

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проект

другий магістерський рівень
(рівень вищої освіти)

на тему: Аналіз впливу конструктивних особливостей та опалювальних систем на енергетичну та економічну ефективність індивідуальних житлових будівель

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922-пцб-дн
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)

освітньої програми промислове і цивільне будівництво
(код і назва освітньої програми)

Автомєєнко Дмитро Михайлович
(прізвище та ініціали)

Керівник професор кафедри промислового та цивільного будівництва, д. е. н. Анін В.І.

посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

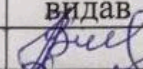
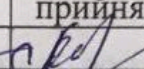
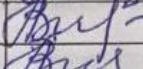

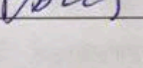
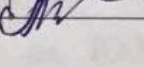
Рецензент доц., к.т.н. Полтавець М.О.

посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Запоріжжя
2024

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 8 листів

6. Консультанти розділів роботи

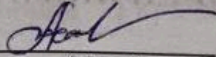
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Анін В. І., д.е.н.. проф.		
Розділ 2	Анін В. І., д.е.н.. проф.		
Розділ 3	Анін В. І., д.е.н.. проф.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

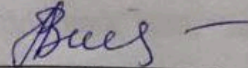
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Дослідження світової проблеми енергоефективності	01.09.2023- 01.10.2023	
2.	Технології будівництва енергоефективних індивідуальних житлових будинків	02.10.2023- 15.11.2023	
3.	Аналіз видів систем опалення на кількість теплових втрат приміщення	16.11.20223- 20.12.2023	

Студент


(підпис)

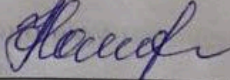
Автомєєнко Д.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи/проекту


(підпис)

Анін В. І.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер


(підпис)

Данкевич Н.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Автомеєнко Дмитро Михайлович. Аналіз впливу конструктивних особливостей та опалювальних систем на енергетичну та економічну ефективність індивідуальних житлових будівель.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник В.І. Анін. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2024.

Ефективність використання енергії є свого роду індикатором науково-технічного та економічного потенціалу суспільства, що дозволяє оцінювати рівень його розвитку. Рівень енергоспоживання з розрахунку на одиницю порівнянного ВВП України приблизно 4 рази вище, ніж у США - країні з високою енергоозброєністю матеріального виробництва, сфери послуг та побуту. Рівень споживання електроенергії в розрахунку на одиницю порівнянного ВВП в Україні вище, ніж у США в 2,5 рази, Німеччини та Японії в 3,6 рази. Все це свідчить про значні резерви економії енергоресурсів в Україні.

Складне економічне становище України в якому опинилася і вітчизняна енергетика, у зв'язку повномасштабним вторгненням та розв'язуванням на її території бойових дій, найближчим часом може призвести до глибокої енергетичної кризи, яка зведе нанівець всі зусилля реформування економіки та зупинить намічені тенденції в поживленні промисловості.

Ключові слова: енергоефективність, теплотехнічний розрахунок, індивідуальне домобудівництво, огорожуючі конструкції, теплі поли.

Список публікацій магістранта:

Анін В.І., Автомеєнко Д.М., Мішук К.М. Аналіз впливу конструктивних особливостей та опалювальних систем на енергетичну та

економічну ефективність індивідуальних житлових будівель. III Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», Запоріжжя : ЗНУ, 2023.

ABSTRACT

Dmytro Mykhailovych Avtomeenko. Analysis of the impact of design features and heating systems on the energy and economic efficiency of individual residential buildings.

Qualifying thesis for obtaining a master's degree of higher education in the specialty 192 Construction and civil engineering, scientific supervisor V.I. Anin. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni Zaporizhia National University, Department of Industrial and Civil Engineering, 2024.

The efficiency of energy use is a kind of indicator of the scientific, technical and economic potential of society, which allows us to assess the level of its development. The level of energy consumption per unit of comparable GDP of Ukraine is approximately 4 times higher than in the USA - a country with a high energy content of material production, the sphere of services and everyday life. The level of electricity consumption per unit of comparable GDP in Ukraine is 2.5 times higher than in the USA, 3.6 times higher in Germany and Japan. All this indicates significant reserves of saving energy resources in Ukraine.

The difficult economic situation of Ukraine, in which the domestic energy industry also found itself, in connection with the full-scale invasion and the unleashing of hostilities on its territory, may in the near future lead to a deep energy crisis, which will nullify all efforts to reform the economy and stop the planned trends in the revival of industry.

Key words: energy efficiency, heat engineering calculation, individual house construction, enclosing structures, warm floors.

List of publications of the master's student:

Anin V.I., Avtomenko D.M., Mishuk K.M. Analysis of the influence of design features and burning systems on the energy and economic efficiency of individual housing units. III All-Ukrainian scientific and practical conference with the participation of young scientists "Current nutrition of the current scientific, technical and socio-economic development of the regions of Ukraine", Zaporizhzhya: ZNU, 2023.

ЗМІСТ

	ВСТУП	9
1	ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТОВОЇ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	13
1.1	Світовий досвід впровадження енергоефективності	13
1.2	Проблеми ринку енергоефективного будівництва	15
2	ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ	17
2.1	Особливості архітектурних рішень для енергозберігаючого будинку	17
2.2	Каркасні будинки на основі SIP-панелей	20
2.3	Теплоізоляція для енергозберігаючого будинку	24
2.4	Рекуперація тепла	27
2.5	Розумний будинок	28
2.6	Опалення та гаряче водопостачання	29
2.7	Додаткові джерела електроенергії	33
2.8	Водопостачання та каналізація	35
3	АНАЛІЗ ВИДІВ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ НА КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ПРИМІЩЕННЯ	36
3.1	Вплив розміщення опалювального приладу під вікном тепловтрати	40
3.2	Розрахунок тепловтрат розглянутого об'єкта	49
3.2.1	Теплотехнічний розрахунок зовнішніх стін, покрівлі	52
3.2.2	Визначення теплової потужності системи опалення	55
3.3	Обґрунтування економічної ефективності та раціональності застосування в різних конструктивних та опалювальних системах	60

ВИСНОВОК

78

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

82

ВСТУП

Актуальність роботи: в останні роки, враховуючи високі темпи зростання цін на житлову нерухомість у містах–мільйонниках, перенаселеність центральної частини міста активно провадиться масова забудова індивідуальними житловими будинками в його приміській частині.

Індивідуальне домобудування стає трендом, постають питання масовості рішень щодо економічної ефективності домобудівництва. На практиці виходить, що вигідніше побудувати індивідуальний житловий будинок більшої площі, ніж купити квартиру в спальному районі на околиці міста за тієї ж ціні, але на порядок меншою площею. В деяких існуючих та більшості новоспечених та планованих селищ для індивідуального домобудування існує нюанс – відсутність централізованого теплопостачання за аналогією з міським середовищем, тому опалення кожного житлового будинку в більшості випадків влаштовано за допомогою котлів, встановлених усередині кожного будинку. Котли в основному бувають двох типів: газового та електричного. При використанні системи опалення на основі спалювання газу в газовому котлі – рахунки за комунальні витрати в зимовий період виходять нижчими, ніж у міській квартирі меншої площі. Але на переважній більшості забудовуваних ділянок немає, і в найближчій перспективі не планується влаштування газопостачання, а отже опалювати будинки їх власникам доведеться з використанням електричних котлів. Опалення з використанням електрики виходить набагато дорожче ніж газом. Внаслідок цього – актуальним є питання енергоефективності та енергозбереження.

Слід зазначити, що зараз в усьому світі триває активна боротьба за дбайливе ставлення до навколишнього середовища, збереження його ресурсів та мінімізації шкоди, яку людина завдає природі в процесі своєї життєдіяльності. Існує безліч комплексних підходів до вирішення задачі

мінімізації техногенної шкоди навколишньому середовищу, в даній роботі розглядається один з найбільш актуальних напрямків у будівельному проектуванні, яке, крім дбайливого ставлення до навколишнього середовища, вирішує питання розумної витрати енергетичних ресурсів, при експлуатації будівель та споруд різного призначення. Новітні енергозберігаючі технології у будівництві, крім економії фінансових ресурсів, відкривають і принципово нові можливості для зниження викидів у повітря шкідливих речовин.

Енергозберігаючі технології будівництва є більш вигідним і екологічно грамотним способом забезпечення зростаючого з кожним роком попиту на енергоносії.

Мета роботи: актуалізація методів енергоефективного будівництва та проектування, розробка способів застосування енергоефективних технологій при проектуванні та будівництві будівель.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити наступні **задачі:**

- розглянути приклади енергоефективних технологій та побудованих будівель і споруд з їх використанням;
- визначити різні методи, що використовуються при будівництві енергоефективних будинків;
- проаналізувати ситуацію з індивідуальним домобудуванням у Дніпропетровській області;
- провести теплотехнічний розрахунок для деяких рішень щодо конструктивного устрою та системи опалення житлового будинку;
- на основі певних факторів виявити найбільш ефективні технології щодо раціонального використання енергоресурсів;
- проаналізувати фактор впливу конструктивних і інженерних рішень на надійність у разі відключення теплопостачання.

Методом теоретичного дослідження та інформаційного моделювання є визначення найбільш ефективних та раціональних способів впровадження енергоефективних технологій при проектуванні та будівництві індивідуального житлового будинку, розглянути можливість впровадження

даних методів на території Дніпропетровської області, з метою зменшення витрат на енергоресурси, покращення комфортності при експлуатації, підвищення надійності і рівня екологічності будівництва та експлуатації об'єктів України.

Об'єкт дослідження: методи проектування енергоефективних житлових будинків.

Предмет дослідження: індивідуальне житлове будівництво в Україні. Будинки з теплопостачанням за рахунок використання електричного котла. Варіанти конструктивного виконання опалювальної системи для індивідуального житлового будинку.

Методи дослідження: в процесі роботи застосовуються аналітичний та емпіричний методи дослідження, аналіз наукової та технічної літератури на задану тему, порівняння різних показників, теплотехнічний розрахунок моделі.

Наукова новизна полягає у пропозиції щодо підвищення енергоефективності та надійності індивідуального житлового будинку, за рахунок вибору найбільш раціональної конструктивної опалювальної системи.

Розглядається варіант індивідуального будинку з використанням електричного джерела опалення. Аналіз питання про додаткові тепловтрати при влаштуванні опалювальних приладів, пропонується найбільш оптимальна опалювальна та конструктивна система житлового будинку, з точки зору енергоефективності, людського комфорту та надійності, у разі аварійного вимкнення електроенергії.

Апробація. Магістерська робота була представлена на наступних конференціях:

Анін В.І., Автомеєнко Д.М., Мішук К.М. Аналіз впливу конструктивних особливостей та опалювальних систем на енергетичну та економічну ефективність індивідуальних житлових будівель. III Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців

«Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», Запоріжжя : ЗНУ, 2023.

Структура і об'єм магістерської роботи. Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків та пропозицій, списку використаних джерел. Основною темою текст викладено на 84 сторінках, з них 18 малюнків, 15 таблиць, та містить списки літератури зі 18 найменування праць вітчизняних та зарубіжних авторів.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТОВОЇ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

1.1 Світовий досвід впровадження енергоефективності

Проект першого енергоефективного будинку почав здійснюватися в 1972 року в Манчестері, штат Нью-Хемпшир, США архітекторами Ніколасом Ісааком (Nicholas Isaak) та Ендрю Ісааком (Andrew C. Isaak). Енергоспоживання будівель, яке не було визначальним показником у минулому стало домінуючим критерієм якості проекту. Друга будівля, яка була запроектована та збудована як енергоефективна, – це будівля «EKO-NO-house» у м. Отаннімі, Фінляндія [25]. За концепцією свого створення це були експериментальні лабораторії, в яких слід оцінити ефективність архітектурних, інженерних та технологічних заходів щодо економії паливно-енергетичних ресурсів, що споживаються будинками.

Важливо відзначити, що вже 30 років тому в обох будинках було передбачено використання тепла сонячної радіації та можливостей комп'ютерної техніки для керування інженерним обладнанням. Перша тенденція продовжує успішно розвиватися, у тому числі навіть у такій північній країні, як Фінляндія, - наприклад, в експериментальному будівництві житлового району VIIKKI, Гельсінкі, Фінляндія[25], а друга тенденція виросла у великий напрямок в інженерії будівель, що отримала назву "Інтелектуальні будівлі" [25].

З часом змінювався та розширювався об'єкт вивчення: ефективність використання енергії в енергоефективній будівлі. Якщо на початку будівництва енергоефективних будівель, основний інтерес представляло вивчення заходів щодо економії енергії, то вже в середині 90-х років центр тяжкості переноситься на вивчення проблеми ефективності використання

енергії та пріоритет віддається тим енергозберігаючим рішенням, які одночасно сприяють підвищенню якості мікроклімату. Втім, якість мікроклімату в цей період впевнено виходить на перший план проти енергозбереження.

В основі концепції проектування сучасних будівель лежить ідея того, що якість навколишнього середовища надає безпосередній вплив на якість нашого життя як вдома, так і на робочому місці або місцях загального користування, що становлять основу наших міст. Таке виділення соціальних аспектів є визнанням того, що архітектура та будівництво розвиваються на основі потреб людей – духовних та матеріальних. Ця концепція яскраво виражена у проєкті житлового району VIIKKI, Гельсінкі, Фінляндія [25]. На цьому, однак, не припинилося розширення об'єкта вивчення. Надзвичайно важливо – можливо, це сама головна ідея для архітектури та будівництва XXI століття – природа не пасивне тло нашої діяльності: внаслідок людської діяльності може бути створене нове природне середовище, що має більш високі комфортні показники для містобудування і є водночас час енергетичним джерелом систем кліматизації будинків. Ця ідея отримала свій вираз у проєкті навчального центру з вивчення навколишнього середовища «AdamJoseph Lewis Center», Оберлін, Огайо, США[7].

Видатний архітектор сер Норман Фостер (Sir Norman Foster) пише: «Проблеми довкілля впливають на архітектуру на кожному її рівні. Половина споживання енергії у розвинених країнах припадає на будинки, і ще чверть – на транспорт. Архітектори не можуть вирішити всі світові екологічні проблеми, але ми можемо проектувати будівлі, які вимагають лише частину споживаної нині енергії, крім того, завдяки належному містобудівному плануванню ми можемо впливати на транспортні потоки.

Розташування та функціональне призначення споруди, її конструктивна гнучкість та технологічний ресурс, орієнтація, форма та конструкція, його системи обігріву та вентиляції, характеристики використовуваних при будівництві матеріалів – всі ці параметри впливають

на кількість енергії, яка потрібна для зведення, експлуатації та технічного обслуговування будівлі, а також для транспорту, що рухається до нього та від нього». Це розуміння гармонії навколишнього середовища та архітектури сер Норман Фостер висловив у видатному проекті енергоефективного будівництва – висотної будівлі «Commerzbank» у Франкфурті-на-Майні, Німеччині [23], яке є не тільки новим досягненням в архітектурі та інженерії висотних будівель, але й відкриває новий напрямок у спільній історії світового будівництва.

1.2 Проблеми ринку енергоефективного будівництва

На цей час у світі побудовано величезну кількість енергоефективних будівель, але, на жаль, вони не стали образом архітектури кінця ХХ століття. Тут є вина всіх: і архітекторів, і будівельників, і інвесторів, і насамперед держави. Головна роль у підтримці та фінансуванні будівництва демонстраційних енергоефективних будівель має належати державі, тому що реалізація цих проектів пов'язана із захистом навколишнього середовища, підвищенням якості довкілля людини, збереженням природних багатств – захистом інтересів майбутніх поколінь.

Архітектори розкрили красу скла, каменю, дерева, металу та навіть бетону і звели багато чудових будівель з цих матеріалів. Але тільки окремі з них змогли зрозуміти енергоефективну будівлю як новий крок у архітектурі з явними елементами мистецтва. Для інженерів проектування енергоефективних будівель потребує індивідуального підходу та великої кількості міждисциплінарних знань.

Інвестори як замовники будівельного об'єкта ставлять за мету побудувати будинок якомога дешевше і продати його якомога дорожче. В останні роки через конкуренцію між інвесторами з'являється необхідність у

будівництві більш привабливих з погляду покупця будівель, які суттєво економічніші в експлуатації, більш комфортні для проживання, мають підвищені показники безпеки.

Розрив між практикою будівництва енергоефективних будівель та науковими основами їх створення та проектування став досконало нетерпимим у наші дні, а часом носить спекулятивний характер.

Часто енергоефективна будівля видається як кілька незалежних інноваційних енергозберігаючих рішень. При цьому виявляється невиявленою та обставина, що ці незалежні рішення можуть взаємно знижувати їхню початкову ефективність, а в деяких випадках навіть призводити до негативного ефекту.

