

**Полозюк Сергій Юрійович**

*магістрант 2 курсу, кафедри архітектури  
Факультет архітектури, будівництва та дизайну НАУ,  
м. Київ, Україна*

**Мартинов Вячеслав Леонідович**

*д.т.н., проф., професор кафедри архітектури  
Факультет архітектури, будівництва та дизайну НАУ,  
м. Київ, Україна*

## РОЗВИТОК ТА ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ-КОМПЛЕКСІВ

**Анотація.** У статті аналізується історичний і сучасний досвід проектування енергоефективного житла, визначено актуальність проектування енергоефективних житлових будівель та комплексів, а також про роль такої забудови. Описано основні принципи проектування енергоефективних житлових будівель.

**Ключові слова:** *архітектура, енергоефективні будівлі, енергозбереження, енергоефективні технології.*

**Вступ.** У наш час є великі можливості зменшення енергоспоживань будівель та зниження витрат на їх утримання, збереження екології за рахунок використання екологічної чистої енергії оточуючого середовища. Ці зниження є основною метою Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), яка полягає в зменшенні викидів вуглецю в світі на 77% проти прогнозованих даних на 2050 рік для досягнення стабілізованого рівня CO<sup>2</sup>, передбаченого Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату (МГЕЗК). Важливою складовою у вирішенні цього завдання, вважають експерти МЕА, повинен стати перехід від будівництва звичайних будинків до будівництва енергоефективних житлових будівель та житлових комплексів. Найбільшу увагу експертів приділено проектуванню та будівництву енергоефективних житлових будівель та комплексів по всьому світу.

Енергоефективна житлова будівля - це будинок, який значною забезпечує себе енергією, мало не залежить від зовнішніх комунікацій, і, часто, сам може слугувати постачальником енергії. Це стає можливим завдяки раціональному використанню джерел тепла і енергії самої будівлі та комплексу і території навколо нього [1]. Проектування енергоефективної житлової будівлі, або комплексу - це комплексна робота, враховує різноманітний підхід, раціональний вибір теплозахисту огорожувальних конструкцій, вибір інженерного обладнання і ефективність використання поновлюваних джерел енергії.

Одна з найважливіших складових проектування такої будівлі забезпечення екологічного та ефективного життєвого циклу будівлі (рис. 1),

тобто така будівля, або комплекс спочатку має бути розрахований на певний термін експлуатації, бути найбільш енергетично ефективним протягом даного терміну, і бути безпечно знесений, не завдаючи своїм руйнуванням шкоди навколишньому середовищу. Таким чином, життєвий цикл будівлі спочатку визначений,

і повинен бути забезпечений умовами експлуатації.

Проведено аналіз теоретичної бази досліджень з проектування енергоефективних будівель, визначено праці дослідників за наступними напрямками:

-з вивченням архітектури житла займалися: Л.Г. Бачинська, Т.М. Заславець, В.П. Король, О.О. Костюк, К.С. Чечельницька, Г.Д. Яблонська, Д.Н. Яблонський;

- проблеми архітектури багатоквартирного житла та комплексів висвітлені в роботах науковців: І.П. Гнеся, Л.М. Ковальського, В.І. Книша, В.В. Кудевича, В.П. Мироненка, І.Г. Новосад та ін.;

- проблеми енергозбереження в архітектурі України розглядалися дослідниками: С.Г. Буравченком, О.М. Печеником, Г.В. Казаковим, Т.О. Кашенко, Г.Н. Хавхун, Л.О. Шулдан, В.М. Симоненко та ін.;

- питання енергозбереження в будівництві – В.Ф. Гершковичем, В.Л. Мартиновим, О.В. Сергейчуком, Г.Г. Фаренюком, Є.Г. Фаренюком, Р.А. Фертом, Л.П. Хохловою, Г.Ф. Черних та ін.;

- характер впливу клімату на проектування будівель та питання інсоляції житлових приміщень досліджували: В.С. Буравченко, О.Б. Василенко, О.В. Сергейчук, І.Н. Скриль, П.І. Скриль, І.П.Козятник, І.І. Устінова, О.Г. Пивоваров, В.М. Симоненко. та ін. Аналіз попередніх досліджень свідчить про недостатність розгляду питання розвитку принципів енергоефективних житлових будівель та комплексів.

**Мета дослідження** проаналізувати історичний і сучасний досвід проектування енергоефективних житлових будівель, визначити основні принципи проектування енергоефективних житлових будівель та комплексів.

**Результати та обговорення дослідження** Середній життєвий цикл для енергоефективних будівель та комплексів становить 30-40 років.

