюс енергія за допомогою встановленого на них інженерного обладнання: фотовольтаїки, 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.

Відповідно до типу відновлюваного джерела, у проектуванні енергоефективних будівель використовують різноманітне інженерне обладнання: геліоколектори, сонячні колектори, фотоелектричні перетворювачі та сонячні батареї для використання сонячного випромінювання; вітрогенератори для перетворення кінетичної енергії повітряних потоків; геотермальні системи, що використовують теплові властивості ґрунту; системи збору, очищення та повторного використання дощової води для зменшення навантаження на традиційні джерела водопостачання. Застосування цих технологій дозволяє підвищити автономність будівель та знизити загальне енергоспоживання.

Ефективність використання відновлюваних джерел енергії значною мірою залежить від умов конкретного регіону [2, 3]. Найвищий потенціал сонячного випромінювання спостерігається в південних областях країни, зокрема в Криму, Одеській, Херсонській та Запорізькій областях, де річний рівень інсоляції сягає понад 1350–1450 кВт·год/м<sup>2</sup>. Це створює сприятливі умови для інтеграції сонячних панелей у фасади та дахи багатопверхових будинків, що дозволяє значно зменшити споживання традиційних енергоресурсів. Архітектурно-планувальні рішення повинні враховувати орієнтацію будівель відносно сонця, ефективно зонування приміщень, а також можливість застосування пасивного сонячного опалення для підвищення загальної енергоефективності.

В Україні найбільш сприятливими для використання енергії вітру є південні області — Одеська, Миколаївська, Херсонська, а також прибережні зони Чорного та Азовського морів. Тут середньорічні показники швидкості вітру досягають значень, що забезпечують ефективну роботу вітроелектростанцій. Центральні регіони (зокрема Запорізька та Дніпропетровська області) мають середній потенціал, який дозволяє локальне застосування вітрових установок. Натомість північні та західні області

характеризуються нижчими вітровими показниками, що обмежує доцільність масштабного впровадження вітроенергетики в цих регіонах. Таким чином, географічне розташування суттєво впливає на вибір джерел відновлюваної енергії при архітектурному проектуванні.

Згідно з картою, найбільш придатними для використання геотермальних ресурсів є Закарпатська область, південна частина Одеської та Херсонської областей, а також окремі ділянки Донеччини та Харківщини. У цих регіонах температура геотермальних вод на глибині понад 3000 метрів сягає 100–120°C, що дозволяє ефективно використовувати їх для опалення та гарячого водопостачання. Інтеграція геотермальних теплових насосів у системи інженерного забезпечення багатоповерхових будинків дає змогу суттєво знизити енергоспоживання та викиди парникових газів. При архітектурному проектуванні доцільно передбачати просторові рішення для розміщення теплообмінного обладнання та геотермальних свердловин, забезпечуючи комплексний підхід до формування енергоефективного середовища (рис.1).



Рис. 1. Потенціал відновлюваних джерел енергії на території України

Вибір орієнтації і форми висотних будівель має значний вплив на їх енергоефективність і загальну сталість експлуатації. Орієнтація будівлі визначає, як вона використовує сонячну енергію, природне освітлення і вентиляцію. Правильно обрана орієнтація може значно зменшити енергетичні витрати на опалення та кондиціонування повітря. Наприклад, південна орієнтація забезпечує максимальне використання сонячної енергії взимку, знижуючи витрати на опалення, тоді як відповідне укладання вікон і вентиляційних систем може забезпечити ефективне охолодження влітку.

Форма будівлі також впливає на її енергоефективність. Обтічні форми знижують опір повітря, що може покращити ефективність вентиляційних систем і зменшити витрати на електроенергію для приводу вентиляторів. Крім того, оптимальна геометрія плану будівлі може сприяти кращому розподілу освітлення всередині приміщень і зниженню необхідності від освітлення штучного світла (рис.2).

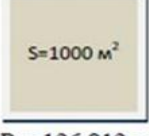
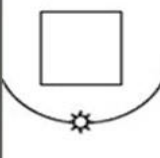
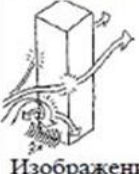

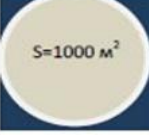
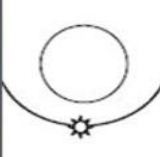







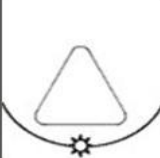
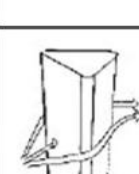
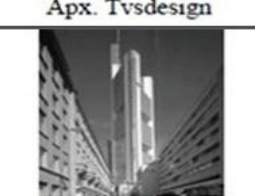

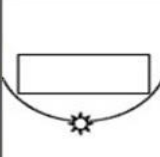
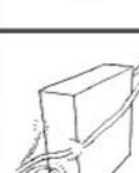

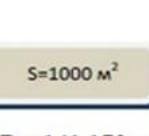
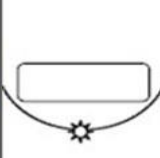
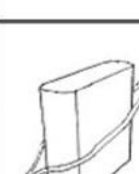

Форма	Вплив сонця	Вплив вітру	Приклад	Опис
 <p><math>S=1000 \text{ м}^2</math> <math>P = 126\ 812 \text{ м}</math></p>		 <p>Изображение: Foster and Partners</p>	 <p>COR building, OPENheim architecture</p>	<p>З огляду на енергоефективність ця форма є найбільш оптиміальною.</p> <p>Дозволяє ефективно використовувати внутрішній простір.</p>
 <p><math>S=1000 \text{ м}^2</math> <math>P = 112\ 349 \text{ м}</math></p>		 <p>Изображение: Foster and Partners</p>	 <p>Башня Мэри-Экс. 30, «Фостер и Партнеры»</p>	<p>Найбільш ефективна форма будівлі, бо при однаковій площі - менший периметр.</p> <p>Отримує більше сонячної радіації з південної сторони.</p>
 <p><math>S=1000</math> <math>P = 144\ 781 \text{ м}</math></p>			 <p>Duke Energy Center, Apx. Tvsdesign</p>	<p>Трикутні будівлі можуть краще протистояти вітровим навантаженням завдяки своїй аеродинамічній формі.</p> <p>Менше придатні для встановлення сонячних панелей.</p>
 <p><math>S=1000</math> <math>P = 133\ 375 \text{ м}</math></p>			 <p>Commerzbank, «Фостер и Партнеры»</p>	<p>Трикутна форма з округленими кутами має менший периметр при однаковій площі.</p> <p>Зменшення вітрового навантаження.</p>
 <p><math>S=1000</math> <math>P = 145\ 699 \text{ м}</math></p>			 <p>The City Centre of Huaxi, Apx. MAD</p>	<p>Широтна орієнтація є сприятливою для інсоляції.</p>
 <p><math>S=1000 \text{ м}^2</math> <math>P = 141\ 170 \text{ м}</math></p>			 <p>AKASYA Client, Apx. Acibadem Architect</p>	<p>Округлі краї зменшують вітрове навантаження.</p> <p>Світло менш концентровано на кутах, що забезпечує більш рівномірне освітлення і може зменшити потребу у штучному освітленні.</p>

Рис. 2. Взаємодія форми будівлі, орієнтації та опору вітрової енергії

Вибір орієнтації і форми також пов'язаний з архітектурним виразом і функціональними потребами будівлі. Інтеграція енергоефективних технологій не лише забезпечує економічні вигоди, але й сприяє створенню комфортних умов для користувачів та покращує якість життя в міських середовищах. Такий підхід необхідний для досягнення сталого розвитку міст і зменшення впливу на навколишнє середовище, що є актуальним завданням у сучасному світі.