В наш час техніка та технології змінюються настільки швидко, що «досвід» просто не встигає накопичуватися, а «здоровий глузд» легко може обдурити, якщо він не спирається на науковий метод пошуку якнайкращого рішення. В сучасній науці шляхом пошуку найкращого рішення є «системний аналіз» – це дисципліна, яка займається проблемами ухвалення рішення в умовах, коли и вибір альтернативи вимагає аналізу різної складної інформації фізичної природи. Очевидно, що «системний аналіз» має з'явитися основою методології сучасного проектування енергоефективних будівель. [9]

2 ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

2.1 Особливості архітектурних рішень для енергозберігаючого будинку

Щоб досягти економії ресурсів, необхідно приділити увагу плануванню та зовнішньому вигляду будинку. Житло буде максимально енергозберігаючим, якщо враховано наступні нюанси [13]:

- правильне розташування. Будинок може бути розташований в меридіональному або широтному напрямку та отримувати різне сонячне опромінення. Північний будинок краще будувати меридіональна, аби збільшити надходження сонячного світла на 30 %. Південні будинки, навпаки, краще зводити в широтному напрямку, щоб зменшити витрати на кондиціонування повітря;

- компактність, під якою в даному випадку розуміють співвідношення внутрішньої та зовнішньої площі будинку. Воно має бути мінімальним, а досягається це за рахунок відмови від випираючих приміщень та архітектурних прикрас типу еркерів. Виходить, що найекономніший будинок повинен мати форму паралелепіпеду;

- теплові буфери, які відокремлюють житлові приміщення від контакту з довкіллям. Гаражі, веранди, лоджії, підвали та нежитлові горища будуть суттєвою перешкодою для проникнення в кімнати холодного повітря ззовні;

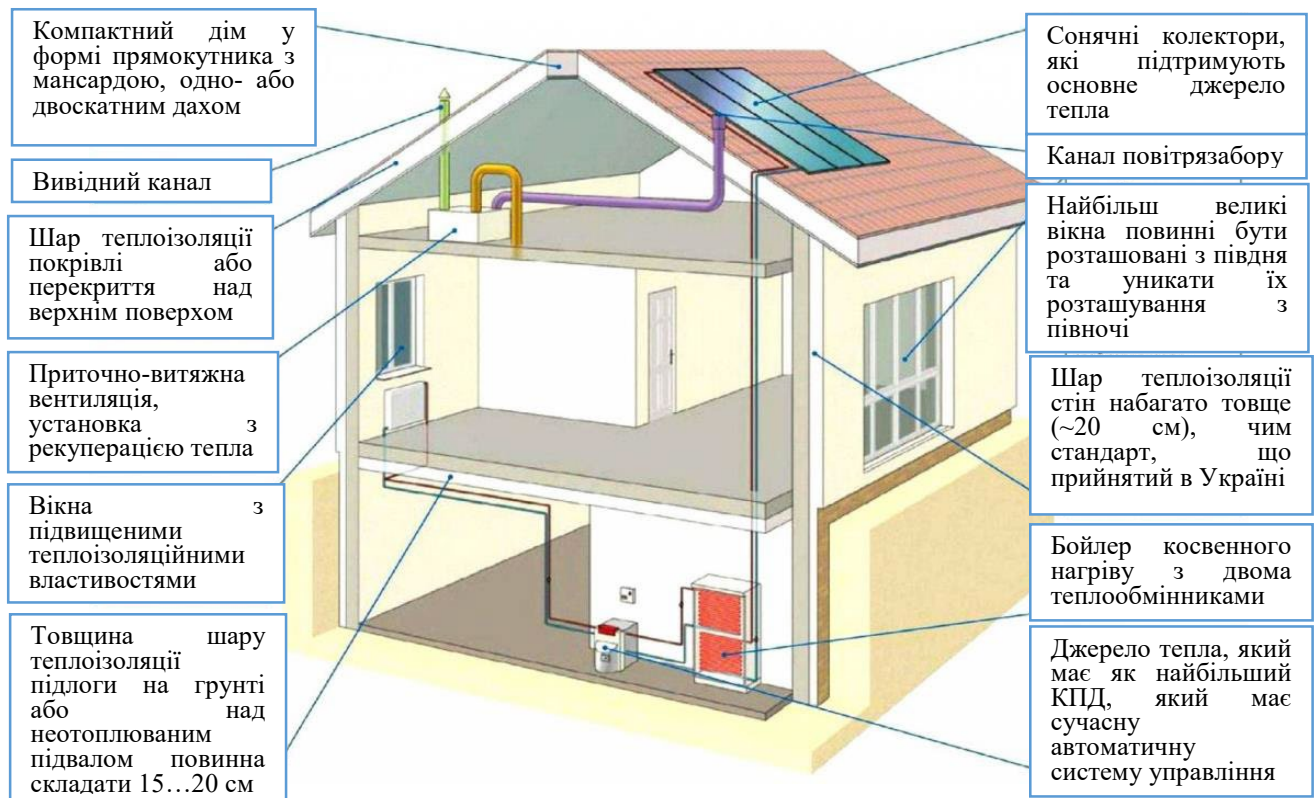


Рисунок 2.1 - Приклад архітектурно-технічних рішень енергоефективного будинку

- правильне природне освітлення. Завдяки нескладним архітектурним прийомам можна на протязі 80% всього робочого часу освітлити будинок за допомогою сонячних променів [26]. Приміщення, де сім'я проводить найбільше часу (вітальня, їдальня, дитяча) краще розташувати на південній стороні. Для комори, санвузлів, гаража та інших допоміжних приміщень досить розсіяного світла, тому вони можуть мати вікна на північний бік. Вікна на схід у спальні вранці забезпечать зарядом енергії, а ввечері промені не заважатимуть відпочивати. Влітку у такій спальні можна буде обійтися без штучного світла. Щодо розміру вікон, то відповідь на це питання буде залежити від пріоритетів господаря - економити на освітленні чи обігріві. Для покращення внутрішнього освітлення можливо скористатися встановленням сонячної труби. Вона має діаметр 25...35 см і повністю дзеркальну внутрішню поверхню: приймаючи сонячне проміння на даху вдома вона зберігає його інтенсивність на вході в кімнату, де воно розсіюється через дифузор;



Рисунок 2.2 – Приклад використання сонячних труб

- покрівля. Багато архітекторів рекомендують робити максимально прості дахи для енергозберігаючого будинку. Частіше за все зупиняються на двосхилому варіанті, причому чим більш пологою вона буде, тим більше економічним виявиться будинок [7].

2.2 Каркасні будинки на основі SIP-панелей

Сіп панелі є зручним матеріалом із відмінними характеристиками та тривалим терміном експлуатації, що дозволяє зводити будівлі у найкоротші терміни. Сіп панельні будинки мають свої сильні та слабкі сторони, які знадобиться докладно вивчити. Даний матеріал набув своєї популярності в Канаді, після цього його почали активно використовувати у всьому світі. Сіп технологія будівництва будинків не відрізняється особливою складністю, тому цей матеріал останнім часом використовується дедалі частіше [9].

Склад панелей.

Переваги сіп будинків забезпечуються завдяки складу цього матеріалу. Він складається з наступних елементів:

- основою такого виробу є ОСП-плита. Ці плити виробляються на основі довгих і вузьких щеп, покладених багат шарово та утрамбованих так, щоб з усіх боків листа вони лягали перпендикулярно один до одного.

Подібна технологія виробництва збільшує гнучкість виробу при навантаженнях у різних площинах, такі властивості відсутні у звичайної деревини. Найчастіше для сіп панелей використовуються щепи на основі сосни або осики. Ці плити на 97 % складаються з деревини, рештою є сполучні компоненти. Конструкції обробляються спеціальним водовідштовхуючим розчином, що дозволяє забезпечити захист від вологи, гниття та механічного впливу.

- також використовується пінополістирол, який відрізняється низькою теплопровідністю та легкою вагою. Під час виготовлення в полістиролову масу додається газ. Залежно від властивостей виробу, речовина може сильно відрізнятися, так, для пожежостійких конструкцій застосовують вуглекислий газ. Лист такого виробу товщиною всього 11 см здатний забезпечити рівень теплоізоляції, який можна порівняти зі стіною, яка складена з силікатної цегли товщиною 2 м.

Основні характеристики:

- ширина може становити 1,25 або 1,2 м;
- довжина може становити 2,5 або 2,8 м, в окремих випадках 3 та 6 м;
- товщина виробу може відрізнятись. В основному вона залежить від шару теплоізоляції. Утеплювач може мати товщину 100, 150 або 200 мм;
- наведені теплотехнічні показники можна приймати для панелей як матеріалу-наповнювача, в даному випадку – пінополістирол.

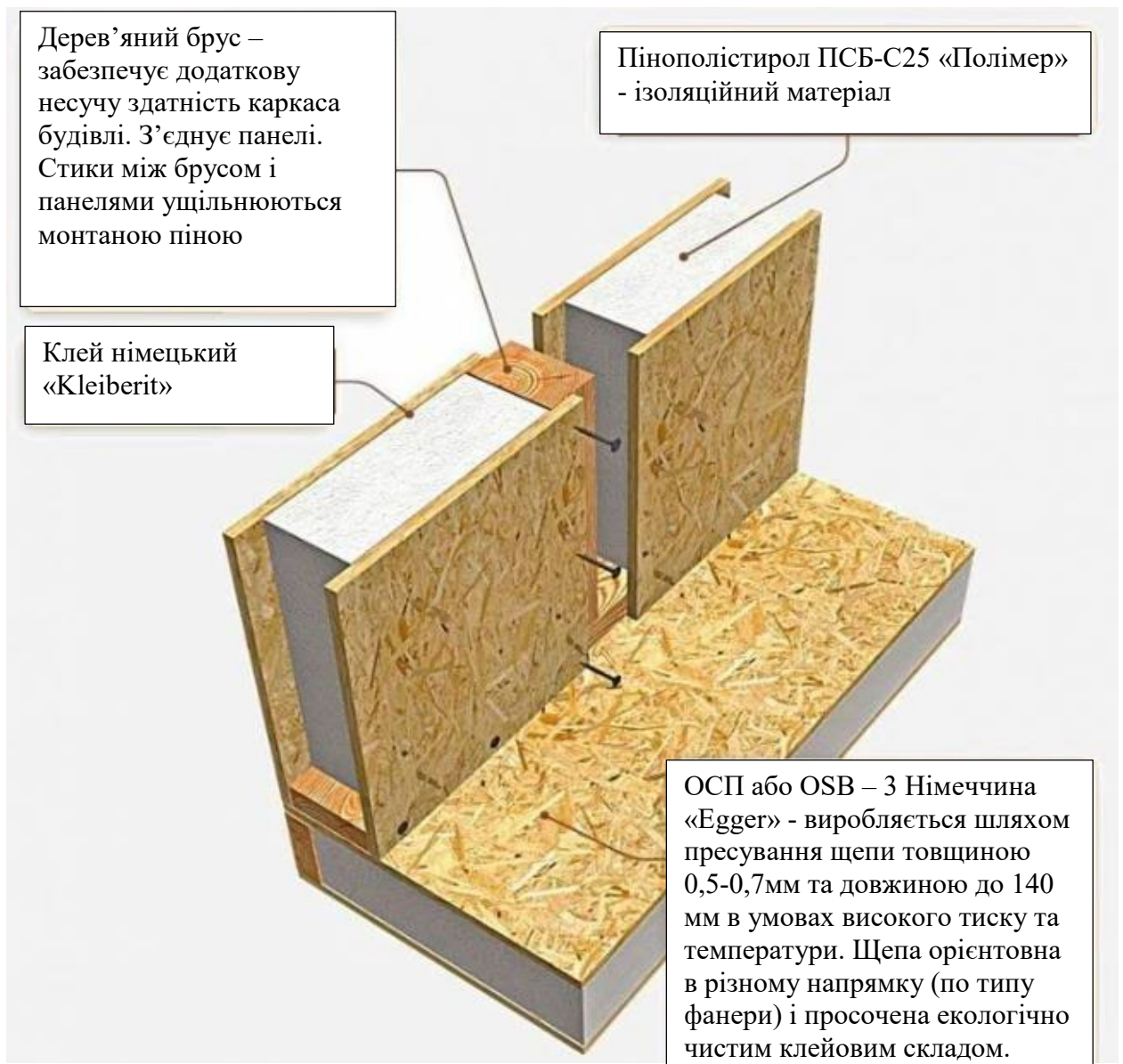


Рисунок 2.3 – Склад стандартної СІП-панелі

До основних переваг подібних панелей можна віднести:

1. Високі показники пожежостійкості. Під час дослідів фахівці встановили, що матеріал здатний утримувати вогонь на протязі цілої години.

Також виріб має можливість самогасіння. Це забезпечується завдяки наявності у складі антипірену.

2. Матеріал є екологічно безпечним та під час горіння не виділяє жодних шкідливих речовин. Всі компоненти є повністю безпечними для людини.

3. Високі показники міцності. Це один із ключових плюсів панелей, який дуже важливий під час будівництва будівель. Стіни з такого матеріалу здатні витримувати великі навантаження.

4. Стійкість. Цю характеристику можна покращити завдяки додаванню каркасу жорсткості з використанням брусків всередині конструкції.

5. Жорсткість матеріалу. Вона досягається завдяки спеціальній технології виробництва.

6. Високий термін експлуатації. У середньому сіп панелі можуть слугувати понад 50 років.

7. Невелика товщина матеріалу. Ця властивість дуже важлива при спорудження будівлі.

8. Для внутрішнього та зовнішнього облицювання стін можна використовувати різні матеріали. Ідеально рівні поверхні панелей не вимагають жодних попередніх підготовок.

9. Немає необхідності в додатковому утепленні конструкції, сіп матеріали вже оснащуються утеплювачем у вигляді пінопласту.

Мінуси сіп панелей:

Сіп панелі мають також ряд недоліків, які потрібно враховувати під час вибору даного будівельного матеріалу. Знаючи слабкі сторони таких конструкцій, їх можна спробувати виправити, це допоможе продовжити термін служби будівель. До основних мінусів сіп панелей відносяться:

1. Горючість. Хоча й в порівнянні з деревиною панелі мають високу стійкість до вогню, вони відносно легко горять. При зведенні будинку дуже важливо правильно прокладати електропроводку, вибирати оптимальні місця для розміщення розеток та вимикачів, щоб уникнути можливого займання

будинку. Для додаткового захисту рекомендується використовувати антипірен.

2. Легко піддаються пошкодженню гризунами. Під час будівництва важливо ретельно підгоняти всі стики, аби не було щілин, які зможуть проникнути гризуни.

3. Будівля з такого матеріалу може відносно легко бути зруйнована або пошкоджена зловмисниками, що дозволить їм проникнути всередину будинку.

4. Герметичність будівництва. Якщо своєчасно не подбати про вентиляцію, вологість у приміщенні значно підвищиться, що призведе до утворенню грибка та цвілі.

5. В процесі експлуатації плити поступово усихають, що призводить до зменшення їхнього розміру. Через це між плитами можуть утворитися зазори.

6. Оздоблення будинку доведеться проводити в будь-якому випадку. Плити схильні до механічного впливу, і якщо їх пошкодити, вони швидко втратять свій естетичний зовнішній вигляд. Тому облицювальні процедури в цьому випадку обов'язкові.

Особливості будівництва за канадською технологією.

Щоб будівництво вийшло надійним і довговічним, знадобиться враховувати особливості використання технології сіп панелей. До них можна віднести:

1. Вибір максимально якісних матеріалів. Тільки панелі високої якості зможуть витримати чинений на них тиск. Деякі виробники можуть використовувати клейову речовину поганої якості, що призведе до швидкого розклеювання конструкцій. Також неякісні матеріали можуть призвести до легкого запалення конструкції та виділення шкідливих речовин під час пожежі. Тому при виборі матеріалу потрібно віддавати перевагу перевіреному виробнику.

2. При виборі фундаменту, краще віддати перевагу гвинтовим палям або стрічковому моноліту. Це дозволить скоротити витрати на будівництво.

3. Спеціальна технологія виготовлення панелей забезпечує їм високу жорсткість. Завдяки цьому споруду будівлі можна виконувати в будь-яку пору року навіть за низьких температур. Будівля після будівництва не дає усадку та захищена від сезонних рухів ґрунту.

4. Особливу увагу необхідно приділити каркасу, який буде утримувати стіни. Для зовнішньої обробки краще використовувати товщі різновиди сіп конструкцій, для міжкімнатних перегородок підійдуть і звичайні панелі.

2.3 Теплоізоляція для енергозберігаючого будинку

Навіть побудований з урахуванням усіх архітектурних хитрощів будинок вимагає правильного утеплення, щоб бути повністю герметичним та не випускати тепло у навколишнє середовище.

Теплоізоляція стін.

Через стіни йде близько 40% тепла з будинку, тому їх утепленню приділяють особливу увагу. Найпоширеніший і найпростіший спосіб утеплення – організація багат шарової системи. Зовнішні стіни будинку обшиваються утеплювачем, в ролі якого часто виступає мінеральна, пінопласт або пінополістирол, зверху монтується армуюча сітка, а потім – базовий та основний шар штукатурки.

Більш дорога та прогресивна технологія – вентильований фасад.

Стіни будинку обшиваються плитами з мінеральної вати, а облицювальні панелі з каменю, металу або інших матеріалів монтуються на спеціальний каркас. Між шаром утеплювача та каркасом залишається невеликий зазор, який відіграє роль «теплової подушки», не дозволяє намокати теплоізоляції та підтримує оптимальні умови в житлі.

Крім того, щоб знизити тепловтрати через стіни, використовують ізолюючі склади в місцях примикання покрівлі, враховують майбутню усадку та зміну властивостей деяких матеріалів при підвищенні температури.