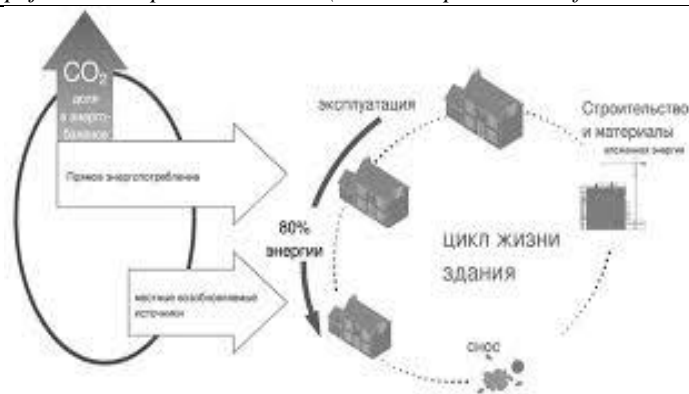


Рис. 1. Ефективне енергоспоживання при експлуатації будівлі - запорука успішного забезпечення його життєвого циклу (за матеріалами ВСПУР (WBCSD))

Сучасний досвід проектування і будівництва будівель такого типу бере початок в 70-80-х роках ХХ століття, коли були побудовані дві всесвітньо відомі будівлі, що вважаються першими енергоефективними будівлями сучасного типу. Одна з них - це будівля «ECONO-HOUSE», побудована в 1973-1979 роках в місті Отаніємі, Фінляндія. У будівлі крім складного об'ємно-планувального рішення, що враховує особливості розташування і клімату, була застосована особлива система вентиляції, при якій повітря нагрівається за рахунок сонячної радіації, тепло якої акумулювалось спеціальними склопакетами і жалюзі. Пізніше доктор Вольфганг Файст,

засновник «Інституту пасивного будинку» в Дармштадті (Німеччина), і професор Бо Адамсон з Лундського університету (Швеція) запропонували концепцію «пасивного будинку», яка набула поширення у багатьох проєктах, в тому числі у відомому пасивного будинку в м. Дармштадті, побудованому в 1990 році. Найбільш цікаві приклади сучасних енергоефективних будівель можна знайти в Канаді, Німеччині, Фінляндії, США, Китаї та ОАЕ. Як приклад можна привести забудову району Еко-Вііккі У Гельсінкі, Фінляндія (рис. 2а) та проєкт нового будинку The Beaver Barracks Community Housing в Канаді (рис. 2б).



Рис. 2а Житловий будинок Еко-Вііккі (EkoWiikki).

Рис. 2б. Житловий будинок The Beaver Barracks Community Housing.

Для умов Києва та інших великих міст України енергоефективне будівництво житлових будівель та житлових комплексів такого типу має велике значення, та надає можливості підвищити енергозбереження забудови уцілому. Перш за все, це пов'язано з компактністю планувань квартирних комплексів і використанням громадських просторів (для можливого розташування в них зимових садів або теплиць), а також з використанням прибудинкової території. Варто особливо відзначити, що в будівлях такого типу можна максимально ефективно використовувати замкнуту термічну (теплоізоляційну) оболонку, що охоплює комфортні зони[2]. Така оболонка включає в себе поліпшену теплоізоляцію стін, утеплення підвалу, покрівлі та інші заходи по створенню безперервного теплового контуру будівлі. У таких будівлях та житлових комплексах за рахунок правильного співвідношення кількості і розмірів,

особливостей конструкції світлових прорізів, орієнтованих на південну, південно-західну торону, можна домогтися пасивного сонячного обігріву приміщень. Також енергоефективним є використання вікон з подвійним склінням або з заповненням інертним газом. Разом із застосуванням системи природної вентиляції і кондиціонування такі житлові будівлі, або житлові комплекси стають дійсно енергоефективними. Принцип блокування даних будівель також дозволяє зберігати тепло, але вже на містобудівному рівні.

Щодо інженерних рішень, які можна ефективно застосовувати в житлових будівлях та житлових комплексах: застосування теплових насосів в системі гарячого водопостачання, застосування рекуператорів тепла в системі центральної механічної вентиляції, а також застосування сонячних фотоелектричних

установок для вироблення електричної енергії, і сонячних колекторів, що підігрівають воду для потреб опалення.

Комплексний підхід в проектуванні і в дослідженні енергетичних показників житлових будівель та комплексів, а також пошук правильних рішень оптимізації їх енергоефективності визначають рішення складних взаємопов'язаних завдань, які охоплюють три основні напрями [3]:

- організація мікроклімату приміщень будинку;
- мінімізація енергетичних витрат;

- економічність будівлі, раціональне витрачання матеріальних ресурсів.