Різні форми будівель мають свої переваги та недоліки з точки зору енергоефективності. Прямокутний план є найпростішим для реалізації, забезпечує оптимальне використання простору та легку орієнтацію щодо сонця, але має високий вітровий опір. Варіант із округлими краями знижує вітрове навантаження й покращує розподіл сонячної енергії, проте ускладнює конструкцію. Круглі плани забезпечують мінімальний опір вітру та рівномірне поглинання сонячної енергії, однак обмежують внутрішнє планування. Трикутні форми дозволяють ефективно орієнтувати фасади, але гострі кути можуть спричинити тепловтрати. Округлені трикутники покращують аеродинамічні властивості, втім залишаються складними в реалізації та дорожчими.

Взаємодія вітру з будівлею залежить від кута нахилу будівлі відносно горизонту. Зміна кута нахилу може значно вплинути на вітровий опір та повітряні потоки навколо будівлі [4] (рис.3).

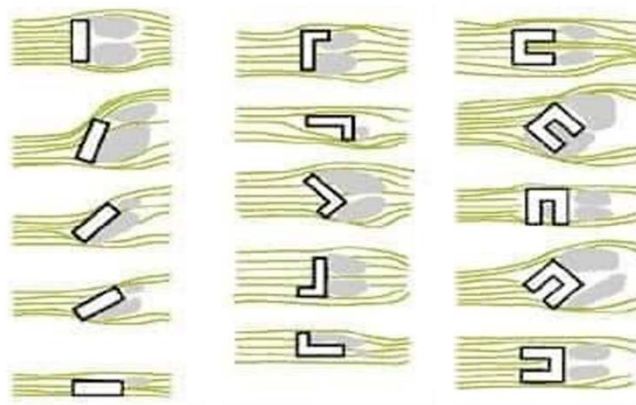


Рис. 3. Приклади взаємодії форми будівлі з вітром

При вертикальному положенні ( $90^\circ$ ) будівля чинить максимальний опір повітряному потоку, створюючи значну турбулентність і навантаження на стіни. Із зменшенням кута нахилу ( $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $30^\circ$ ) вітровий опір поступово зменшується, потік обтікає будівлю більш плавно, зменшуючи зони зниженого тиску та турбулентності. За кута  $15^\circ$  і менше будівля майже не перешкоджає повітряному потоку, турбулентність мінімальна, а тиск розподіляється рівномірно. Таким чином, зменшення кута нахилу дозволяє значно покращити аеродинамічні властивості будівлі.

Розташування кількох будівель на ділянці в порядку зростання висоти і використання паль для підняття будівель над землею забезпечує значну енергоефективність. Розташування будівель таким чином знижує вплив затінення, дозволяючи кожній будівлі отримувати максимальну кількість сонячного світла для природного освітлення та пасивного обігріву.

Підняття будівель на палях забезпечує природну вентиляцію під ними, що

допомагає уникнути перегрівання влітку та зменшує витрати на кондиціонування повітря. Взимку така вентиляція сприяє зменшенню вологості під будівлями, запобігаючи втратам тепла через землю.

Розташування більш високих будівель у напрямку переважного вітру може значно вплинути на вітрові умови для будівель позаду них, створюючи певні енергоефективні переваги. Високі будівлі виступають як вітрозахисні бар'єри, що знижують силу вітру, який досягає нижчих будівель. Це зменшує тепловтрати через вентиляційні та інші відкриті елементи будівель меншої висоти, що особливо важливо в холодні сезони.

Розміщення будівель під кутом 30 або 45 градусів до напрямку вітру покращує вентиляцію, зменшуючи вітровий опір і сприяючи природному охолодженню. Розташування будівель в шаховому порядку також оптимізує потоки повітря, знижуючи витрати на кондиціонування та підвищуючи загальну енергоефективність.

Крім того, зниження вітрового навантаження сприяє покращенню комфорту проживання та зменшує необхідність у додатковому обігріві, що позитивно впливає на загальну енергоефективність будівельного комплексу. Водночас високі будівлі можуть сприяти утворенню зон турбулентності та зниженого тиску позаду них, що сприяє природній вентиляції та охолодженню в літній період, знижуючи потребу в кондиціонуванні повітря.

Важливо також враховувати, що таке розташування може створити додаткові тіні на низьких будівлях, зменшуючи доступність сонячного світла (рис.4) [5, 6]. Тому необхідно ретельно проектувати планування ділянки, щоб збалансувати всі ці фактори для досягнення оптимальної енергоефективності.

Шахове розташування будівель сприяє підсиленню ефективності вентиляційних систем за рахунок оптимального використання напрямку вітру. Це дозволяє зменшити вітровий опір і збільшити природну циркуляцію повітря, що важливо для забезпечення комфортних умов у будівлі без додаткових енерговитрат на кондиціонування. Кожна будівля в шаховому порядку служить як вітровий перешкоджувач для сусідніх, зменшуючи турбулентність і покращуючи загальну енергоефективність комплексу.

На даний момент проводяться дослідження досягнення енергоефективності за рахунок як містобудівного аспекту, так і архітектурно-планувального. З архітектурного аспекту розглядаються форма будівель та ефективне використання енергії, а також її генерація. Найбільш оптимальними вважаються обтічна архітектурна форма, використання вітрової та сонячної енергії. Досягнення енергоефективності здійснюється за рахунок використання сонячних панелей, фотовольтаїки та вітрових генераторів.

Однак не менш важливим у цьому дослідженні є містобудівний аспект.

Аналізується взаємодія вітру з різними формами будівель та їх розташуванням на ділянці з урахуванням рельєфу та конфігурації території. Враховуються рекомендації зберігати певний крок між будівлями та орієнтувати довгі фасади на північ, а при точковому розміщенні будівель розташовувати їх у шаховому порядку. Це дозволяє оптимізувати використання природної вентиляції та знизити енергоспоживання на кондиціонування та опалення.