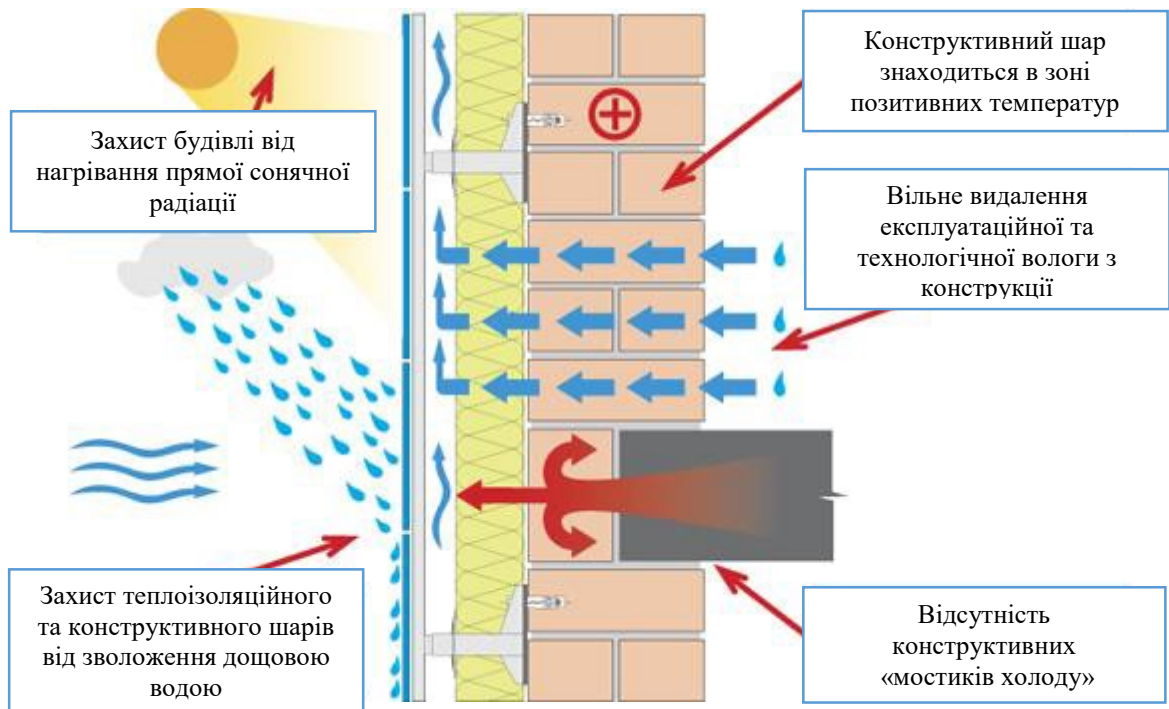


Рисунок 2.4 – Принцип роботи вентильованого фасаду

Теплоізоляція покрівлі.

Через покрівлю йде близько 20 % тепла. Для утеплення даху використовують ті ж самі матеріали, що й для стін. Широко поширені на сьогоднішній день мінеральна вата та пінополістирол. Архітектори радять робити покрівельну теплоізоляцію не тоншою за 200 мм незалежно від типу матеріалу. Важливо розрахувати навантаження на фундамент, що несуть конструкції та покрівлю, аби не було порушено їх цілісність.

Теплоізоляція віконних отворів.

На вікна припадає 20 % тепловтрат будинку. Хоча сучасні склопакети кращі, а ніж старі дерев'яні вікна та захищають будинок від протягів та ізолюють приміщення від зовнішнього впливу, але вони не ідеальні. [14]

Більш прогресивним варіантом для енергозберігаючого будинку є використання селективного скла, яке працює за принципом земної атмосфери. Вони впускають короткохвильове випромінювання, але не випускають теплові промені, створюючи "парниковий ефект". Селективне

скло буває І- і К-типу. На І-скла покриття наноситься у вакуумі вже на готовий матеріал. На К-скла покриття наносять в процесі виготовлення, використовуючи хімічну реакцію. І-скла вважають більш ефективними, тому що вони зберігають 90 % тепла, тоді як К-скла близько 70 %; [4].



Рисунок 2.5 – Принцип роботи селективного скла

Селективне скло з інертним газом максимально скорочує тепловтрати через вікна. Теплопровідність використовуваного інертного газу нижче, ніж повітря, тому будинок майже не втрачає через них тепло.

Теплоізоляція підлоги та фундаменту.

Через фундамент та підлогу першого поверху втрачається по 10 % теплоти. Підлогу утеплюють тими ж матеріалами, що і стіни, але можна використовувати інші варіанти: наливні теплоізоляційні суміші, пінобетон та газобетон, гранулобетон із рекордною теплопровідністю $0,1 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$.

Можливо утеплювати не підлогу, а стелю підвалу, якщо така передбачена проектом.

Фундамент краще утеплювати зовні, що допоможе захистити його не лише від промерзання, а й інших негативних чинників, зокрема, впливу ґрунтових вод, перепадів температур тощо. Для утеплення фундаменту використовують поліуретан, що напилюється, керамзит та пінопласт.

2.4 Рекуперація тепла

Тепло з дому йде не лише через стіни та покрівлю, а й через вентиляційну систему. Щоб зменшити витрати на опалення використовують припливно-витяжні вентиляції з рекуперацією.

Рекуператором називають теплообмінник, який вбудовується в систему вентиляції. Принцип його полягає в наступному. Нагріте повітря через вентиляційні канали виходить із кімнати, віддає своє тепло рекуператору, стикаючись з ним. Холодне свіже повітря з вулиці, проходячи крізь рекуператор, нагрівається, і надходить до будинку вже кімнатної температури. В результаті мешканці отримують чисте та свіже повітря, але не втрачають тепло.

Подібна система вентиляції може використовуватися разом з природною: повітря надходитиме до приміщення примусово, а виходити з допомогою природної тяги. Є ще один момент - повітрязабірна шафа може бути віднесена від будинку на 10 метрів, а повітропровід прокладений під землею на глибині промерзання. В цьому випадку ще до рекуператора влітку повітря охолоджуватиметься, а взимку – нагріватиметься за рахунок температури ґрунту.

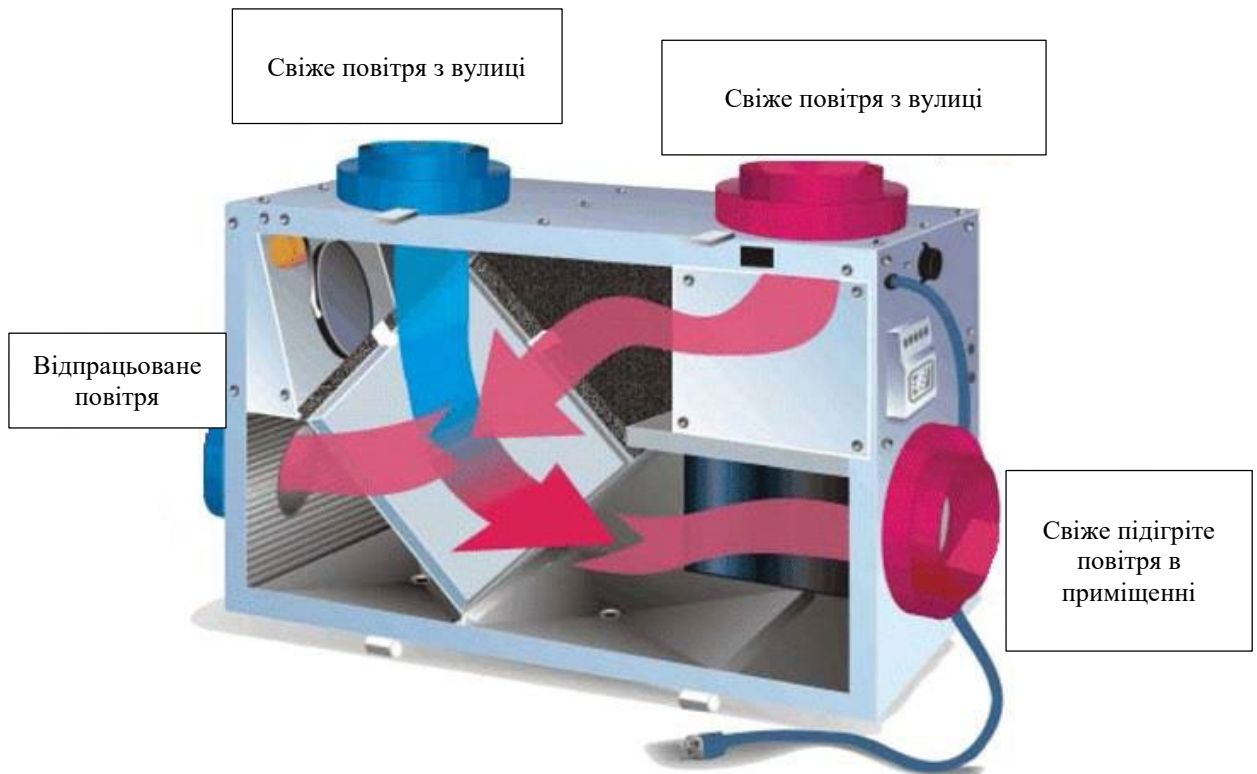


Рисунок 2.6 – Принцип роботи рекуператора

2.5 Розумний будинок

Щоб зробити життя комфортнішим і при цьому економити ресурси, можна забезпечити будинок розумними системами та технікою, завдяки яким вже сьогодні можливо:

- задавати температуру в кожній кімнаті;
- автоматично знижувати температуру в кімнаті, якщо в ній ні хто не мешкає;
- вмикати та вимикати світло залежно від присутності людини в приміщенні;
- налаштовувати рівень освітленості;
- автоматично вмикати та вимикати вентиляцію залежно від стану повітря;

- автоматично відкривати та закривати вікна для надходження до будинку холодного або теплого повітря;
- автоматично відкривати та закривати жалюзі для створення необхідного рівня освітлення в приміщенні.



Рисунок 2.7 – Приклад систем, якими можна керувати за допомогою «розумного будинку»

2.6 Опалення та гаряче водопостачання

Геліосистеми

Найекономніший та екологічніший спосіб опалювати приміщення та підігрівати воду – це використовувати енергію сонця. Можливо це завдяки

сонячним колекторам, встановленим на даху будинку. Такі пристрої легко під'єднуються до системи опалення та гарячого водопостачання будинку, а принцип їхньої роботи полягає в наступному. Система складається із самого колектора, теплообмінного контуру, бака-акумулятора та станції управління. В колекторі циркулює теплоносії (рідина), яка нагрівається за рахунок енергії сонця і через теплообмінник віддає тепло воді в баку-акумуляторі. Останній за рахунок гарної теплоізоляції здатний довго зберігати гарячу воду. В цій системі може бути встановлений нагрівач-дублер, який догріває воду до необхідної температури в разі похмурої погоди або недостатньої тривалості сонячного сьйва [8].

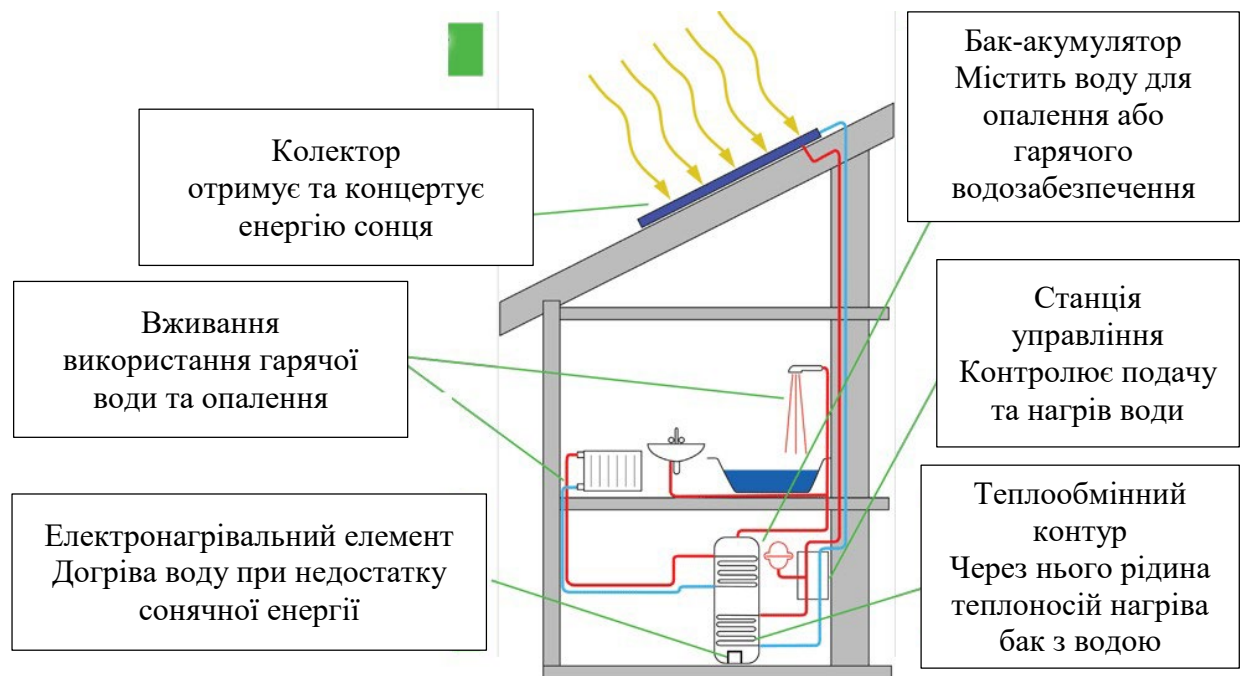


Рисунок 2.8 – Приклад роботи сонячного колектору

Колектори можуть бути плоскими та вакуумними. Плоскі являють собою коробку, закриту склом, всередині неї знаходиться шар з трубками, якими циркулює теплоносії. Такі колектори більш міцні, але на сьогодні витісняються більш практичними - вакуумними. Останні складаються з безлічі трубок, всередині яких знаходяться ще трубка або кілька з теплоносієм. Між зовнішньою та внутрішньою трубками – вакуум, який служить утеплювачем. Вакуумні колектори ефективніші, навіть взимку та в

похмуру погоду, ремонтпридатні. Термін служби колекторів близько 30 років і більше.

Теплові насоси.

Теплові насоси використовують для опалення будинку тепло довкілля, зокрема, повітря, надр і навіть вторинне тепло, наприклад, від трубопроводу центрального опалення. Складаються такі пристрої з випарника, конденсатора, розширювального вентиля та компресора. Усі вони пов'язані замкнутим трубопроводом та функціонують на основі принципу Карно. Простіше кажучи, теплонасос подібний до роботи холодильника, тільки функціонує навпаки. Якщо у 80-х роках минулого століття теплові насоси були рідкістю і навіть розкішшю, то на сьогодні у Швеції, наприклад, 70 % будинків опалюються таким чином.

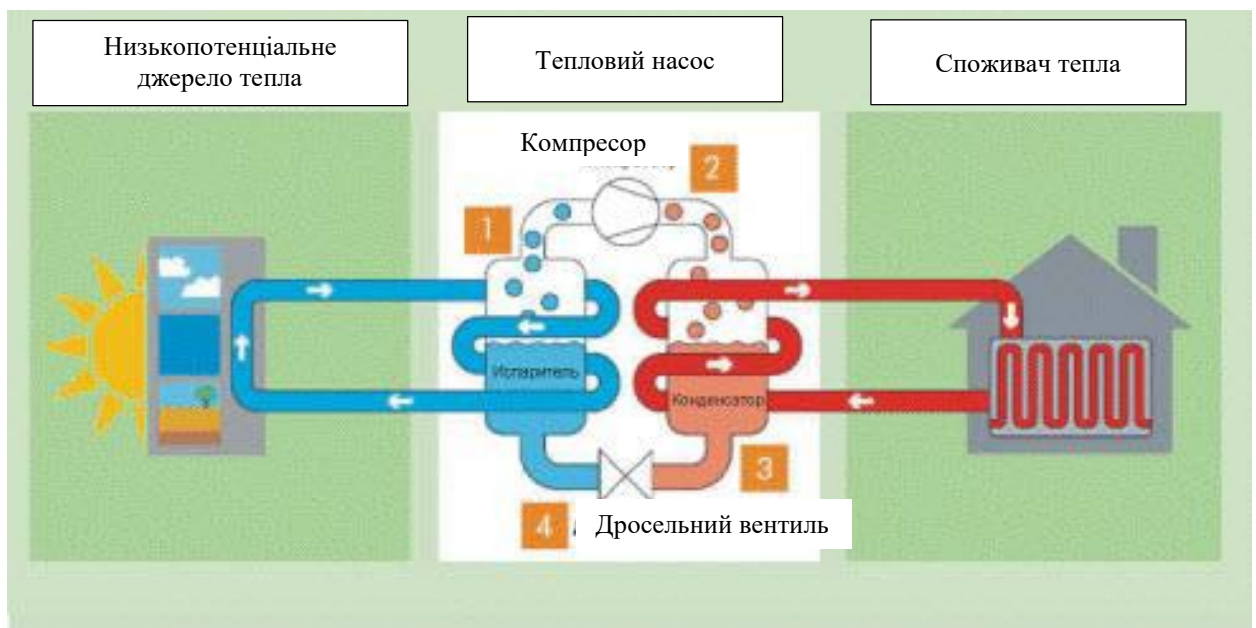


Рисунок 2.9 – Принцип роботи теплового насосу

Конденсаційні котли.