Вибір оптимальної форми будівлі, його орієнтації і розташування, призначення площ світлових прорізів, управління мікрокліматом приміщень

дозволяють зменшити негативний вплив клімату на тепловий баланс житлової будівлі.[3]. Взаємозв'язок основних архітектурних та інженерних рішень, які повинні враховуватися при проектуванні енергоефективної житлової будівлі та житлового комплексу, показана на рис. 3.

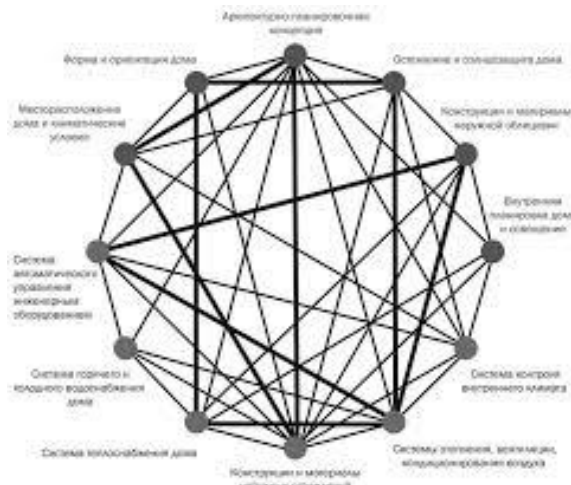


Рис. 3. Взаємозв'язок архітектурних та інженерних рішень в процесі проектування енергоефективної житлової будівлі та житлового комплексу

В Україні у 2017 році був прийнятий Закон про енергоефективність будівель, який визначає правові, соціально-економічні та організаційні основи діяльності у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель та спрямований на зменшення споживання енергії в будівлях. Цей закон визначає основні принципи державної політики України у цій сфері, а саме: забезпечення належного рівня енергетичної ефективності житлових будівель (комплексів) відповідно до технічних регламентів, національних стандартів, норм і правил; стимулювання зменшення споживання енергії в будівлях; забезпечення скорочення викидів парникових газів в атмосферу; створення умов для залучення інвестицій з метою здійснення заходів щодо забезпечення (підвищення рівня) енергетичної ефективності будівель; забезпечення термомодернізації будівель, стимулювання використання поновлюваних джерел енергії; розробка і реалізація національного плану по збільшенню кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії.

На основі наведеного вище сформульовано основні принципи проектування енергоефективних житлових будівель та житлових комплексів, а саме:

1) раціональний вибір енергозберігаючої форми будівлі і його правильна орієнтація по відношенню до сонця;

2) висока енергоефективність оболонки будівлі, тобто взаємозв'язок між конструктивними рішеннями дому та інженерними системами для досягнення високого рівня енергозбереження;

3) ефективна теплоізоляція будинку, конструювання без «мостів холоду»;

4) застосування енергоефективних конструктивних елементів і інженерних систем (стіни, які утримують тепло, ґрунтовий теплообмінник, система опалення, вентиляції, кондиціонування, подачі холодної і гарячої води і т.д.);

5) застосування механічної припливно-витяжної вентиляції для забезпечення нормального повітрообміну при установці герметичних енергоефективних вікон (подвійне застосування або вікна з заповненням інертним газом);

6) пасивне використання сонячної енергії (системи сонячного опалення, застосування термічної маси, використання «парникового» ефекту зимового саду для опалення будинку);

7) ефективна система контролю над інженерними системами (теплові лічильники і термостатичні вентилі, лічильники гарячої води і т.д.);

8) комп'ютерна система управління і обліку тепло- і енергопостачання будинку, робота якої заснована на математичному моделюванні теплового балансу з урахуванням фактичного

енергетичного впливу зовнішнього клімату і внутрішніх тепловиділень;

9) застосування інженерних систем використання і перетворення енергії поновлюваних джерел (теплові насоси, сонячні колектори, фотоелектричні установки, вітрові генератори, приливні ГЕС та ін.)

10) правильне планування ділянки будинку із застосуванням

енергоефективних рішень (правильне використання рельєфу ділянки для збору дощових вод, ефективне зонування ділянки, організація ділянки в гармонії з природним місцевістю і ін.).