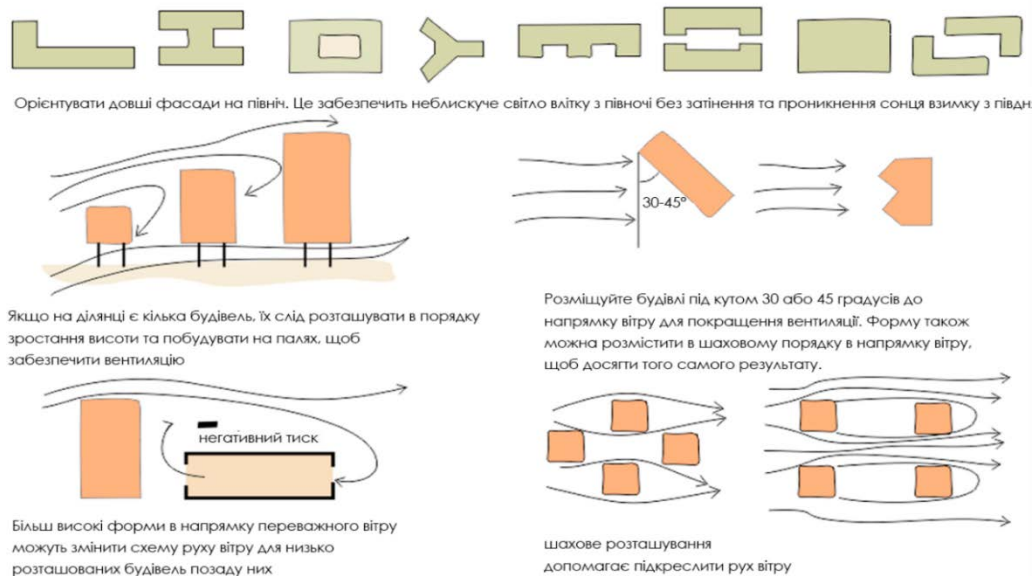


Рис. 4. Приклад розміщення будинків з урахуванням природної вентиляції

Також важливо враховувати вплив кожної форми будівлі на місцевість. Наприклад, обтічні форми зменшують турбулентність вітрових потоків, що позитивно впливає на ефективність вітрових генераторів. Правильне розташування будівель відносно рельєфу дозволяє максимізувати використання сонячної енергії та зменшити енергетичні витрати. Комплексний підхід, який поєднує архітектурні та містобудівні аспекти, дозволяє досягти високого рівня енергоефективності, забезпечуючи комфортні умови проживання та знижуючи негативний вплив на навколишнє середовище.

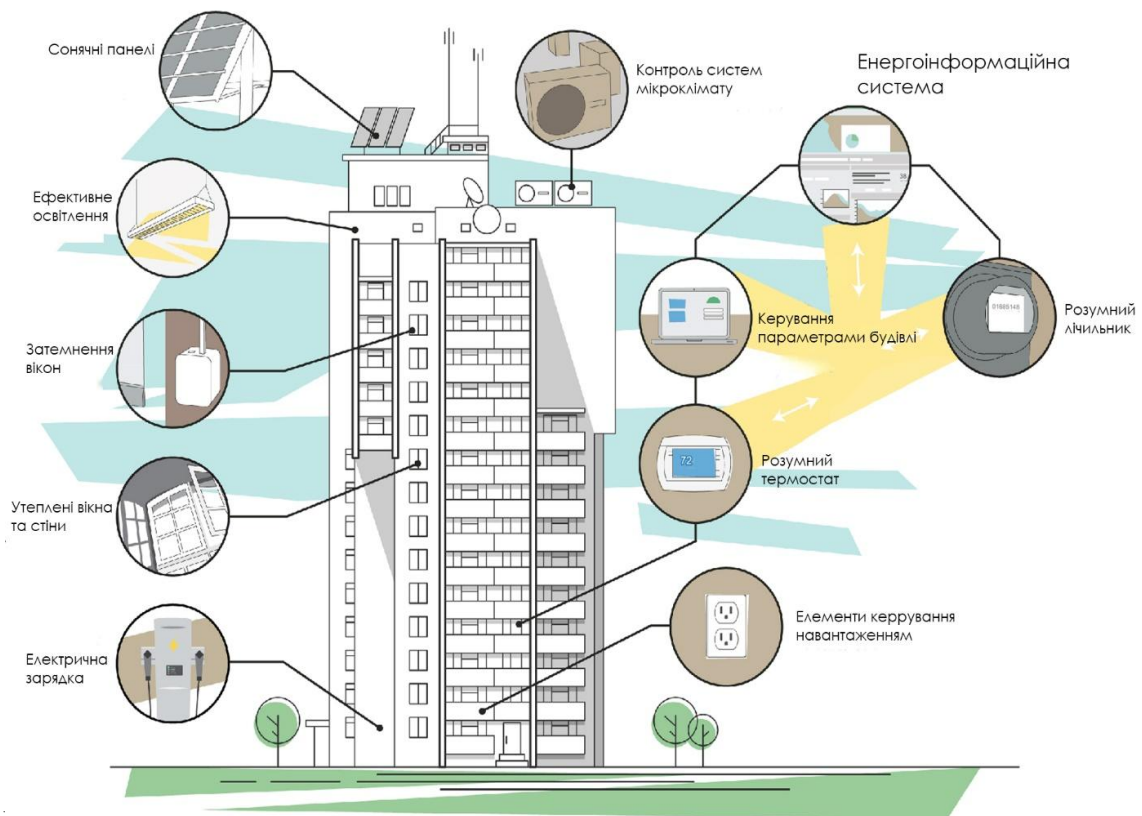
Системи вентиляції з рекуперацією тепла забезпечують свіжість повітря, зберігаючи тепло взимку та прохолоду влітку. Утеплювальні матеріали, як-от пінополістирол чи мінвата, мінімізують втрати тепла через стіни, підлогу та дах. Енергоефективні вікна з багатошаровими склопакетами та спеціальним покриттям знижують тепловтрати та запобігають перегріванню приміщень. Двері з високою теплоізоляцією також сприяють збереженню внутрішньої температури. Використання LED-ламп значно знижує споживання електроенергії на освітлення, при цьому забезпечуючи яскраве та комфортне освітлення приміщень.

Для зниження потреб у опаленні та кондиціонуванні будівлю слід

обладнати ефективними теплоізоляційними матеріалами з покращеними теплоізоляційними властивостями (низький коефіцієнт теплопередачі  $U$ ) та оновити застарілі вікна й двері.

Модернізація старої системи є чудовим варіантом для великих та енергоємних систем, оскільки системи опалення, вентиляції та кондиціонування (ОВК) часто споживають основну частину енергії в будь-якій будівлі. Нова система HVAC з високоефективними компонентами заощадить велику кількість енергії.