Звичайні газові котли працюють за досить простим принципом і витрачають при цьому багато палива. У традиційних газових котлах після спалювання газу та нагрівання теплообмінника топкові гази випаровуються в димар, хоча несуть досить високий потенціал. Конденсаційні котли за рахунок другого теплообмінника відбирають теплоту у конденсованих парів

повітря, за рахунок чого ККД установки може перевищувати навіть 100%, що вписується в концепцію енергозберігаючого будинку.

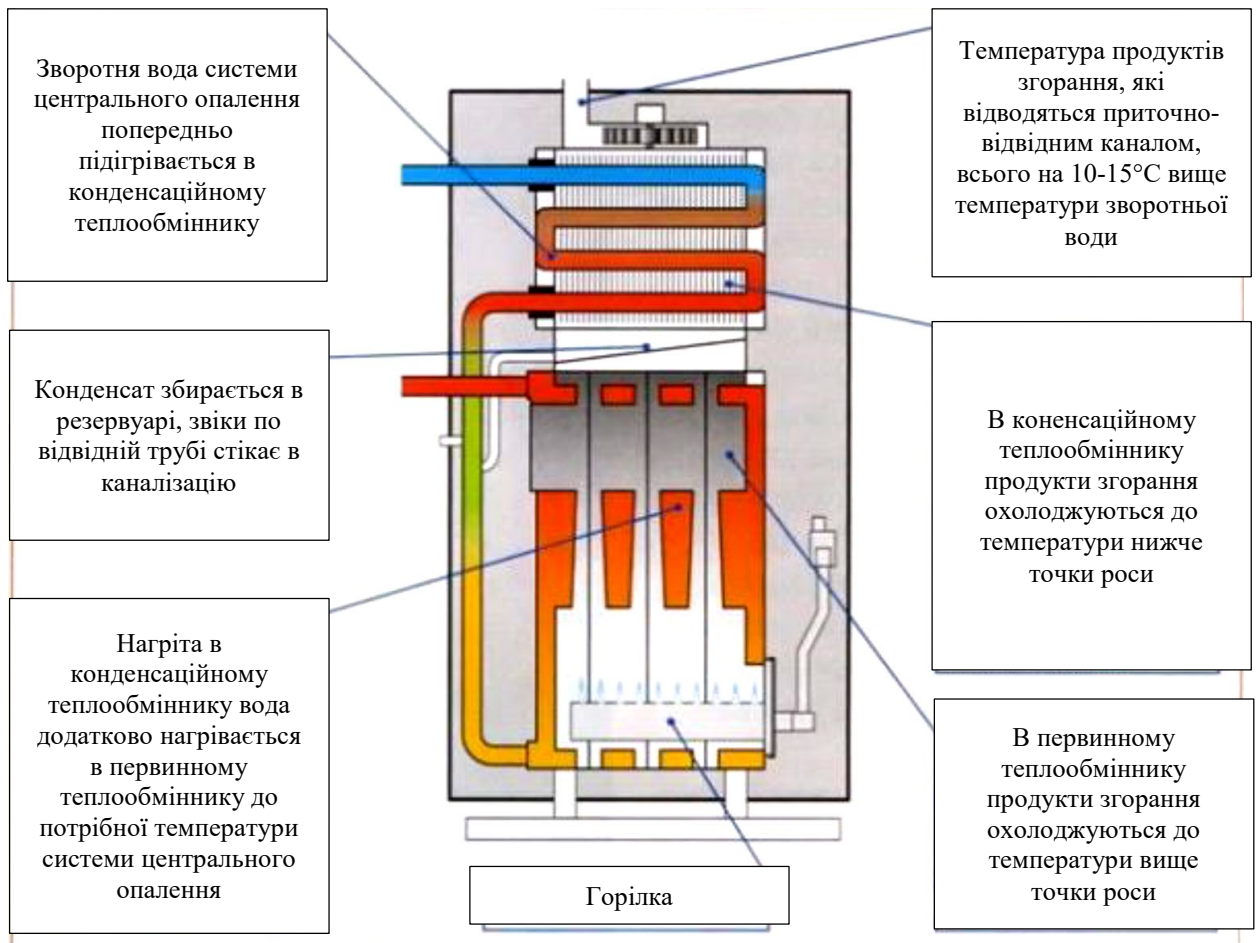


Рисунок 2.10 – Схема роботи конденсаційного котла із двома теплообмінниками

Біогаз в якості палива.

Якщо накопичується багато органічних відходів сільського господарства, то можна спорудити біореактор для отримання біогазу. В ньому біомаса завдяки анаеробним бактеріям переробляється, внаслідок чого утворюється біогаз, що складається на 60 % з метану, 35 % - вуглекислого газу та на 5 % інших домішок. Після процесу очищення він може використовуватись для опалення та гарячого водопостачання будинку. Перероблені відходи перетворюються на відмінне добриво, яке може використовуватися на полях та городах.

2.7 Додаткові джерела електроенергії

Енергозберігаючий будинок повинен використовувати електроенергію максимально економно і, бажано, отримувати її з поновлюваних джерел. На сьогоднішній день для цього реалізовано безліч технологій.

Вітрогенератор.

Енергія вітру може перетворюватися на електрику не тільки великими вітряними установками, але й за допомогою компактних «домашніх» вітряків. У вітряній місцевості такі установки здатні повністю забезпечувати електроенергією невеликий будинок, у регіонах з невисокою швидкістю вітру їх краще використовувати разом із сонячними батареями.

Сила вітру надає руху лопаті вітряка, які змушують обертатися ротор генератора електроенергії. Генератор виробляє змінний нестабільний струм, що випрямляється у контролері. В якому відбувається заряджання акумуляторів, які, у свою чергу, підключені до інверторів, де і йде перетворення постійної напруги в змінну, яка використовується споживачем.

Вітряки можуть бути з горизонтальною та вертикальною віссю обертання. За разових витрат вони надовго вирішують проблему енергонезалежності.

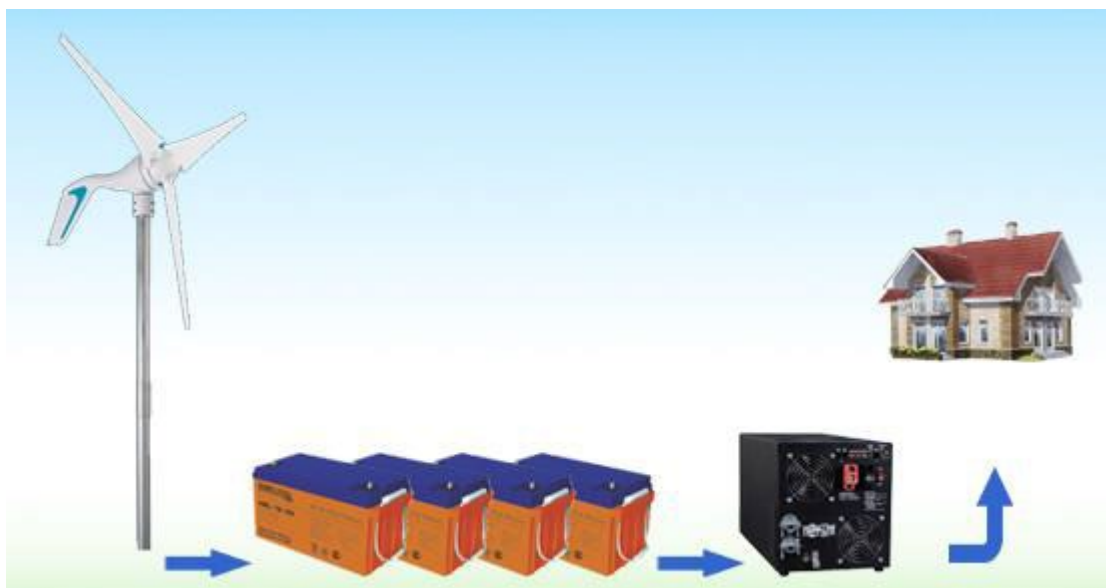


Рисунок 2.11 – Принцип роботи вітрогенератору

Сонячна батарея.

Використання сонячного світла для виробництва електроенергії не дуже поширено, але вже найближчим часом ситуація може різко змінитись. Принцип роботи сонячної батареї дуже простий: перетворення сонячного світла на електрику використовується р-n перехід.

Спрямований рух електронів, що провокується сонячною енергією, і є електрикою.

Конструкції та матеріали постійно вдосконалюються, а кількість електроенергії залежить від освітленості. В даний час найбільшою популярністю користуються різні модифікації кремнієвих сонячних батарей, але альтернативою їм найближчим часом можуть стати нові полімерні плівкові батареї, які поки що перебувають у стадії розвитку.

Економія електроенергії.

Отриману електрику потрібно вміти витратити з розумом. Для цього стануть у нагоді наступні рішення [33]:

- використання світлодіодних ламп, які вдвічі економніші люмінісцентних і майже в 10 разів економніших за звичайні лампи накаливання;
- використання енергозберігаючої техніки класу А, А+, А++ тощо. Хоча спочатку вона трохи дорожча, ніж ті ж пристрої з більш високим енергоспоживанням, але у майбутньому економія буде значною;
- використання датчиків присутності та руху, щоб світло в кімнатах не горіло даремно, та інших розумних систем, про які було сказано вище. Якщо довелося використовувати електрику для опалення, то звичайні радіатори краще замінити більш досконалими системами. Це можуть бути теплові панелі, які витрачають вдвічі менше електроенергії, ніж традиційні системи, що досягається за рахунок використання теплоакumuлюючого покриття. Подібну економію забезпечують і монолітні кварцові модулі, принцип дії яких ґрунтуються на здатності кварцового піску накопичувати та утримувати тепло. Ще один варіант - плівкові променисті електричні

нагрівники. Вони кріпляться на стелю, а інфрачервоне випромінювання нагріває підлогу та предмети в кімнаті, за рахунок чого досягається оптимальний мікроклімат приміщення та економія електрики.

2.8 Водопостачання та каналізація

В ідеалі, енергозберігаючий будинок повинен отримувати воду зі свердловини, розташованої під житлом. Але коли вода залягає на більших глибинах або якість її не відповідає вимогам, від такого рішення доводиться відмовлятися.

Побутові стоки краще пропускати через рекуператор та відбирати у них теплоту. Для очищення стічних вод можна використовувати септик, де перетворення відбуватиметься за рахунок анаеробних бактерій. Отриманий компост є гарним добривом.

Для економії води непогано б зменшити обсяг води, що зливається.

Крім того, можна втілити в життя систему, коли вода, яка використовується в ванній та раковині, застосовується для зливу в унітазі.

3 АНАЛІЗ ВИДІВ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ НА КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ПРИМІЩЕННЯ

Теплотехнічний розрахунок.

Крайовими умовами називають сукупність початкових та граничних умов. Початкові умови задаються лише при вивченні нестационарних процесів і полягають у завданні розподілу температури всередині тіла в момент часу, вибраний за початковий. Граничні умови відображають умови теплової взаємодії між певним середовищем та поверхнею тіла.

Завдання початкової умови у тому, що з деякого моменту часу $\tau = \tau_0$ (зазвичай вважають $\tau_0 = 0$) має бути відома функція $t = t(x, y, z, \tau_0) = f(x, y, z)$ просторових координат. Найпростіша початкова умова має вигляд $f(x, y, z) = t_0 = \text{const}$. До такої умови відносяться початкові умови виведення системи з режиму, що встановився (розігрів з холодного стану тощо). Можливі граничні випадки, коли можна знехтувати початковими умовами. Так, для кінцевих тіл довільної форми початкові умови впливають лише на початковій стадії процесу нестационарної теплопровідності: починаючи з певного моменту часу τ^* настає такий режим теплопровідності, за якого розподіл температур у тілі визначається лише граничними умовами та залежить від початкових.

Граничні умови для завдання, що вивчається, можуть бути задані декількома способами. Теоретично теплопровідності розрізняють кордонні умови I, II, III та IV роду та ін.

Граничні умови I роду. Задається розподіл температури на поверхні тіла F як функція координат та часу:

$$t_F = \varphi(x, y, z, \tau) \quad (3.1)$$

До граничних умов I роду можна віднести завдання розігріву та охолодження системи при заданій зміні температури на кордоні або при дуже інтенсивному теплообміні на поверхні, коли температура поверхні близька

до температури навколишнього середовища. Однак коло таких практичних завдань обмежене і граничні умови I роду використовуються здебільшого при розробці математичних методів вирішення крайових завдань та оціночних розрахунках.

Слід зазначити, що при $\varphi(x, y, z, \tau) = 0$ умова (3.1) однорідна щодо температури.

Для процесів стаціонарної теплопровідності функція φ за умови (3.1) не залежить від часу, і цю умову зазвичай називають умовою Діріхле.

Граничні умови II роду. Задається розподіл густини теплового потоку по поверхні тіла як функція координат та часу:

$$q_F = \Psi(x, y, z, \tau) \quad (3.2)$$

Відповідно до закону Фур'є ця умова запишеться так:

$$-\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_F = \Psi(x, y, z, \tau) \quad (3.3)$$

де n - внутрішня нормаль до поверхні F .

В процесах стаціонарної теплопровідності функція в умовах (3.2) і (3.3) не залежить від часу T , і ці умови зазвичай називають умовами Неймана.

В окремому випадку, коли щільність теплового потоку на поверхні тіла залишається постійною для будь-якого моменту часу у будь-якій точці поверхні, вираз (3.3) має вигляд:

$$q_F = q_0 = \text{const} \quad (3.4)$$

Такі умови теплообміну можуть створюватися при нагріванні тіл високотемпературними джерелами теплоти, коли теплообмін відбувається головним чином випромінюванням за законом Стефана-Больцмана, якщо при цьому власна температура тіла значно менше температури випромінюючої поверхні.

Крім того, можливий випадок завдання однорідної граничної умови II роду тобто умови так званої теплової ізоляції. Така умова часто задається при рівномірному обігріві поверхні тіла, що має геометричну симетрію. Наприклад, завдання симетричного прогріву пластини товщиною 2δ (коли на

обмежуючих поверхнях $x = \pm\delta$ задана щільність теплових потоків $q_1 = q_2 = q_0$) зводиться до еквівалентної задачі: заданий тепловий потік q_0 по поверхні $x = \delta$ і задана умова $q = 0$, площині симетрії пластини $x = 0$.

Граничні умови III роду. На поверхні тіла визначається залежність щільності теплового потоку від температури поверхні тіла T_F навколишнього середовища T_c .

У разі охолодження (нагріву) маємо:

$$q_F = \pm a (T_F - T_c), \quad (3.5)$$

де a - коефіцієнт пропорційності, званий коефіцієнт тепловіддачі (теплообміну), $Вт/м^2 \cdot К$. Він характеризує інтенсивність теплового впливу середовища заданої температури T_c поверхню тіла. У нестационарних процесах температура навколишнього середовища у загальному випадку змінюється у часі. Рівняння (3.5) виражає закон Ньютона. Щільність потоку, що підводиться (відводиться) за рахунок теплопровідності до (від) поверхні тіла визначається за законом Фур'є.

Отже, на підставі закону збереження енергії з урахуванням (3.5) маємо

$$-\lambda = \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)_F = a (T_F - T_c) \quad (3.6)$$

де n - внутрішня нормаль до поверхні тіла.

Рівняння (3.6) є аналітичним виразом граничної умови III роду, яке широко застосовується при аналітичних дослідженнях теплопровідності у твердих тілах, обтічних потоками рідини або газу на межі між тілом та рідиною.

На відміну від λ коефіцієнт тепловіддачі (теплообміну) не є фізичною постійною, характерною для тієї чи іншої речовини. В загальному разі він відображає спільну дію конвекції, теплопровідності та залежить багатьох чинників. Так, наприклад, лише конвективна частина a_k визначається геометричною формою та розмірами тіла, фізичними властивостями обтікає його потоку, напрямом і швидкістю потоку, температурними умовами та іншими факторами. Тому лише у першому наближенні коефіцієнт

вважатиметься постійним.

Таким чином, постановку умови (1.6) не завжди просто виконати, так як вся складність питання про теплообмін між тілом і навколишнім середовищем зосереджується на методі визначення коефіцієнта, а при конкретних умовах задачі [11].

Умови однозначності.

Для єдиності рішення диференціальні рівняння мають бути доповнені крайовими умовами або умовами однозначності, які включають геометричні, фізичні, граничні та тимчасові умови.

Геометричні умови визначають розміри форми тіла. Фізичні умови включають чисельні значення та характер зміни теплофізичних параметрів тіла та навколишнього середовища, а також інтенсивність внутрішніх джерел (стоків) теплоти, якщо вони є.

Тимчасові умови задають значення та характер зміни температури або теплового потоку у початковий (або кінцевий) момент часу. Граничні умови визначають умови теплообміну на межі тіла та можуть бути задані по різному [24].