Особливу увагу при проектуванні житлових просторів енергоефективних будівель та житлових комплексів приділено природному освітленню. Широтна орієнтація енергоефективних житлових будівель та комплексів, велика площа скління південного фасаду, ліхтарі верхнього світла дозволяють при необхідності максимально ефективно «пропускати» сонячне світло всередину будівлі. Спеціальні «сонячні пастки» з використанням матеріалів з високою відбивною здатністю розраховані на транспортування в житлові приміщення енергії зимового сонця.

З точки зору містобудування - важливим методом підвищення енергоефективності житлової будівлі та комплексів при проектуванні є зміна його форми шляхом формування одного об'єкта з кількох блоків. Блокування дозволяє зменшити теплоспоживання будівлі внаслідок зменшення площі зовнішніх огорожувальних конструкцій до 50%, матеріаломісткості будівництва - на 8-10%, площі території, що забудовується - на 30-40%, скорочення довжини комунікацій, під'їзних шляхів і т.д. [7]. У практиці проектування блокування енергоефективних будівель та комплексів можливо як по горизонталі, так і по вертикалі. Найбільшого ефекту можна досягти при збільшенні числа освітлених внутрішніх граней щодо кількості заблокованих об'єктів. Цей висновок наочно демонструє приклад блокування будівель зі створенням внутрішнього двору. При відкритому дворі забезпечується зменшення площі зовнішніх поверхонь заблокованого будинку по відношенню до сумарної площі окремих об'єктів в 1,5 рази. Однак якщо внутрішній дворик перетворити в атриум, заклавши його зверху, то ефективність блокування може ще більше зрости, до 1,6 оскільки збільшується число внутрішніх граней [8].

Інженерне рішення таких будівель та має ключове значення. У енергоефективній житловій будівлі та комплексі з великою кількістю приміщень, що мають різну орієнтацію, враховується нерівномірність впливу сонячного випромінювання, а також протилежний вплив (швидкість і напрям вітру) зовнішнього середовища. Тому опалювальна система цього будинку розділена на самостійні зони відповідно до орієнтації по сторонах світу (особливо на північну і південну). Ізольований тепловий контур енергоефективний житловий будинок та комплексів

насамперед забезпечує мінімальні теплові втрати будівлі та комплексів за рахунок ефективної ізоляції та енергоефективних вікон.

Буферні зони (мобільні житлові зони на південній стороні, теплиці) за рахунок механізму нагріву-тепловіддачі-охолодження дозволяють взимку економити електроенергію на опалення за рахунок власної теплової віддачі в житлові приміщення безпосередньо (тепловіддача стін) або через систему вентиляції між приміщеннями, а також через сходовий проліт всередині будівлі.

Важливу роль в пасивному опаленні будівлі грають віконниці-жалюзі (також можливе використання рафштор), які знижують теплові втрати через вікна на 70%.

Природна вентиляція здійснюється за рахунок охолодження буферних зон (мобільні житлові зони на південній стороні, теплиці) які влітку нагріваються вдень, охолоджуються вночі, не даючи нагріватися внутрішнім приміщенням.

Вертикальна вентиляція, здійснювана через спеціальні регульовані отвори в конструкціях стін і переkritтів, дозволяє повітряним потокам переміщатися по всій будівлі, забезпечуючи охолодження і вентиляцію внутрішніх приміщень.

Також використовується система механічної вентиляції, що складається з двох систем провітрювання. Перша заснована на застосуванні пристроїв, які відкривають і закривають стулки вікна механічно (за допомогою електроприводу). Друга система передбачає застосування припливних пристроїв-клапанів, вбудованих в віконну конструкцію і забезпечують безперервний приплив свіжого повітря - так зване мікропровітрювання. Ця система дозволяє постачати приміщення повітрям з вулиці навіть при закритому вікні. Основа принципу дії пристроїв цієї групи - різниця руху повітряного потоку зовні і всередині будівлі, що виникає через вітер або внаслідок роботи природної витяжної вентиляції. При нормально функціонуючої в квартирі вентиляції клапан не дає повітрю застоюватися і позитивно діє на мікроклімат в приміщенні.

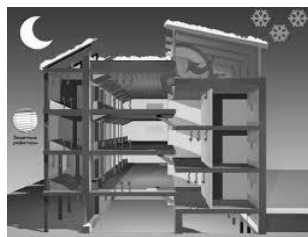
Кондиціонування поєднане з припливною вентиляцією. Повітря кондиціонує шляхом очищення в системі фільтрів різних конструкцій, підігрівається або охолоджується, зволожується або осушується і подається по системі повітроводів в приміщення. Застосовуються центральні кондиціонери.