Перехід на світлодіодне освітлення може допомогти вам зменшити споживання енергії на 75% порівняно з лампами розжарювання. Використання датчиків руху в рідко використовуваних приміщеннях також скорочує споживання енергії (рис.5) [7].



r

Рис. 5. Принципова схема впровадження засобів енергоефективності у будівлю.

Використання таких систем керування, як система управління будівлею (BMS), система управління енергією (EMS) і менеджер охолоджувальної установки (CRM) допомагають контролювати споживання енергії.

55-60% витрат на енергію припадає на системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC). Старі повітропроводи часто неефективні, створюючи перепади тиску, що збільшує статичний тиск і потребує додаткової роботи вентиляторів. Це підвищує енергоспоживання та витрати. Модернізація

таких систем — це значна можливість для бізнесу, особливо для будівель, яким понад 25 років.

**Аналіз світового досвіду проектування.** Для проведення дослідження доцільно здійснити аналіз досвіду проектування енергоефективних багатоповерхових житлових будинків, зокрема шляхом вивчення реалізованих об'єктів у країнах з розвинутою практикою сталого будівництва. Аналіз таких прикладів дозволяє виокремити найбільш ефективні архітектурно-планувальні рішення, конструктивні прийоми та інженерні системи, що забезпечують високий рівень енергоефективності.

1. Shanghai tower (Gensler) – Шанхай, Китай. Шанхайська вежа у Китаї, є прикладом передових енергоефективних технологій в архітектурі [10] (рис.6).



Рис.6. Зовнішній вигляд Шанхайської вежі

Вежа висотою понад 632 метри включає в себе інноваційні рішення для зменшення споживання енергії та підвищення загальної енергоефективності - використання сонячних панелей, розташовані на даху будівлі; наявність сучасних вентиляційних системам з рекуперацією тепла; інтелектуальні системи керування споживанням енергії дозволяють оптимізувати її використання в залежності від погодних умов та потреб будівлі [8] (рис.7).

Важливою складовою енергоефективності є управління водоспоживанням. Шанхайська вежа використовує системи збору дощової води для поливу зелених насаджень навколо будівлі та для використання в системах холодного водопостачання.

Одним з ефективних архітектурно-планувальних рішень є використання закручування форми вежі, що значно знижує аеродинамічний опір і зменшує вібрації під дією вітру. Дослідження у аеродинамічній трубі показали, що

оптимальний кут закручування (наприклад,  $55^\circ$ ) дозволяє зменшити вітровий момент майже на 45% порівняно з прямокутною формою. Також важливим чинником є орієнтація будівлі відносно панівних напрямків вітру та зміна коефіцієнта усадки плану забудови по висоті. При куті закручування  $120^\circ$  і орієнтації  $40^\circ$ , будівля має лише 67% вітрового навантаження у порівнянні з базовою прямокутною формою (яка має 100%)[9].

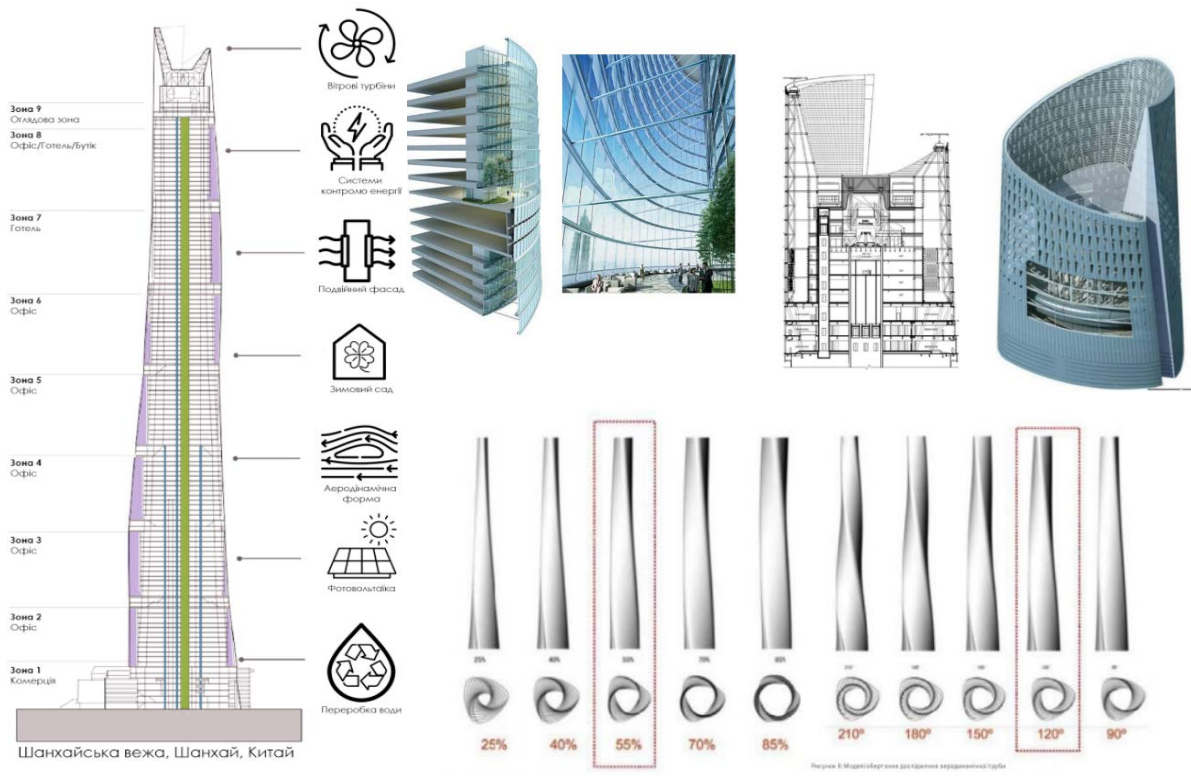


Рис. 7. Схема інтеграції енергоефективних технологій у Шанхайську вежу

Планувальна структура будівлі демонструє трансформацію поверхів у міру зростання висоти. Зменшення площі поверхів із висотою (від  $6440 \text{ м}^2$  на нижніх рівнях до  $2080 \text{ м}^2$  на верхніх) дозволяє зменшити вітрове навантаження, оптимізувати використання матеріалів і підвищити структурну стабільність (рис.8).

Форма плану, що наближається до трилисника, забезпечує оптимальну аеродинаміку, зменшуючи турбулентні потоки навколо будівлі. Така конфігурація також сприяє рівномірному проникненню денного світла в центральні зони, що мінімізує потребу в штучному освітленні протягом дня.

Різна функціональна насиченість поверхів — від офісів до громадських просторів і технічних зон — дозволила гнучко впровадити системи природної вентиляції, рекуперації тепла, «розумного» зонування кліматичних систем і ефективного вертикальне зонування. Це особливо помітно в розподілі площ і розміщенні інженерних вузлів у ядрах будівлі.