Таблиця 3.1 – Способи завдання граничних умов

Граничні умови I роду	Розподіл температури на поверхні тіла (індекс w)	$t_w = f(x, y, z, \tau)$ в найпростішому випадку $t_w = \text{const}$
Граничні умови II роду	Розподіл щільності теплового потоку на поверхні тіла	$q_w = f(x, y, z, \tau)$ в найпростішому випадку $q_w = \text{const}$
Граничні умови III роду	Умови теплообміну поверхні тіла з довкіллям (індекс f)	$q = \alpha(t_w - t_f) = -\lambda_w \frac{\partial t_w}{\partial n} \Big _{n \rightarrow 0}$
Граничні умови IV роду	Умови теплообміну на поверхні при контакті двох тіл (рівність теплових потоків, що проходять через поверхню контакту)	$\lambda_{w1} \frac{\partial t_{w1}}{\partial n_1} \Big _{n_1 \rightarrow 0} = \lambda_{w2} \frac{\partial t_{w1}}{\partial n_2} \Big _{n_2 \rightarrow 0}$ при ідеальному контакте $t_{w1} \Big _{n_1 \rightarrow 0} = t_{w2} \Big _{n_2 \rightarrow 0}$

3.1 Вплив розміщення опалювального приладу під вікном на тепловтрати

При розміщенні опалювального приладу під світловим отвором у внутрішньої поверхні скління утворюються три зони [20]:

- зона холодного струменя – холодний спадаючий потік природної конвекції у верхній частині скління;
- зона теплого струменя – напівобмежений конвективний струмінь від опалювального приладу;
- вихрова область – область, що утворюється при злитті теплого та холодного струменя. У вихровій області відбувається формування нового струменя.

Для практичних розрахунків у зв'язку зі складністю визначення меж вихрової області, нею нехтують, і визначається умовна точка зустрічі холодного і теплого струменя x_v [20]. Тоді спрощено можна вважати, що у скління утворюються висхідний гравітаційний струмінь протяжністю від $x = 0$ (рівень статі) до $x = x_v$ і спадаючий конвективний потік від $x = x_v$ до $x = h$ (тут h - висота скління, м).

Для детального дослідження розподілу швидкісних та температурних полів у приміщенні з вбудованим в конструкцію підлоги конвектором з природною конвекцією виконано моделювання в програмі Comsol multiphysics. Як модель прийнято приміщення індивідуального каркасного житлового будинку типу Barnhaus 92: ширина – 8 м, глибина – 11 м, висота – 4 м. Скління виконане на всю ширину та висоту приміщення. Під склінням розташовується конвектор. Тепловий потік опалювального приладу прийнято рівним тепловим втратам через скління.

Під час моделювання були задані такі умови:

- температури внутрішніх поверхонь (бічні стінки, підлога, стеля): $+18^\circ\text{C}$;

- температура зовнішнього повітря: -32°C ;
- коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні скління: $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;
- середній термічний опір скління: $0,685 (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$.

Конвектор розташовувався на різній відстані від скління.

На основі розрахунків отримано наступну картину взаємодії низхідного потоку у скління і висхідного від конвектора при рівності теплового потоку конвектора тепловим втратам через скління:

- при відстані від скління до конвектора до 400 мм відбувається настилення потоку теплого повітря на скління по всій висоті;

- при відстані 400 мм у внутрішній поверхні вікна утворюються три зони: холодний спадаючий потік природної конвекції (холодний струмінь повітря), вихрова область та напівобмежений гравітаційний (теплий) струмінь від конвектора (рис. 3.1). У вихровій області при злитті теплої та холодної струменей напрямок нового струменя, що утворився, різко змінюється. Струмінь відхиляється углиб приміщення. Координата місця зустрічі струменів $\approx 2,4$ м від підлоги приміщення;

- при віднесенні конвектора від скління на 1000 мм по всій висоті скління утворюється низхідний конвективний потік, а конвектор створює висхідний струмінь, що запобігає надходженню холодного повітря далі в приміщення.

Отримана картина взаємодії низхідного потоку у скління і висхідного від конвектора відповідає розрахунковій теплофізичній моделі, прийнятої під час розробки інженерного методу розрахунку захисту обслуговуваної зони приміщення від холодних потоків при розташуванні опалювальних приладів під склом [2]. Зіставлення та отриманий збіг результатів моделювання з розрахунком, виконаним за методикою [12], дозволили поширити дану методику розрахунку для конвекторів.

Розглянемо методику розрахунку теплообміну між огорожею та неізотермічним напівобмеженим струменем при захисті приміщення від

спадаючих потоків охолодженого повітря у світлопрозорого огороження та приклад розрахунку.

При підборі опалювального приладу у вигляді внутрішньопідлогового конвектора можливі два варіанти розрахунку.

Вихідні дані для прикладу (м. Дніпро):

- розрахункова температура зовнішнього повітря: $t_n = -12 \text{ }^\circ\text{C}$;
- розрахункова температура внутрішнього повітря: $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- висота скління: $h = 4 \text{ м}$;
- середня температура тепловіддаючої поверхні: $t_0 = 82,5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- нормоване значення наведеного опору теплопередачі скління [16] (без урахування опалювального приладу): $R_0 = 0,43 \text{ (м}_2 \cdot \text{ }^\circ\text{C) / Вт}$;
- коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні:
 $\alpha_b = 8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$;
- коефіцієнт теплопровідності повітря при температурі t_b : $\lambda_b = 0,0259 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$;
- кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря при температурі t_b : $\nu_b = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- довжина конвектора дорівнює довжині світлового отвору.

Варіант 1. Опалювальний прилад підбирається за умов поповнення конвективні теплові втрати через скління. Вирішується завдання захисту обслуговуваної зони приміщення від проникнення холодних потоків повітря за мінімальних витрат енергії. Для заповнення інших теплових втрат приміщення передбачається додатковий опалювальний прилад.

Варіант 2. Опалювальний прилад підбирається за умов поповнення повних теплових втрат (конвективного та променистого теплового потоку) через заскління або повних теплових втрат приміщення.

Розрахунок захисту зони приміщення, що обслуговується, від холодних потоків повітря при заповненні опалювальним приладом конвективних теплових втрат через скління.

1. Визначається у першому наближенні температура на внутрішній поверхні скління:

$$\tau'_B = \tau_B - \frac{(t_B - t_H)}{\alpha_B R_0}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.7)$$

$$\tau'_B = 20 - \frac{(20 - (-12))}{8 \cdot 0,43} = 4,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Питомі теплові втрати через скління за відсутності опалювального приладу під заскленням:

$$Q'_{уд} = \frac{1}{R_0} (t_B - t_H) h, \frac{\text{BT}}{\text{м}} \quad (3.8)$$

$$Q'_{уд} = \frac{1}{0,43} (20 + 12) \cdot 4 = 483,7, \text{ BT/м}$$

3. Приймається еквівалентний (за питомим тепловим потоком) діаметр опалювального приладу (конвектор умовно замінюється трубчастим нагрівачем, розташованим під склінням).

Орієнтовні питомі конвективні теплові втрати при встановленні опалювального приладу під заскленням:

$$Q_{к.о.п.пит.} = Q'_{уд} \cdot \beta'_к, \text{ BT/м}, \quad (3.9)$$

де $\beta'_к$ – орієнтовна частка конвективного теплового потоку в повному тепловому потоці на внутрішній поверхні скління при встановленні опалювального приладу конвективного типу.

Отримано наступну залежність для визначення значення $\beta'_к$:

$$\beta'_к = 2,9335 - 9,3056 \cdot R_0 + 12,638 \cdot R_0^2 - 5,6869 \cdot R_0^3,$$

де R_0 – наведений опір теплопередачі скління (без обліку опалювального приладу), $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{BT}$.

Відповідно:

$$\beta'_к = 2,9335 - 9,3056 \cdot 0,43 + 12,638 \cdot 0,43^2 - 5,6869 \cdot 0,43^3 = 0,817;$$

$$Q'_{уд,к} = 483,7 \cdot 0,817 = 395,2 \text{ BT/м}. \quad (3.10)$$

Еквівалентний діаметр опалювального приладу розраховується за залежності:

$$d_e = 0,151 \cdot Q'_{уд,к}{}^{1,333} \cdot (t_0 - t_B)^{-1,667}, \text{ м}; \quad (3.11)$$

$$de = 0,151 \cdot 395,2^{1,333} \cdot (82,5 - 20)^{-1,667} = 0,443 \text{ м}$$

4. Визначається критерій Грасгофа:

$$Gr_0 = \frac{g \cdot (t_0 - t_B) \cdot de^3}{(273 + t_0) \cdot (15,06 \cdot 10^{-6})^2} = 80,21 \cdot 10^7 \quad (3.12)$$

$$Gr_0 = \frac{9,81 \cdot (82,5 - 20) \cdot 0,443^3}{(273 + 20) \cdot (15,06 \cdot 10^{-6})^2} = 80,21 \cdot 10^7$$

5. Визначається координата точки зустрічі теплого та холодного струменів:

$$X'_B = 0,2d_c \cdot \left(\frac{t_0 - t_B}{t_B - t_B}\right)^{1,25} \cdot \left(\frac{t_0 - t_B}{t_0 - t_B}\right)^{1,25}, \text{ м} \quad (3.13)$$

де

$$n = 8 \cdot \left(\frac{82,5 - 20}{82,5 - 4,9}\right)^{10} = 0,92 \quad (3.14)$$

$$X'_B = 0,2 \cdot 0,443 \cdot \left(\frac{82,5 - 20}{20 - 4,9}\right)^{1,25} \cdot \left(\frac{82,5 - 4,9}{82,5 - 20}\right)^{1,25 \cdot 0,92} = 0,671$$

6. Відносна координата точки зустрічі теплого та холодного струменів:

$$\underline{X}' = \frac{X'_B}{de} \quad (3.15)$$

$$\underline{X}' = 0,688/0,355 = 1,51.$$

7. Середнє значення критерію Нуссельта на поверхні скління:

$$Nu'_o = 0,33 \cdot Gr_0^{0,333} \cdot (\underline{X}'^{0,73} - 0,27) \cdot \underline{X}'^{-1} \quad (3.16)$$

$$Nu'_o = 0,33 \cdot (80,21 \cdot 10^7)^{0,333} \cdot (1,51^{0,73} - 0,27) \cdot 1,51^{-1} = 217,958$$

8. Середнє значення коефіцієнта конвективної тепловіддачі:

$$\alpha'_k = \frac{Nu'_o \cdot \lambda_B}{de} \quad (3.17)$$

$$\alpha'_k = \frac{217,958 \cdot 0,0259}{0,443} = 12,74$$

9. Середній температурний напір у висхідній теплій конвективній напівобмежений струмінь повітря:

$$(t_m - \tau'_B) = * \frac{0,64(t_0 - \tau_B)}{X'_B} + \frac{1,4(t_0 - \tau_B)}{X'_B} * \left(\frac{t_0 - \tau_B}{t_0 - t_B}\right)^n * (X'_B^{0,2} - 1) \quad (3.18)$$

$$(t_m - \tau'_B) = * \frac{0,64(82,5 - 7,21)}{1,93} + \frac{1,4(82,5 - 7,21)}{1,93} * \left(\frac{82,5 - 7,21}{82,5 - 20}\right)^{1,24} * (1,93^{0,2} - 1) = 40,75$$

10. Середня температура повітря на вісі восходящої теплої конвективної струї:

$$t'_m = \tau'_B + (t_m - \tau_B)', \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (3.19)$$

$$t'_m = 4,9 + 40,375 = 45,275^\circ\text{C}.$$

11. Середній коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням на поверхні світлопрозорого огороження:

$$\alpha_n' = \frac{5}{t_B - \tau_B} \left(\left(\frac{273 + t_B}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + \tau_B}{100} \right)^4 \right) \quad (3.20)$$

$$\alpha_n' = \frac{5}{20 - 4,9} \left(\left(\frac{273 + 20}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + 4,9}{100} \right)^4 \right) = 4,655 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{C}$$

12. Середній коефіцієнт тепловіддачі на поверхні світлопрозорого огороження у висхідній теплій конвективній струмені:

$$\alpha'_B = \alpha'_K + \alpha'_L, \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}; \quad (3.21)$$

$$\alpha'_B = 12,74 + 4,655 = 17,395 \text{ Вт/ (м}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}.$$

13. Сопротивление теплопередаче остекления:

$$R_0' = 0,43 - \left(\frac{1}{\alpha_B} - \frac{1}{\alpha'_B} \right) \cdot \text{м}^2 \cdot \text{C/Вт} \quad (3.22)$$

$$R_0' = 0,43 - \left(\frac{1}{8} - \frac{1}{17,395} \right) = 0,362$$

14. Температура на внутрішній поверхні скління в зоні дії теплового конвективного струменя повітря:

$$\tau''_B = t'_m - \frac{t'_m + t_n}{\alpha'_B \cdot R_0'}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.23)$$

$$\tau''_B = 45,275 - \frac{45,275 + 32}{17,395 \cdot 0,362} = 33 \text{ } ^\circ\text{C}$$

15. Для подальших розрахунків приймається середня температура на внутрішній поверхні скління:

$$\tau''_B = \frac{\tau''_B + \tau'_B}{2} \quad (3.24)$$

$$\tau''_B = \frac{33 + 4,9}{2} = 18,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Далі, починаючи з п. 5, розрахунок повторюється, причому залежність (4.5) замість τ_B підставляється значення τ'''_B .

Для остаточного вибору $\tau_b, ^\circ\text{C}$, у зоні дії теплого конвективного струменя повітря необхідно виконати 5...7 наближень. При цьому в останньому наближенні температура t_b повинна відрізнятись від попереднього значення не більш як на $0,01^\circ\text{C}$.

Розрахунок:

Вихідні дані для прикладу (м. Дніпро):

- розрахункова температура зовнішнього повітря: $t_n = -12^\circ\text{C}$;
 - розрахункова температура внутрішнього повітря: $t_b = 20^\circ\text{C}$;
 - висота скління: $h = 4\text{ м}$;
 - середня температура тепловіддаючої поверхні: $t_0 = 82,5^\circ\text{C}$;
 - нормоване значення наведеного опору теплопередачі скління (без урахування опалювального приладу): $R_0 = 0,43\text{ (м}^2\cdot^\circ\text{C)/Вт}$;
 - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні: $\alpha_b = 8\text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$;
 - коефіцієнт теплопровідності повітря при температурі t_b : $\lambda_b = 0,0259\text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$;
 - кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря при температурі t_b : $\nu_b = 15,06 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$;
 - довжина конвектора дорівнює довжині світлового отвору.
- Параметри у висхідному теплому конвективному струмені:
- середня температура на внутрішній поверхні скління: $\tau_b = 15,53^\circ\text{C}$;
 - координата точки зустрічі теплого та холодного струменів: $x_b = 3,38\text{ м}$;
 - середнє значення коефіцієнта конвективної тепловіддачі: $\alpha_{к.н.} = 7,74\text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$;
 - середній температурний напір: $t_m - \tau_b = 12,326^\circ\text{C}$;
 - середня температура повітря на осі висхідного теплого конвективного струменя: $t_m = 27,85^\circ\text{C}$;
 - середнє значення коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням: $\alpha_{д.н.} = 4,917\text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$;
 - середній коефіцієнт тепловіддачі на поверхні світлопрозорої огорожі у висхідному теплому конвективному струмені: $\alpha_{в.н.стр.} = 12,655\text{ Вт/(м}^2\cdot^\circ\text{C)}$.