Від центральних кондиціонерів повітря подається в приміщення. Енергетична ефективність таких кондиціонерів - близько 70%. Енергоефективна житлова будівлі та житлові комплекси забезпечується рекуператорами тепла - спеціального кліматичного обладнання, яке дозволяє нагрівати припливне холодне повітря за рахунок тепла відпрацьованого повітря приміщень. Рекуперативні теплообмінники вбудовуються безпосередньо в вентиляційну систему. Енергетична ефективність теплообмінників досягає 60%.

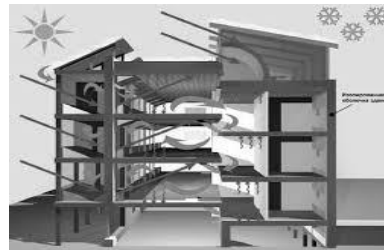
На рис. 4 графічно умовно показана робота систем опалення, вентиляції та кондиціонування в різні пори року[4].

При проектуванні енергоефективних житлових будівель, комплексів можливо

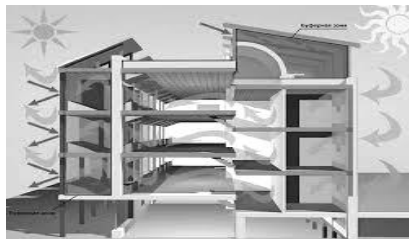
використовувати енергію поновлюваних джерел шляхом застосування сонячних колекторів для підігріву води та геотермального ґрунтового теплового насоса для потреб системи опалення.



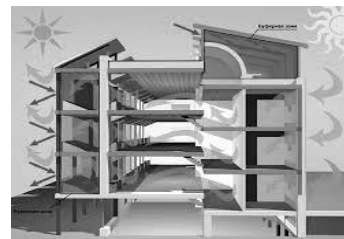
a) взимку в день;



b) взимку вночі



c) влітку в день



d) влітку вночі

Рис. 4 Робота інженерних систем і архітектурних рішень, спрямованих на енергозбереження в будинку протягом року.

Проектування енергоефективних житлових будівель - це складна комплексна робота багатьох фахівців, робота яких заснована на принципах максимального забезпечення енергоефективності, екологічності та економічної ефективності будівлі. У енергоефективній житловій будівлі або житловому комплексі забезпечити такі критерії представляється часом більш можливим, ніж в малоповерховій будівлі. З огляду на те, що власники енергоефективного житла спільно управляють будинком, можливий більш раціональний і вигідний для всіх підхід до витрат енергії, води і т.н. [7].

**Висновок** Проведено історичний аналіз розвитку сучасних енергоефективних житлових будівель та комплексів. Сформовано та описано основні принципи проектування енергоефективних житлових будівель та комплексів. Визначено, що проектування енергоефективних житлових будівель та комплексів на сьогоднішній день є одним з найбільш пріоритетних у сучасній архітектурі.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Автономный дом. Солнечные батареи. Ветрогенераторы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sibdom.ru/publication/articles/36/698/402> Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Випуск 50. 2018
2. Афанасьева О.К. Архитектура малоэтажных жилых домов с возобновляемыми источниками энергии. Дисс. канд. арх. наук / Московский архитектурный институт. М.: 2009.

3. Афинская хартия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://corbusier.totalarch.com/charte>.

4. Энергоактивные здания / Н. П. Селиванов, А. И. Мелуа, С. В. Зоколей та ін; Під ред. Е. В. Сарнацький і Н. П. Селиванова. - М.: Стройиздат, 1988. - 376с.

5. У. А. Бекман, С. А. Клейн, Дж.А. Даффи. Розрахунок сонячного теплопостачання. - М.: Энергоиздат, 1982. - 79 с.

6. Електронний журнал енергосервісної компанії «Екологічної системи» № 1, січень 2004р, Бумаженко О.В.

7. [www.sciteclibrary.com](http://www.sciteclibrary.com) Аналітичні огляди «Енергоефективне будівництво», Жуков Д.Д., Лаврентьев Н.А. «Теплопостачання будинків з використанням систем утилізації сонячної енергії», д.т.н. В. С. Степанов, професор; к.т.н. І. І. Айзенберг, доцент; к.т.н. Є. Е. Баймачев (В якості вихідної інформації використані результати експериментів, проведених авторами в м. Іркутську на власній моделі сонячного колектора (рис. 2. Додаток 3).

8. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективное здание - симбиоз мастерства архитектора и инженера // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - М., 2002. - №4. - С.22-23.17. Табунщиков Ю. А. Энергоэффективное здание учебного центра / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин // АВОК : Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. - 2002. - № 5. - С. 10-21.