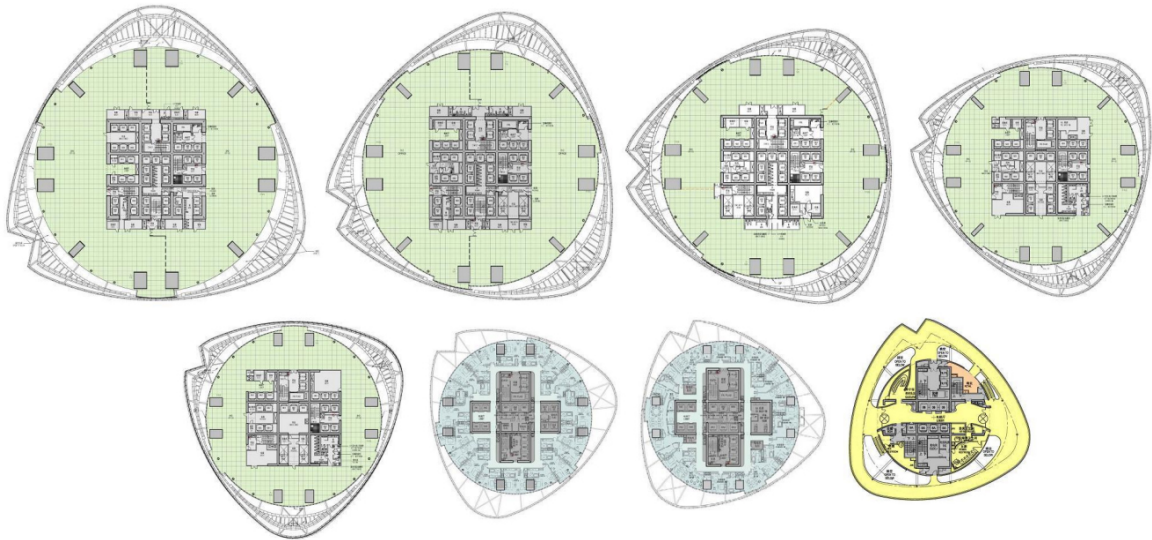


Рис. 8. Плани поверхів Шанхайської вежі

2. LSE Centre Building (Rogers Stirk Harbour + Partners) – Лондон, Велика Британія. Центральний корпус Лондонської школи економіки складається з 13 поверхів і забезпечує простір для різноманітних навчальних та адміністративних функцій (рис.9)



Рис. 9. Зовнішній вигляд LSE Centre Building

На перших поверхах розташовані лекційні зали, аудиторії та приміщення для семінарів, які оснащені сучасними технологіями для навчання та досліджень. Верхні поверхи використовуються для офісних приміщень та відкритих робочих зон, що сприяють співпраці між викладачами та студентами.

Планування будівлі у формі літери "L" сприяє оптимальному природному освітленню внутрішніх просторів, зменшуючи потребу в штучному освітленні вдень. Вздовж фасадів розміщено приміщення з великими віконними отворами, що орієнтовані на максимально ефективне використання сонячного. Центральні

зони будівлі призначені для спільного використання, що дозволяє концентрувати інженерні системи (вентиляція, теплопостачання, кондиціонування) у компактних ядрах, підвищуючи ефективність їх функціонування. Використання енергетичних технологій, таких як теплові насоси, рекуператори повітря та фотоелектричні панелі, безпосередньо впливає на розміщення технічних приміщень і вертикальних шахт, що також відображено у структурі плану [11] (рис.10).



Рис. 10. План поверху LSE Centre Building

3. Manitoba Hydro (KPMB Architects) - Вінніпег, Канада. Вона складається з декількох поверхів і обладнана передовими технологіями для управління енергетичними мережами та обслуговування клієнтів. З вікон будівлі відкривається вид на місто Вінніпег та річку, що додає панорамічним офісам привабливості (рис.11).



Рис. 11. Зовнішній вигляд Manitoba Hydro

На внутрішньому подвір'ї розташована зелена зона з рослинами, що створює природню атмосферу у середині будівлі та сприяє екологічному підходу компанії. Великий конференц-зал і лабораторії дозволяють проводити наукові дослідження та стратегічні зустрічі, сприяючи розвитку інновацій у сфері виробництва енергії (рис.12) [12].

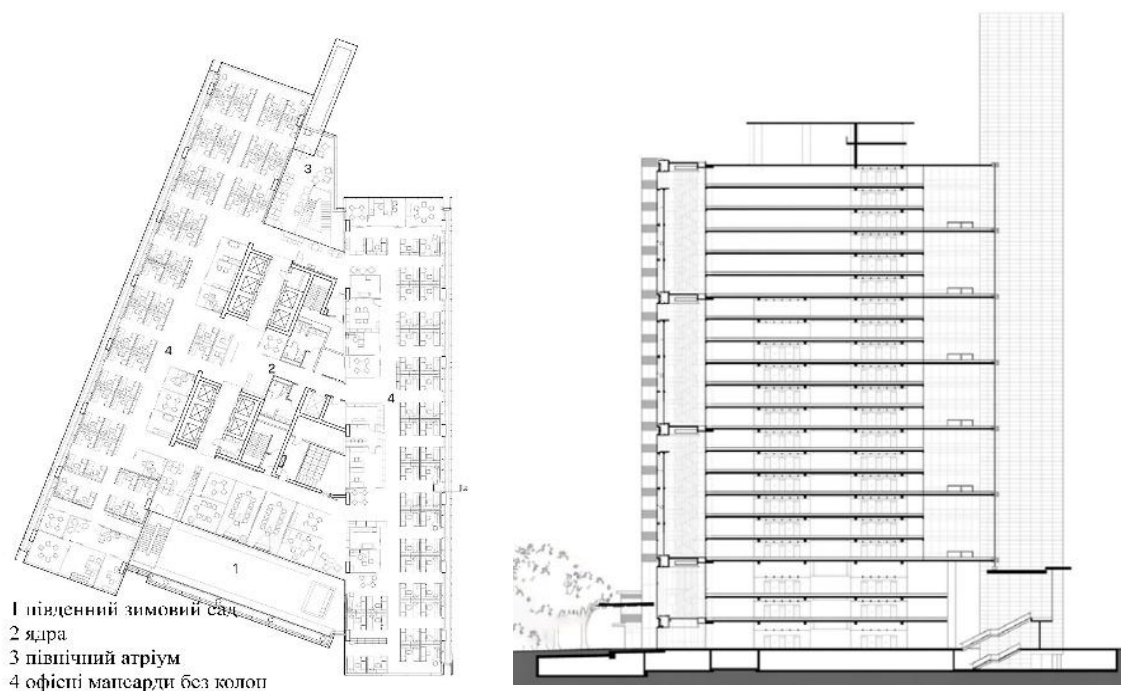


Рис. 12. План поверху Manitoba Hydro

У будівлі робочі простори розміщені по периметру, що забезпечує максимальне природне освітлення й комфортні умови праці. У центрі зосереджені вертикальні комунікації — ліфти та сходи. Важливим елементом є світловий димар, який сприяє природній вентиляції та зменшує потребу в механічному кондиціонуванні. Центральні атриуми забезпечують глибоке проникнення денного світла, створюючи відкриті громадські простори. Внутрішні водоспади допомагають регулювати вологість і температуру повітря, підвищуючи загальну енергоефективність будівлі.