16. Питомі (на 1 м довжини скління) конвективні тепловтрати в зоні дії нагрітого струменя:

$$Q_{\text{к.н.стр.пит}} = \alpha_{\text{к.н.стр.}}(t_m - \tau_B)x_B, \text{ Вт/м}; \quad (3.25)$$

$$Q_{\text{к.н.стр.пит}} = 7,74 \cdot 12,326 \cdot 3,38 = 322,46 \text{ Вт/м.}$$

17. Коефіцієнт конвективної тепловіддачі поверхні скління у спадному холодному конвективному струмені повітря:

$$\alpha_{\text{к.х.стр.}} = 1,68 (t_B - \tau'_B)^{0,333}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}; \quad (3.26)$$

$$\alpha_{\text{к.х.стр.}} = 1,68 \cdot (20 - 4,9)^{0,333} = 4,15 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

18. Питомі (на 1 м довжини скління) конвективні тепловтрати в зоні дії холодного струменя:

$$Q_{\text{к.х.стр.пит}} = \alpha_{\text{к.х.стр.}} (t_B - \tau'_B) (h - x_B), \text{ Вт/м}; \quad (3.27)$$

$$Q_{\text{к.х.стр.пит}} = 3,93 \cdot (20 - 7,21) \cdot (4 - 3,75) = 38,85 \text{ Вт/м.}$$

19. Питомі конвективні втрати в зоні дії нагрітого і холодного струменів:

$$Q_{\text{к.пит}} = Q_{\text{к.н.стр.пит}} + Q_{\text{к.х.стр.пит}}, \text{ Вт/м}; \quad (3.28)$$

$$Q_{\text{к.пит}} = 322,46 + 38,85 = 361,3 \text{ Вт/м.}$$

20. Для локалізації спадаючого холодного потоку повітря необхідно, щоб конвективний тепловий потік опалювального приладу був не менше конвективних теплових втрат через скління. Тому перевіряємо виконання умови:

$$Q_{\text{к.о.п.пит}} \geq Q_{\text{к.пит}} \text{ Вт/м}; \quad (3.29)$$

$$395,2 > 361,3 \text{ Вт/м, яке у разі виконується.}$$

21. Питома повна тепловтрата через скління:

$$Q_{\text{пит}} = \alpha_{\text{в.н.стор.}} (t_m - \tau_B)x_B + \alpha_{\text{в.}}(t_B - \tau'_B) (h - x_B), \text{ Вт/м}; \quad (3.30)$$

$$Q_{\text{пит}} = 12,655 \cdot 12,326 \cdot 3,38 + 8 \cdot (20 - 4,9) \cdot (4 - 3,38) = 602,12 \text{ Вт/м.}$$

Таким чином, наявність висхідного напівобмеженого струменя, що настилається на скління, викликає збільшення теплових втрат на:

$$[(602,12 - 483,7) / 483,7] 100\% = 24,5\%.$$

Поправочний коефіцієнт, що враховує збільшення теплових втрат:

$$KQ = Q_{\text{пит}} / Q'_{\text{пит}} \quad (3.31)$$

$$KQ = 602,12 / 483,7 = 1,245$$

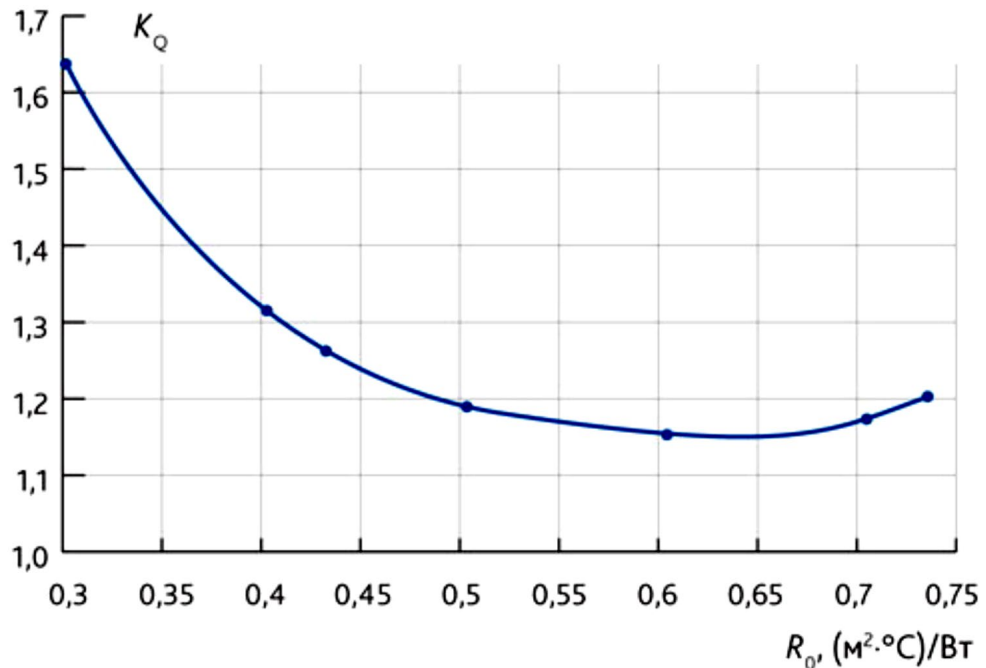


Рисунок 3.1 – Залежність коефіцієнту збільшення теплових втрат через скління від опору теплопередачі скління

Для умов прикладу виконано розрахунок за різних значень опору теплопередачі скління. Результати розрахунку представлені на 3.1 у вигляді залежності коефіцієнта збільшення теплових втрат від опору теплопередачі скління. Точка зустрічі нагрітого та охолодженого конвективних струменів знаходиться на висоті від підлоги 2...3,8 м в залежності від опору теплопередачі скління. Ці дані можуть бути використані для орієнтовної оцінки величини теплових втрат через скління за подібних умов застосування.

Висновок щодо розрахунку:

1. Використана методика розрахунку систем водяного опалення з внутрішньопідлоговими конвекторами, розташованими біля скління та мають довжину конвекторів, що дорівнює довжині скління.

2. Для захисту приміщення від спадаючого потоку холодного повітря внутрішньопідлогові конвектори розміщуються на відстані від скління до конвектора близько 400 мм. При цьому відбувається настилення теплого потоку повітря з конвектора на скління.

3. При настиленні потоку теплого повітря на скління збільшуються теплові втрати через скління, що має бути враховано в розрахунку.

4. Для зменшення теплових втрат через скління доцільно підвищувати термічний опір скління. Для варіанта підбору внутрішньопідлогових конвекторів з умов поповнення конвективних теплових втрат через скління найменшими будуть теплові втрати при термічному опорі скління в межах $0,55 \dots 0,65 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) / Вт}$ (коефіцієнт збільшення теплових втрат - 1,18).

3.2 Розрахунок тепловтрат розглянутого об'єкта

Для теплотехнічного розрахунку потрібні габаритні креслення об'єкта.

В нашому випадку, за приклад візьмемо класичний невеликий Barnhaus, одноповерхова каркасна будівля з великим панорамним склінням на одній зі стін. Для спрощення та наочності теплотехнічного розрахунку наведемо форму будівлі до найпростішої форми паралелепіпеда з наступними габаритами:

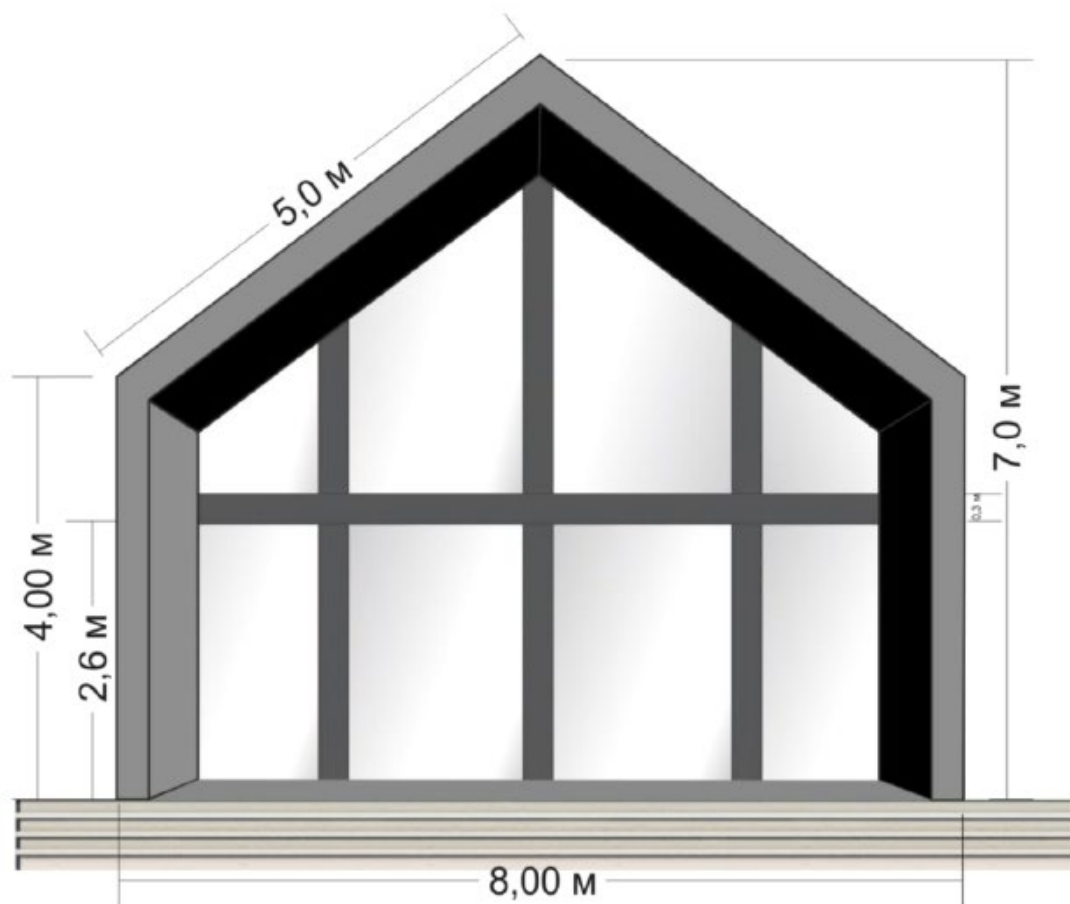


Рисунок 3.2 – Приклад габаритів каркасної будівлі Barnhaus



Рисунок 3.3 – Приклад візуалізації каркасної будівлі Barnhaus

Габарити: Varnhaus: ширина – 8 м, глибина – 11 м, висота – 4 м.
Скління виконано на всю ширину та висоту приміщення

Теплотехнічний розрахунок зводиться до обчислення коефіцієнтів теплопередачі зовнішніх огорож житлової будівлі: стіни, горищного перекриття (безгорищного покриття для будівлі з плоскою покрівлею), перекриття над неопалюваним підвалом, засклення та входних дверей у будівлю.

Відповідно до [6] опір теплопередачі R_0 конструкцій, що огороджують повинно бути не менше нормованого значення $R_0^{\text{норм}}$. Нормоване значення опору теплопередачі огороджувальної конструкції $R_0^{\text{норм}}$ визначається за формулою:

$$R_0^{\text{норм}} > R_0^{m_p} * m_p \quad (3.32)$$

де m_p – коефіцієнт, що враховує особливості регіону будівництва, розрахунку приймається рівним 1;

$R_0^{m_p}$ - базове значення необхідного опору теплопередачі огороджувальної конструкції, $m^2 \cdot ^\circ C / W$ приймається за табл.3.2 в залежності від градусо-днів опалювального періоду ДСОП

$$\text{ДСОП} = (t_b - t_{\text{оп}}) \cdot Z_{\text{оп}}, \quad (3.33)$$

Де $t_{\text{оп}}$ - середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, $^\circ C$;

$Z_{\text{оп}}$ - тривалість опалювального періоду, днів;

t_b - розрахункова температура внутрішнього повітря, $0C$, приймається під час розрахунку огороджувальних конструкцій житлових будівель за мінімальними значеннями оптимальної температури [4].

3.2.1 Теплотехнічний розрахунок зовнішніх стін, покрівлі

Коефіцієнт теплопередачі K , $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ зовнішньої огорожі визначають за формулою:

$$K = \frac{1}{R_{0p}} \quad (3.34)$$

Таблиця 3.2 – Базові значення необхідного опору теплопередачі огорожуючих конструкцій R_{0p}

Призначення будівель	Градусо-діб опалювального періоду, $^\circ\text{C} \cdot \text{діб}/\text{рік}$	R_{0p} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$			
		стін	покриттів	горищних перекриттів (покрівлі) і над неопалювальними підвалами	вікон
Житлові	2000	2,1	3,2	2,8	0,49
	4000	2,8	4,2	3,7	0,63
	6000	3,5	5,2	4,6	0,73
	8000	4,2	6,2	5,5	0,75
	10000	4,9	7,2	6,4	0,77
	12000	5,6	8,2	7,3	0,80

Теплотехнічний розрахунок зовнішньої стіни:

Вихідні дані: район будівництва – м. Дніпро, розрахункова температура внутрішнього повітря $t = 20 ^\circ\text{C}$, тривалість опалювального періоду $Z_{\text{оп}} = 220$ діб., розрахункова температура зовнішнього повітря $t_3 = - 12 ^\circ\text{C}$, середня температура опалювального періоду $t_{\text{оп}} = - 5,5 ^\circ\text{C}$

1. Розраховуємо градусо-добу опалювального періоду (ГДОП):

$$\text{ГДОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{оп}}) \cdot Z_{\text{оп}} = (20 + 5,5) \cdot 220 = 5610 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{дiб} \quad (3.35)$$

2. За табл. 3.3 визначаємо базові значення необхідного опору теплопередачі:

$$R_{0\text{порт}} = 3,43 \text{ м}^2, \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}; \quad (3.36)$$

$$3. R_{0\text{норм}} = R_{0\text{порт}} \cdot 1 = 3,36 \text{ м}^2, \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}; \quad (3.37)$$

4. Визначаємо коефіцієнт теплопередачі для зовнішньої стіни:

$$K_{\text{зс}} = \frac{1}{R_{0\text{норм}}} = \frac{1}{3,36} = 0,298 \quad (3.38)$$

5. Аналогічно визначають коефіцієнти теплопередачі для покриттів (покрівлі)

$$R_{0\text{порт}} = 5 \text{ м}^2$$

$$K = \frac{1}{R_{0\text{норм}}} = \frac{1}{5} = 0,25 \quad (3.40)$$

Теплотехнічний розрахунок світлових отворів

Теплотехнічний розрахунок балконних дверей та заповнень світлових прорізів, а також вибір їх конструкцій здійснюється залежно від району будівництва та призначення приміщень. Опір теплопередачі для світлових отворів визначають за табл. 3.3 в залежності від величини ДСОП. Потім табл. 3.4 вибирають конструкцію світлового отвору із наведеним опором теплопередачі $R_{0\text{отв}}$ за умови, що $R_{0\text{отв}} \geq R_{0\text{тр}}$.

Для прийнятої конструкції світлового отвору коефіцієнт теплопередачі визначається за формулою $K = \frac{1}{R_{0\text{норм}}}$.

Таблиця 3.3 – наведені опори теплопередачі

Заповнення світлового отвору (у дерев'яних або ПВХ палітурках)	Наведений опір теплопередачі R_0 , $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$
Подвійне скління в спарених палітурках	0,4
Подвійне скління в окремих палітурках	0,44
Потрійне скління в роздільно-спарених палітурках	0,55
Однокамерний склопакет: зі звичайного скла, зі скла з твердим селективним покриттям, зі скла з м'яким селективним покриттям	0,38 0,51 0,56
Двокамерний склопакет: із звичайного скла (з міжскляною відстанню 6 мм), зі звичайного скла (з міжскляною відстанню 12 мм), зі скла з твердим селективним покриттям, зі скла з м'яким селективним покриттям	0,51 0,54 0,58 0,68
Звичайне скло та однокамерний склопакет у роздільних палітурках: зі звичайного скла, зі скла з твердим селективним покриттям, зі скла з м'яким селективним покриттям	0,56 0,65 0,72
Звичайне скло та двокамерний склопакет у роздільних палітурках: зі звичайного скла	0,68
Два однокамерні склопакети в спарених палітурках	0,7
Два однокамерні склопакети в роздільних палітурках	0,74

За табл. 3.3 визначаємо базові значення необхідного опору теплопередачі

$$R_0^{np} = 0,6 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

Вибираємо конструкцію вікна за табл. 3.6 залежно від необхідного опору теплопередачі та з урахуванням виконання умови $R_0^{\text{отв}} \geq R_0^{\text{тр}}$.

Вибираємо двокамерний склопакет зі скла з м'яким селективним покриттям:

$$R_0^{\text{отв}} = 0,68 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

Коефіцієнт теплопередачі вікна визначаємо за формулою:

$$K_{\text{вік}} = \frac{1}{R_{\text{норм}}} = \frac{1}{0,68} = 1,47$$

Коригований коефіцієнт теплопередачі вікна дорівнює:

$$K'_{\text{вік}} = K_{\text{вік}} - K_{\text{нс}} = 1,47 - 0,298 = 1,17 \quad (3.41)$$

Теплотехнічним розрахунком зовнішніх дверей у цьому випадку нехтуємо, т.я. не збираємося розглядати різні варіанти дверей.

3.2.2 Визначення теплової потужності системи опалення

Завдання розрахунку теплової потужності системи опалення полягає в знаходженні всіх складових теплового балансу (тепловтрат та теплонадходжень) та у визначенні дефіциту теплоти для кожного приміщення та будівлі в цілому. Розрахункові тепловтрати приміщення Q , Вт, визначаються за формулою:

$$Q_p = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{інф}} - Q_{\text{поб}}, \quad (3.42)$$

де $Q_{\text{огр}}$ - трансмісійні тепловтрати приміщення, Вт, розраховуються окремо для кожної огорожувальної конструкції або її частини;

$Q_{\text{інф}}$ – тепловтрати на нагрівання повітря, що інфільтрується, або вентиляційної норми повітря, Вт; $Q_{\text{поб}}$ – побутові теплонадходження в приміщення, Вт [4].

Трансмісійні тепловтрати приміщення

Для визначення трансмісійних тепловтрат приміщення використовується формула:

$$Q_{\text{огр}} = A_{\text{огр}} \cdot k_{\text{огр}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot (1 + \sum \beta), \quad (3.43)$$

де $k_{\text{огр}}$ - коефіцієнт теплопередачі огорожувальної конструкції, Вт/(м²·°С);

$A_{\text{огр}}$ - розрахункова площа поверхні огорожувальної конструкції, м²;

$t_{\text{в}}$ - розрахункова температура внутрішнього повітря;

$t_{\text{н}}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря;

n - коефіцієнт, що враховує положення огорожувальної конструкції щодо зовнішнього повітря і зменшує різницю температур для огорожувальної конструкцій, що не стикаються із зовнішнім повітрям [15], приймається за табл. 3.4.

β - коефіцієнт, що враховує додаткові тепловтрати.

Таблиця 3.4 - Коефіцієнти, що враховують положення огорожуючих конструкцій.