4. The Tower at PNC Plaza (Gensler) – Пітсбург, США. Будівля включає передові технології, такі як подвійна оболонка фасаду, яка автоматично відкривається і закривається для регулювання температури та якості повітря усередині. Ця особливість не лише зменшує споживання енергії на опалення та охолодження, але й підвищує комфорт користувачів (рис.13).

Дизайн вежі також акцентується на природне освітлення і вентиляцію, зі скляними вікнами від підлоги до стелі, що пропонують панорамний вид на місто, максимізуючи проникнення денного світла в офісні приміщення. Зелені дахи і відкриті тераси створюють додаткові місця для відпочинку і сприяють

загальній енергоефективності будівлі. Будівля оснащена системою збору та використання дощової води, яка використовується для іригації зелених дахів і відкритих терас.



Рис. 13 Зовнішній вигляд The Tower at PNC Plaza

Центральним елементом цієї системи є подвійна оболонка фасаду, яка складається з двох шарів скла з проміжком між ними. Ця конструкція дозволяє природному потоку повітря проходити між шарами, що забезпечує ефективну терморегуляцію та знижує потребу в механічному опаленні та охолодженні.

Автоматизовані вікна фасаду відкриваються і закриваються залежно від зовнішніх погодних умов і внутрішньої температури, що дозволяє оптимально використовувати природну вентиляцію. Система контролює рівень вуглекислого газу і підтримує свіжість повітря всередині будівлі.

Центральна частина плану займається атриумом, який виконує роль внутрішнього світлового двору та елемента пасивної вентиляції. Завдяки його вертикальній просторовій структурі та відкритості до природного світла, досягається зниження навантаження на штучне освітлення та покращується мікроклімат у середині будівлі. Особливо важливим елементом є сонячний димохід, який активізує природну тягу повітря і забезпечує ефективне охолодження та вентиляцію без використання кондиціонерів.

Робочі простори розташовані по периметру плану, що дозволяє максимально використовувати денне світло та забезпечити якісне природне освітлення робочих місць [13] (рис.14). Така організація простору також сприяє ефективному використанню енергії, зменшенню втрат тепла та покращенню умов праці.

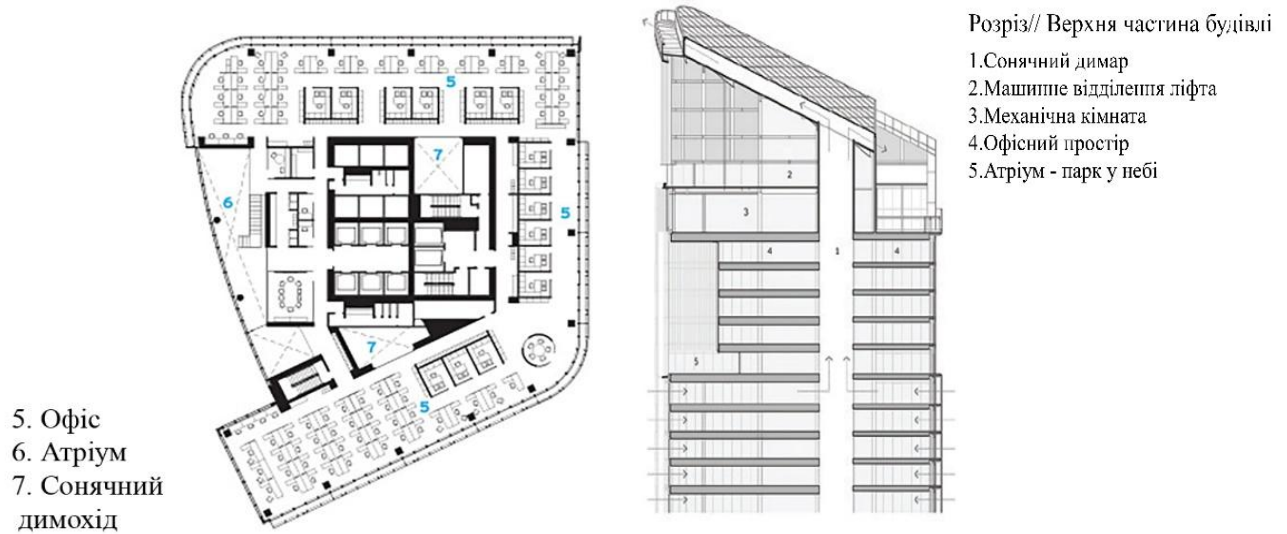


Рис. 14. План поверху та розріз The Tower at PNC Plaza

5. Pearl River Tower (Skidmore, Owings & Merrill) - Гуанчжоу, Китай. Однією з ключових характеристик є інтеграція вітрових турбін у конструкцію будівлі, що дозволяє використовувати енергію вітру для виробництва електроенергії (рис.15).