Зовнішня огорожа житлової будівлі	Δt^H	n
Зовнішня стіна	4	1
Горищне перекриття	3	1
Безгорищне покриття (плоска покрівля)	3	0,9
Перекриття над неопалюваним підвалом з світловими прорізами у стінах	2	0,75

Розрахунок тепловтрат стін з дерев'яного каркасу із заповненням скловатою.

Втрати тепла через стіни розраховуються за наступною формулою:

$$Q_{\text{стін}} = k_{\text{стін}} \cdot F_{\text{стін}} (t_{\text{зовн}} - t_{\text{нар}}), \quad (3.44)$$

де $Q_{\text{стін}}$ - тепловтрати, Вт;

$k_{\text{стін}}$ - коефіцієнт теплопередачі стіни, Вт/(м²*град.С);

$F_{\text{стін}}$ - площа стіни;

$t_{\text{вн}}$ - температура повітря всередині, приймаємо 21 град. С;

$t_{\text{зовн}}$ - температура повітря зовні, для м. Дніпро -12 град. С;

$k_{\text{стін}}$ розраховується за формулою:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}} \quad (3.45)$$

де k - коефіцієнт теплопередачі стіни, Вт/(м²* град.С);

d_1 – товщина першого шару стіни (наприклад, газоблок), м;

λ_1 - коефіцієнт теплопровідності першого шару стіни, Вт/(м*К);

d_2 – товщина другого шару стіни (наприклад, утеплювач), м;

λ_2 - коефіцієнт теплопровідності другого шару стіни Вт/(м*К);

d_n, λ_n - якщо є ще шари - за принципом d_1 та λ_1 ;

$\alpha_{вн}$ – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря до стіни; приймаємо рівним 8,7.

$\alpha_{нар}$ - коефіцієнт тепловіддачі від стіни до зовнішнього повітря; для зовнішніх стін без повітряного прошарку приймаємо рівним 23; для зовнішніх стін з повітряним прошарком (сайдинг і т.п.), а також для стін з неопалюваними приміщеннями приймаємо 12.

В нашому випадку для каркасної стіни ми обчислюємо коефіцієнт теплопередачі методом моделювання вузла comsol величина, зворотня опору теплопередачі, знайденому з теплового потоку, що проходить через огорожу за заданих граничних умовах:

$$Q_{\text{ОГОР стіна}} = A_{\text{огор}} \cdot k_{\text{огор}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot (1 + \sum \beta) = 44 \cdot \frac{1}{5,49} \cdot (21 + 12) * 1 = 424,77 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{ОГОР д. стіна}} = A_{\text{огор}} \cdot k_{\text{огор}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n \cdot (1 + \sum \beta) = 32 \cdot \frac{1}{5,49} \cdot (21 + 12) * 1 = 308,9 \text{ Вт};$$

Разом тепловтрати по приміщенню:

Зовнішні стіни: $424,77 * 2 + 308,9 = 1158,44 \text{ Вт};$

Вікна -2291,9 Вт;

Покрівля – 749,6 Вт;

Підлога – 749,6 Вт;

Таблиця 3.5 – Тепловтрати для двох конструктивних систем, що захищають конструкції

Конструктивне виконання огорожуючих конструкцій	Трансмисійні тепловтрати будівлі, Вт
Дерев'яний каркас із заповненням утеплювачем 200 мм	4949,54
Стіна з газоблоку 300 мм та шар утеплювача 100 мм	5064,7

Проектування системи опалення теплою підлогою.

В ході теплотехнічного розрахунку теплої підлоги зазвичай вирішується одне з наступних завдань:

а) визначення необхідної середньої температури теплоносія по відомому питомому тепловому потоку, отриманому в наслідок розрахунку теплопотреби приміщення;

б) визначення питомої теплового потоку від теплої підлоги за відомої середньої температури теплоносія.

У випадку, коли підлогове опалення використовується як єдине джерело тепла, на першому етапі визначається приміщення з найбільшими питомими тепловтратами. Для цього приміщення виконується розрахунок за схемою «а», тобто визначається потрібна середня температура теплоносія. Для інших приміщень ця температура приймається як задана величина, і подальші розрахунки ведуться за схемою «б». В обох випадках визначальним критерієм розрахунку є температура поверхні підлоги, яка має перевищувати нормативні величини [4].

Для коректного теплотехнічного розрахунку теплої підлоги необхідно мати наступні вихідні дані:

- пошарова конструкція «пирога» теплої підлоги як над трубами, так і під ними;
- розрахункова (необхідна) температура повітря в опалювальному приміщенні;
- коефіцієнти теплопровідності кожного шару «пирога» теплої підлоги;
- температура повітря в приміщенні, що знаходиться нижче. У випадку пристрою теплої підлоги по ґрунту - розрахункова температура зовнішнього повітря в зимовий період;
- призначення опалювального приміщення (для визначення максимально допустимої температури поверхні підлоги);
- зовнішній діаметр та товщину стінок труб теплої підлоги;
- коефіцієнт теплопровідності матеріалу стін труб теплої підлоги.

Слід зазначити, що за західними нормативами температура поверхні підлоги допускається вищою, ніж за українськими нормами, що слід враховувати під час використання зарубіжних розрахункових програм. Існує кілька методик теплотехнічного розрахунку теплих підлог. В кожній з них закладено низку припущень та обмежень, які також потрібно врахувати під час проектування. Далі покажемо деякі з використовуваних способів розрахунку.

Для вибору використано табличний метод розрахунку теплої підлоги

Таблиця 3.6 - Тепловий потік від труб теплої підлоги (втрати тепла в нижньому напрямі не перевищують 10%). Покриття підлоги - керамічна плитка ($\lambda = 1,00$ Вт/м °С) завтовшки 12 мм. Коефіцієнт теплопровідності стяжки – 0,93 Вт/м °С. Товщина стяжки – 40 мм від верху труби.

Середня температура теплоносія, °С	Температура повітря у приміщенні, °С	Питомий тепловий потік у напрямку вгору, Вт/м ²
32,5	20	67
35	20	81
37,5	20	94
40	20	107

Питомий тепловий потік у напрямку вгору складе 81 Вт/м² при товщині стяжки над трубою 40 мм, температурі теплоносія 35 °С при розрахунковій температурі повітря 20 °С, крок труб 20 см.

Площа опалювальної підлоги – 88 м, отже тепловий потік дорівнює $88 \cdot 81 = 7128$ Вт, що із запасом перекриває розрахункові трансмісійні тепловтрати приміщення.

3.3 Обґрунтування економічної ефективності та раціональності застосування різних конструктивних та опалювальних систем

Розглянемо витрати на будівництво та експлуатацію двох варіантів конструктивних та опалювальних систем, з метою порівняння та вибору найбільш оптимального за вартістю варіанта.

Варіант 1: Одноповерховий каркасний будинок

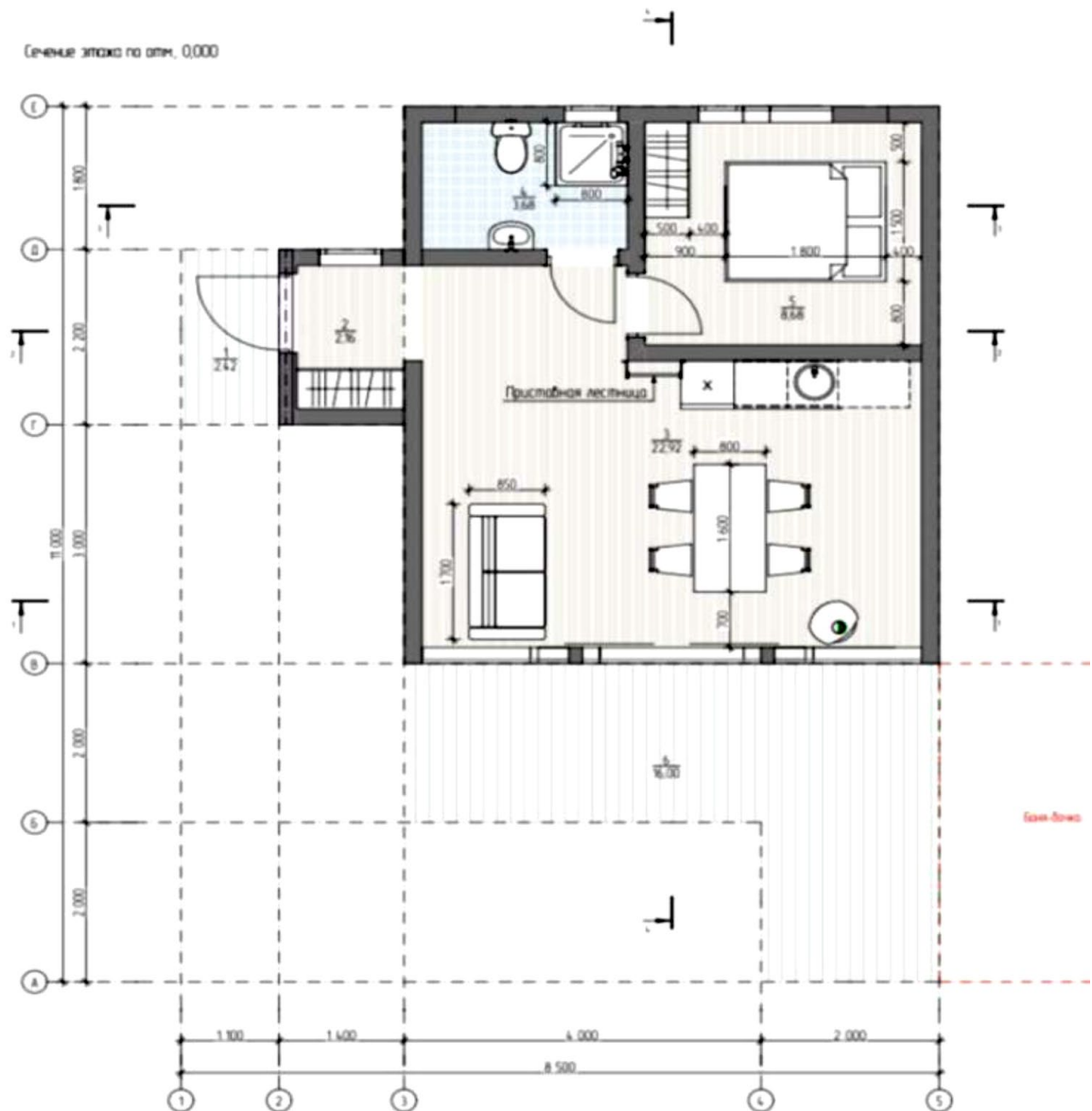


Рисунок 3.4 – Габаритне креслення планування каркасної будівлі.
Варіант 1.

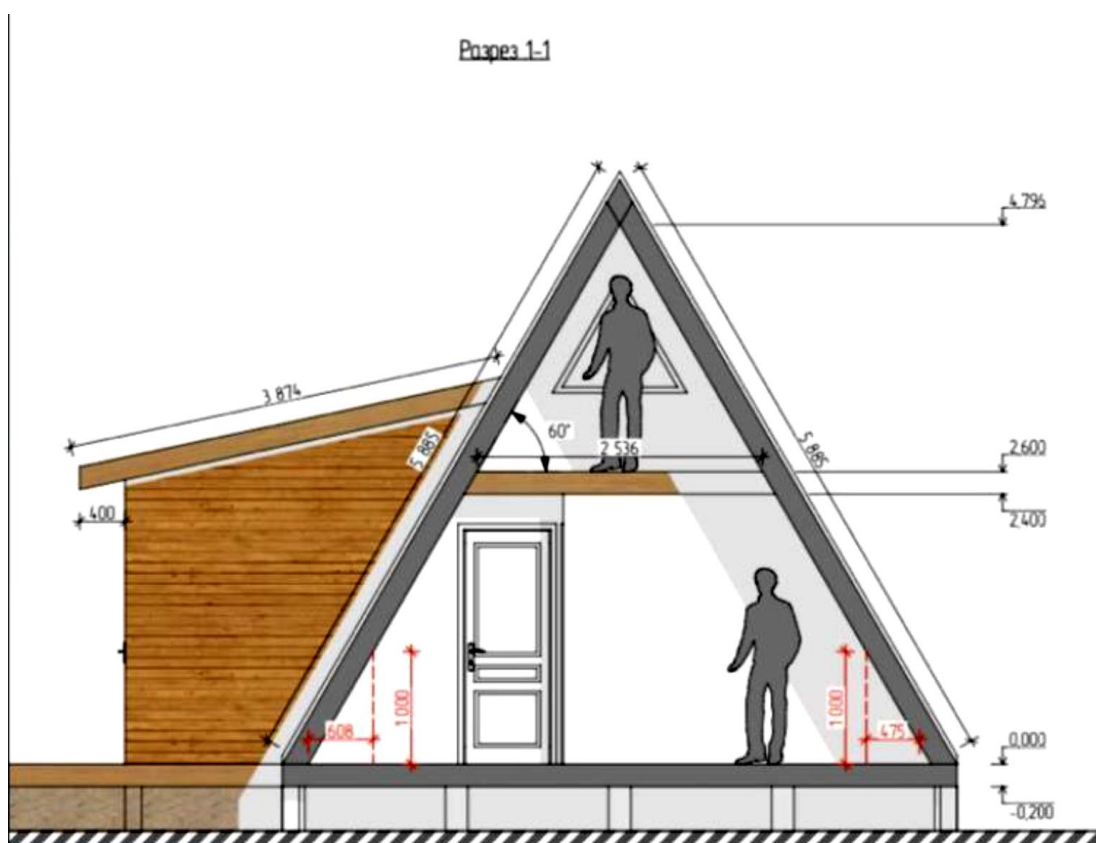


Рисунок 3.5 – Габаритне креслення планування каркасної будівлі.
Розріз 1-1.

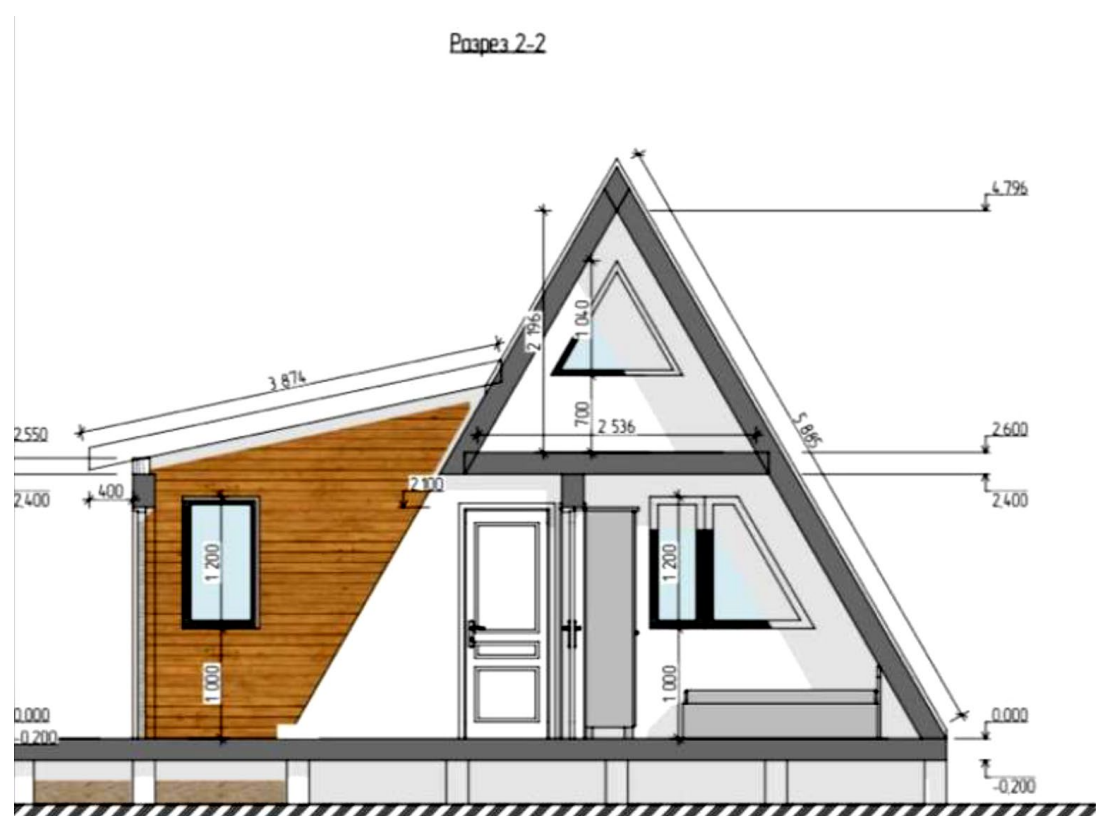


Рисунок 3.6 - Габаритне креслення планування каркасної будівлі.
Розріз 2-2.

Кошторисна вартість будівництва такого будинку становить 1 947 430 гривень, що досить економічно, але й будинок при цьому порівняно невеликого розміру.