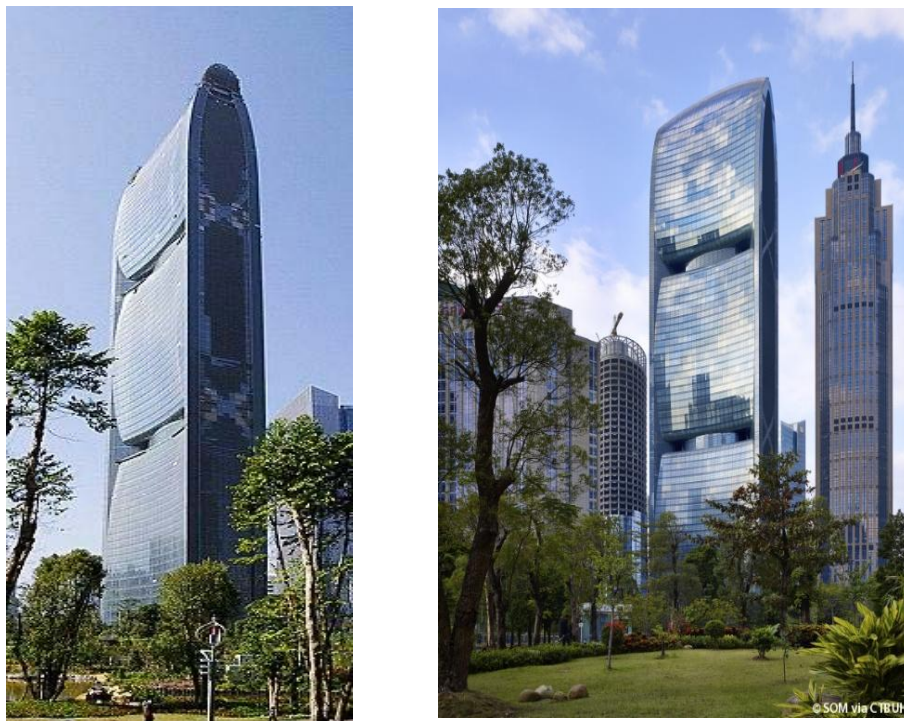


Рис. 15. Зовнішній вигляд Pearl River Tower

Фасад Pearl River Tower обладнаний подвійними стеклами з низьким коефіцієнтом теплопровідності, що мінімізує втрати тепла та покращує

теплоізоляцію. Сонячні панелі, розташовані на даху, додатково забезпечують будівлю енергією, скорочуючи залежність від зовнішніх джерел. Система геотермального опалення та охолодження також сприяє енергоефективності, використовуючи природне тепло землі для регулювання температури в будівлі. Присутня можливість збору та повторного використання дощової води. Усі ці технології дозволяють будівлі скоротити споживання енергії на 58% порівняно з традиційними офісними хмарочосами.

Будівля має зовнішній каркас з діагональними ребрами жорсткості, який дозволяє ефективно розподіляти навантаження від вітру та інших зовнішніх факторів. Це забезпечує стійкість хмарочоса і зменшує використання матеріалів. У центрі будівлі розташоване вертикальне ядро, яке забезпечує основну підтримку конструкції. В ньому розміщені ліфти, сходи, технічні приміщення та інші комунікації, що зменшує навантаження на зовнішні стіни. Фасад Pearl River Tower має спеціальну конструкцію, яка оптимізує аеродинамічні властивості будівлі та мінімізує вітрові навантаження. Фасад також забезпечує максимальне використання природного світла, що сприяє енергоефективності (рис.16).

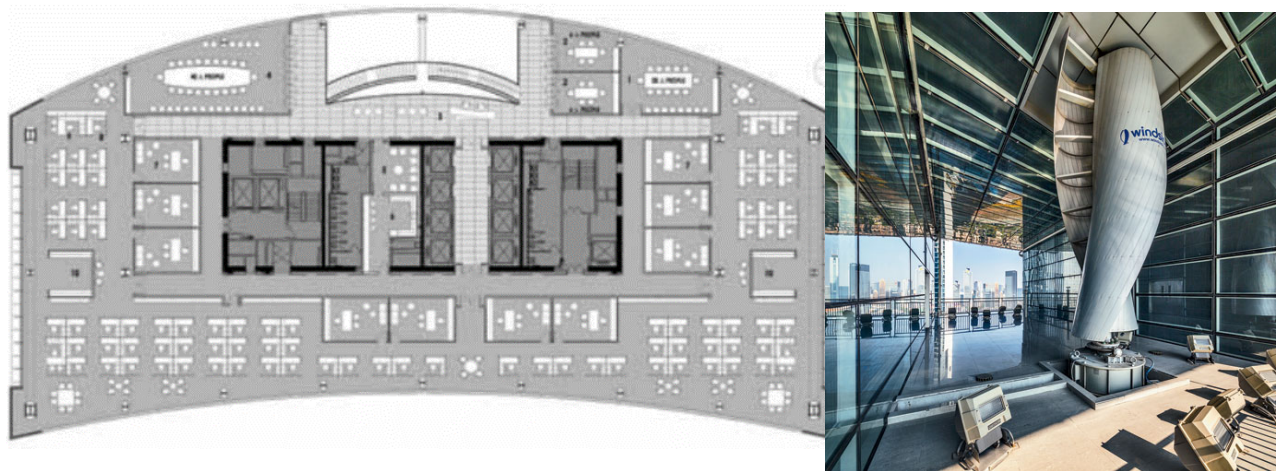


Рис. 16. План поверху та приклади інтеграції енергоефективних технологій

Для забезпечення стійкості на м'яких ґрунтах Гуанчжоу використовуються глибокі палі та потужна фундаментна плита. Це гарантує, що будівля зможе витримувати значні навантаження та залишатись стабільною навіть під час землетрусів [14].

**Висновок.** Розвиток інноваційних еко-смайт технологій, спрямованих на підвищення енергоефективності багатопверхових будівель, відкриває нові перспективи для архітектури майбутнього. Аналіз сучасних практик проектування та зведення таких будівель свідчить про наявність передумов для

формування окремого типологічного напрямку. До нього можна віднести будівлі з підвищеною енергоефективністю, екологічні споруди, об'єкти, побудовані за принципами високих технологій, біотехнологічні споруди та інші інноваційні рішення.

Технологічна система енергоефективної багатоповерхової будівлі є інтегрованою та поєднується з її архітектурно-планувальною структурою. Такий підхід забезпечує тісний взаємозв'язок між формоутворенням архітектури та технічним устроєм систем, які використовують альтернативні джерела енергії. Наприклад, форма фасаду, його рельєфність і геометрія споруди визначаються з урахуванням напрямків повітряних потоків для ефективної роботи вітрових турбін, вбудованих у конструкцію.

Досягнення енергоефективності безпосередньо впливає на формування об'ємно-просторового рішення, геометрію плану, архітектурну оболонку, конструкцію огорожувальних елементів (стін, покрівлі) та конструктивну схему будівлі в цілому.

Сучасні технології передбачають використання сонячних батарей, фотовольтаїчних панелей і теплових насосів, які гармонійно поєднуються з архітектурним дизайном. Важливим є і застосування пасивних заходів, зокрема правильне орієнтування будівлі для максимального використання сонячного тепла та природного освітлення. Наприклад, енергоефективні вікна з високими теплоізоляційними характеристиками допомагають значно знизити витрати на опалення і охолодження.

Використання новітніх матеріалів, таких як теплоізоляційні композити та склопакети з низькоемісійним покриттям, сприяє значному зменшенню енергоспоживання. Не менш важливими є й системи рекуперації, що дозволяють повторно використовувати тепло відпрацьованого повітря для підігріву свіжого.

Інтелектуальні системи управління будівлею забезпечують автоматичне регулювання кліматичних параметрів — освітлення, обігріву та вентиляції — відповідно до внутрішніх і зовнішніх умов. Це підвищує ефективність використання енергії та створює комфортні умови для мешканців.

Таким чином, сучасні багатоповерхові будівлі з енергоефективними характеристиками перетворюються на складні інженерно-архітектурні комплекси, де технології й архітектура тісно переплітаються. Це дозволяє значно зменшити споживання енергії та формувати стале, екологічно дружнє середовище для життя й праці.

Проектування таких будівель має базуватись на принципах екологічності, автономності, енергоефективності, економічності, самодостатності та високого рівня комфорту. Водночас важливо зберігати архітектурну індивідуальність і

свободу формоутворення, що дозволяє реалізовувати нестандартні, виразні об'ємно-композиційні рішення.

### Список використаних джерел

1. Енергоефективність будівель в Україні. URL: <https://dergbud.org.ua/enerhoefektyvnist-budivelua.html>
2. Курс "Технології використання відновлюваних джерел енергії" міжнародної мережі сталої енергетики INFORSE-Europe URL: <https://dieret.rea.org.ua/uk/geothermal-energy.html>
3. Зелена енергетика та водень – ідеальний шанс на ривок URL: [https://glavcom.ua/new\\_energy/publications/zelena-energetika-ta-voden-idealniy-shans-na-rivok-667946.html](https://glavcom.ua/new_energy/publications/zelena-energetika-ta-voden-idealniy-shans-na-rivok-667946.html)
4. Посібник з проектування енергоефективних будівель у тропіках URL: <https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/Paginas/Manualimplanta.html>
5. Micro-Climate oriented Building Design URL: <https://archscience.org/wp-content/uploads/2020/03/11-Micro-Climate-oriented-Building-Design.pdf>
6. Hot and Dry Climate Architecture URL: <https://thevoyagegazette.wordpress.com/2020/07/10/lecture/>
7. A Guide on Developing a Building Energy Optimization Software URL: <https://jatapp.co/blog/how-to-develop-bems/>
8. Energy Efficiency of Tall Buildings: A Global Snapshot of Innovative Design URL: [https://www.mdpi.com/1996-1073/16/4/2063?type=check\\_update&version=1](https://www.mdpi.com/1996-1073/16/4/2063?type=check_update&version=1)
9. SHANGHAI TOWER. URL: <http://faculty.arch.tamu.edu/anichols/courses/applied-architectural-structures/projects-631/Files/presentation-case%20study%20of%20Shanghai%20Tower%2012-04-14.pdf>
10. Shanghai Tower / Gensler URL: <https://www.archdaily.com/783216/shanghai-tower-gensler>
11. LSE Centre Building URL: <https://www.archdaily.com/969480/lse-centre-building-rogers-stirk-harbour-plus-partners>
12. Manitoba Hydro URL: <https://www.archdaily.com/44596/manitoba-hydro-kpmb-architects>
13. The Tower at PNC URL: <https://www.archdaily.com/778873/the-tower-at-pnc-plaza-gensler>
14. Pearl River Tower URL: <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/1629-case-study-pearl-river-tower-guangzhou.pdf>

**Bukreiev Anton,**

Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture

## **ARCHITECTURAL PLANNING PRINCIPLES OF DESIGNING ENERGY EFFICIENT MULTI-STORY BUILDINGS**

The introduction of energy-efficient technologies is a place for future development, due to the reduction of energy costs and the achievement of a comfortable life. Architecture is changing the key role in this process, influencing energy efficiency through the choice of materials, orienting buildings, green roofs and facades, and also integrating renewable energy sources. Architecture is becoming not only an art, but also a science that forms an environmentally sustainable environment. Understanding the impact of energy-efficient technologies on architectural appearance and planning is the maximum for achieving sustainable development and ensuring comfort for future generations.

The purpose of the article is to analyze and generalize architectural and planning solutions that contribute to the creation of energy-efficient multi-storey buildings, considering the impact of a system based on renewable energy sources on the planning, form and functional organization of the object. An analysis of modern architectural experience shows that alternative energy has gone beyond the limits of the domestic or industrial sphere, has acquired symbolic meaning and has become an integral element of the concept of "responsible" architecture. It shows a new level of environmental awareness that is being formed both in the professional environment of architects and in society as a whole. In many cases, it is the integration of renewable energy technologies that involves the architectural and spatial organization of objects: the choice of structural materials, decorative finishing, shaping, as well as the planning and functional orientation of buildings.

Keywords: multi-storey building; energy efficiency; renewable energy sources; architectural form formation; autonomy; environmental friendliness

### **REFERENCES**

1. Enerhoefektyvnist' budivel' v Ukrayini. URL: <https://dergbud.org.ua/enerhoefektyvnist-budivelua.html> {in Ukrainian}
2. Kurs "Tekhnolohiyi vykorystannya vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi" mizhnarodnoyi merezhi staloyi enerhetyky INFORSE-Europe. URL: <https://dieret.rea.org.ua/uk/geothermal-energy.html> {in Ukrainian}
3. Zelena enerhetyka ta voden – ideal'nyy shans na ryvok. URL: [https://glavcom.ua/new\\_energy/publications/zelena-energetika-ta-voden-idealniy-shans-na-rivok-667946.html](https://glavcom.ua/new_energy/publications/zelena-energetika-ta-voden-idealniy-shans-na-rivok-667946.html) {in Ukrainian}

4. Posibnyk z proektuvannya enerhoefektyvnykh budivel' u tropikakh. URL: <https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/Paginas/Manualimplanta.html> {in Ukrainian}
5. Micro-Climate oriented Building Design. URL: <https://archscience.org/wp-content/uploads/2020/03/11-Micro-Climate-oriented-Building-Design.pdf>
6. Hot and Dry Climate Architecture. URL: <https://thevoyagegazette.wordpress.com/2020/07/10/lecture/>
7. A Guide on Developing a Building Energy Optimization Software. URL: <https://jatapp.co/blog/how-to-develop-bems/>
8. Energy Efficiency of Tall Buildings: A Global Snapshot of Innovative Design. URL: [https://www.mdpi.com/1996-1073/16/4/2063?type=check\\_update&version=1](https://www.mdpi.com/1996-1073/16/4/2063?type=check_update&version=1)
9. Shanghai Tower. URL: <http://faculty.arch.tamu.edu/anichols/courses/applied-architectural-structures/projects-631/Files/presentation-case%20study%20of%20Shanghai%20Tower%2012-04-14.pdf>
10. Shanghai Tower / Gensler. URL: <https://www.archdaily.com/783216/shanghai-tower-gensler>
11. LSE Centre Building. URL: <https://www.archdaily.com/969480/lse-centre-building-rogers-stirk-harbour-plus-partners>
12. Manitoba Hydro. URL: <https://www.archdaily.com/44596/manitoba-hydro-kpmb-architects>
13. The Tower at PNC. URL: <https://www.archdaily.com/778873/the-tower-at-pnc-plaza-gensler>
14. Pearl River Tower. URL: <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/1629-case-study-pearl-river-tower-guangzhou.pdf>