Варіант 2. Одноповерховий будинок з огорожувальними конструкціями газоблоку

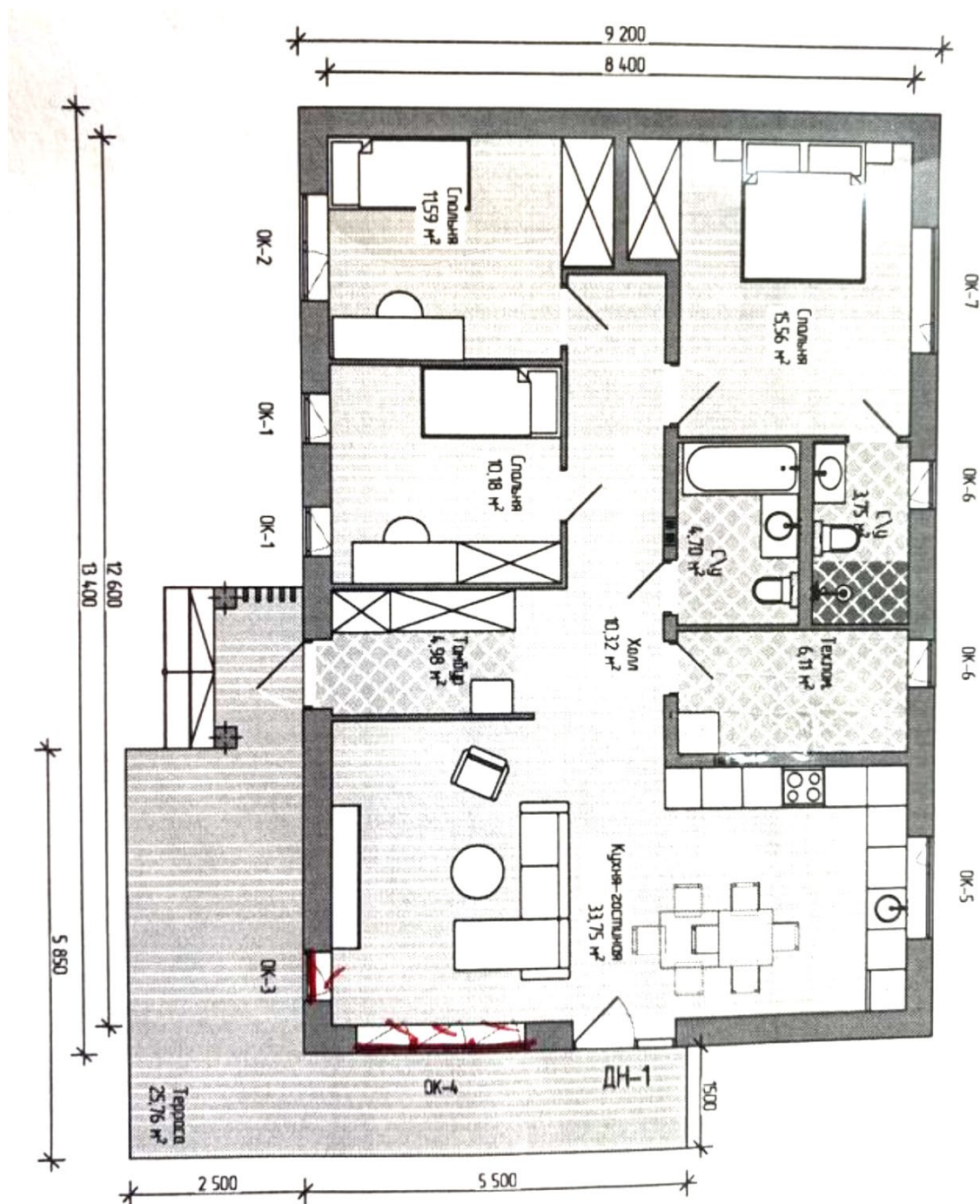


Рисунок 3.7 – Габаритний план будівлі з газоблоку. Варіант 2.

Кошторисна вартість такого варіанту становитиме 4333088,362 гривень.

Як видно з поданих матеріалів, витрати на будівництво «каркасника» та будівництва будинку з газоблоку при перерахунку на квадратний метр виходять практично ідентичними. Із витрат у графі «опалення» можна побачити, що наразі набагато дешевше передбачити систему опалення з електричними конвекторами, ніж влаштування водяної системи опалення теплою підлогою. Тим не менш, не варто розглядати вартість на будівництво як ключовий фактор вибору конструктивної та опалювальної системи. В умовах довгострокової експлуатації будівлі більше високого значення набувають фактори експлуатаційної вартості (витрат на опалення в зимовий період) та фактор надійності системи. З розділу 3.2 робимо висновок, що конструктивна система з масивних конструкцій з більшою теплоємністю, а також система стяжки з теплою підлогою дозволяють довше зберігати тепло у будівлі.

Порівняння опалювальної системи теплої підлоги та радіаторів з точки зору економічної та практичної ефективності.

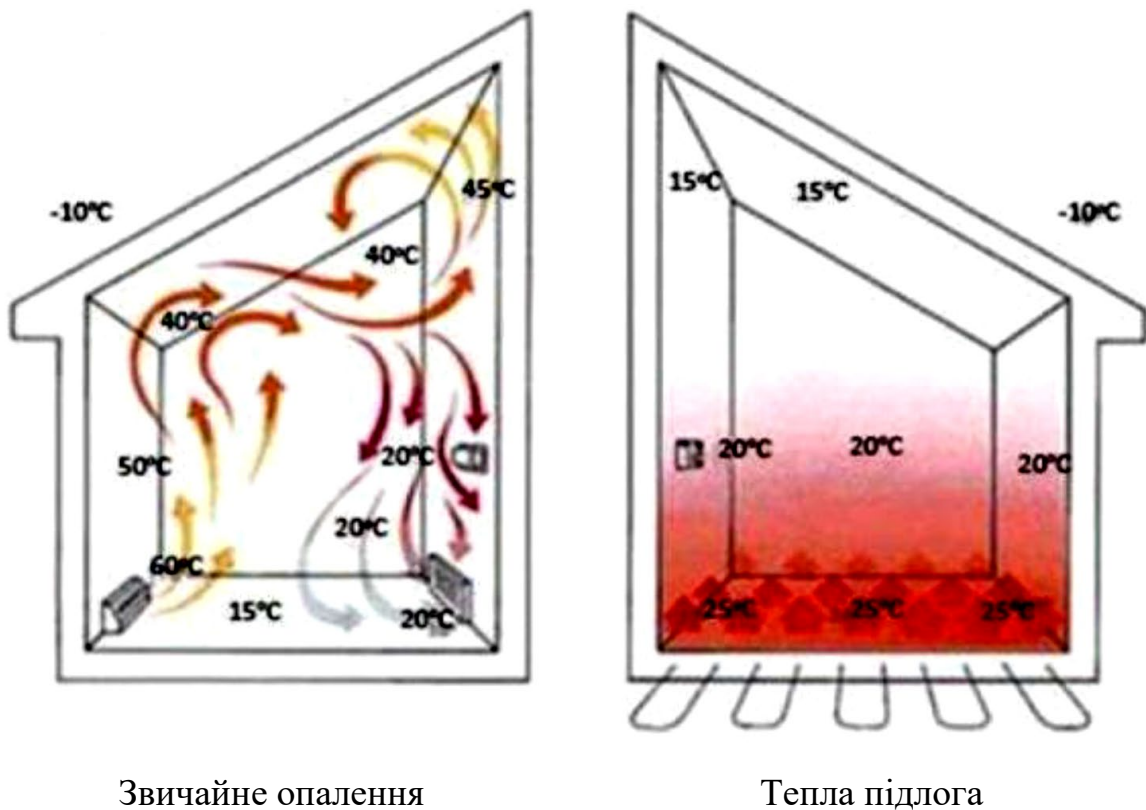


Рисунок 3.8 – Температурне розподілення тепла за різними системами опалення

Основні технічні характеристики водяної теплої підлоги:

1. Тепловіддача. Середня тепловіддача водяної теплої підлоги дорівнює 50 Вт/кв. м. Ця величина визначена за багатьма розрахунковими величинами різних проектів та визнана найбільш коректною для середніх умов. Значення в 2 рази менша, ніж прийнята середня величина необхідної тепловіддачі для радіаторних систем, яка дорівнює 0,1 кВт/кв. м., що свідчить про більшу ефективність системи та менших втрат [3].

2. Максимальна температура теплоносія. В цьому випадку величина вихідної температури не така важлива, оскільки робоча температура труб досягається шляхом підмішування в прямий потік охолодженої об'ратки. Робоча температура теплоносія завжди нижча, а ніж на прямому потоці магістралі, інакше у приміщенні буде дуже спекотно. Звичайна температура суміші знаходиться в районі 50 градусів, завдяки чому, температура теплої водяної підлоги, враховуючи втрати і охолодження в контурах, дозволяє отримувати комфортні умови в кімнаті.

3. Робочий та максимальний робочий тиск. Оптимальною величиною робочого тиску прийнято вважати 1,5...2 атм., опресувального – 4...5 атм. Слід враховувати, що опресувальний тиск створюється лише у системі контурів, так як власний котел не розрахований на тиск понад 3 атм.

4. Теплова потужність водяної теплої підлоги. Визначається шляхом поділу величини тепловтрат на площу приміщення. Проблема в тому, що площа визначається легко, а тепловтрати — складно, тут повинні враховуватися: спосіб монтажу теплої підлоги, тип покриття, тип побудови, матеріал труб. Простіше всього звернутися за допомогою онлайн-калькулятора, який визначає теплову потужність за своїми алгоритмами, варто лише підставити власні дані - площа, матеріал труб, крок укладання і т.д.

Радіатори. Основні технічні характеристики радіаторів опалення:

1. Тепловіддача. Залежно від матеріалу приладу величина тепловіддачі змінюється. Наприклад, у чавунних радіаторів тепловіддача у 4 рази менше,

ніж у алюмінієвих та в 6 разів нижче, ніж у біметалічних. Тому вказати точні цифри без прив'язки до розміру приладу, приміщення та температури теплоносія неможливо. Існує середня величина - 0,1 кВт/кв. м., яка служить для визначення необхідної тепловіддачі опалення для певних приміщень. Її використовують для зразкового визначення потужності приладу під час вибору. Кожен прилад має свою величину тепловіддачі, зазначену у паспорті. Головне уточнити, мається на увазі загальне значення, або на одну секцію.

2. Максимальна температура теплоносія. Якщо постачання здійснюється від мережі ЦО, то діють встановлені нормативи, що зв'язують температуру теплоносія з температурою повітря на вулиці.

Наприклад, при -15 градусів температура води у магістралі ЦО становить 105 градусів. При транспортуванні вона падає на якусь величину, але в у будь-якому випадку вода повинна витримувати зворотнє транспортування за для уникнення перемерзання труб шляхом прямування. Якщо виходити з практичних міркувань, то температура радіаторів має забезпечувати 18-20 градусів у кімнаті (це встановлена норма, для когось це прохолодно), що залежить від розмірів кімнати, а також величини радіатора. При цьому розрахункові величини максимальних температур теплоносія набагато вище, наприклад, для чавунних радіаторів приймається 150 градусів, для біметалічних - 130 градусів, сталеві мають межу 110...120 градусів.

3. Робочий та максимальний робочий тиск. Значення декілька відрізняються у приладів з різних матеріалів, в середньому робочий тиск 8...11 атм., опресувальний – 14...16 атм. Це заявлені паспортні значення, які у реальності завжди відповідають даним величинам. В мережі робочий тиск часто занижений і становить близько 6...7 атм, опресувальний досягає 15 атм. Необхідно пам'ятати, що при живленні від ЦО доводиться використовувати тиск, який забезпечує мережу, що вимагає контролю та регулювання. Якщо робочі параметри радіаторів не відповідають наявним значенням, слід застосовувати понижуючі редуктори чи діафрагми.

4. Теплова потужність. Теплова потужність радіатора опалення дорівнює витраті теплоносія. Більш складні способи визначення можуть лише ускладнити всі розрахунки, набагато простіше використовувати або паспортні дані, чи величину витрати теплоносія. Інший варіант - розрахунок за обсягом кімнати. Потреба приміщення в обігріві обчислюється множенням об'єму кімнати на 41 Вт (величина енергії на 1 куб. м. об'єму). Тобто знаючи розрахункову величину потужності нагрівача можна підібрати відповідний за параметрами.

Порівняння систем з погляду людського комфорту

При проектуванні опалювальних систем, особливо якщо справа стосується проектування приватного будинку, де важливо ухвалити правильні рішення надовго і для себе – варто ознайомитись з таким аспектом норм проектування як критерії теплового комфорту.

В разі використання радіаторів з високотемпературним теплоносієм отримуємо систему опалення з високорухомим конвективним тепловим потоком з рахунку високого перепаду температур. До того ж, високотемпературні опалювальні прилади створюють високий градієнт теплового випромінювання, що може бути джерелом дискомфорту та відхилення від допустимого перепаду температур поверхонь огорожувальних конструкцій біля опалювального приладу та повітря поблизу. По опалювальному приміщенню простежується різниця температур по мірі віддалення від опалювального приладу, а також все тепло концентрується у верхній частині приміщення (Рис. 3.9).

У разі використання теплої підлоги з низькотемпературним теплоносієм - маємо ряд переваг за перерахованими вище параметрами. Розподіл температур в даному випадку найбільш комфортно для людини, конвективні потоки повітря знижуються за рахунок низького градієнта температур і великої площі випромінюючої поверхні, рівномірно розподіленої по усьому приміщенню.

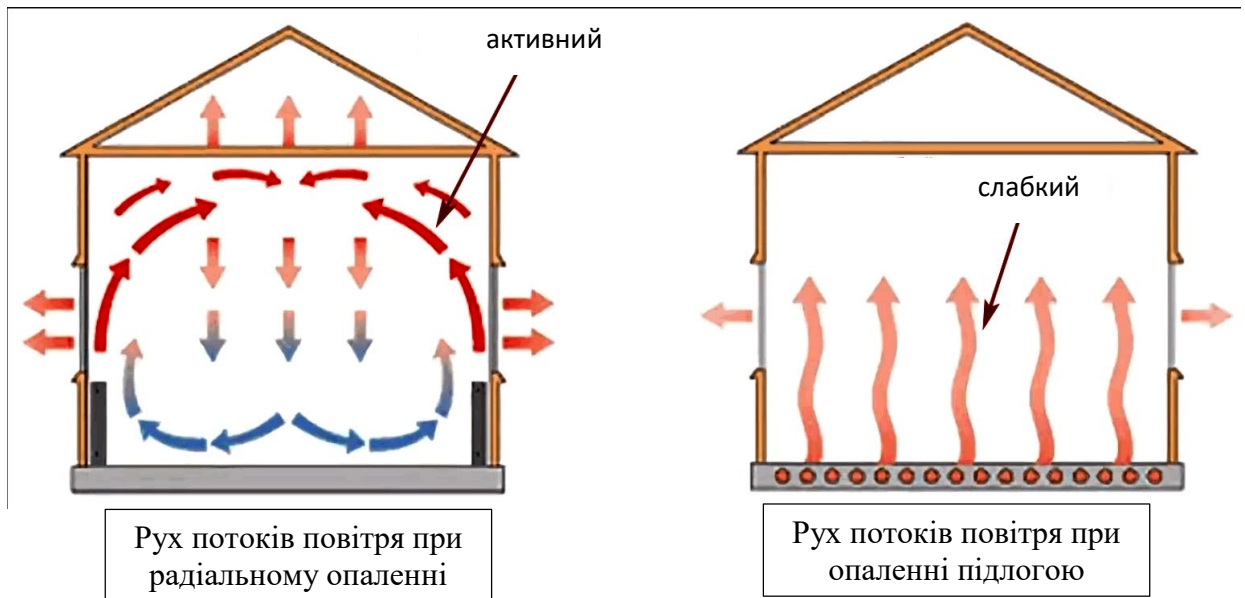


Рисунок 3.9 – Рух конвективних потоків системи з радіаторним опалення і опаленням підлогою

Порівняння систем з погляду економічності.

1. При порівнянні експлуатаційних витрат на дані системи опалення, можна зробити деякі висновки про те, що система опалення тепла підлога виявиться економічнішою, ніж система опалення радіаторами за тих самих умов.

2. Тепла підлога працює за принципом випромінювання та віддає тепло знизу вгору. Ефективна робоча висота прогріву теплої підлоги становить 200...220 см, що відповідає висоті людини, а значить тепло витрачається найбільш оптимально.

3. Тепла підлога є низькотемпературною опалювальною системою і температура теплоносія становить у середньому 35...40 градусів. Радіатори в свою чергу, в основному нагріваються до 70...85 градусів. Однозначна перевага з точки зору витрат на нагрівання теплоносія, а також теплового комфорту з урахуванням температурного градієнта від опалювального приладу.

4. Інерційність теплої підлоги. Конструкція стяжки з теплою підлогою прогрівається довше, ніж відкриті опалювальні прилади, але накопичене тепло є запасом у разі екстреного відключення тепlopостачання.

5. Встановлення опалювальних приладів під вікнами. В даній роботі раніше розглянуто питання про розміщення опалювальних приладів під вікнами та деякі наслідки цього рішення щодо додаткових тепловтрат у цих зонах.

6. Мінімальна конвекція теплої підлоги. Цей факт не лише зменшує кількість пилу в повітрі. Насамперед, він зменшує тепловтрати. Це відбувається тому, що стояче повітря є найкращим утеплювачем, а основне перенесення тепла всередині кімнати відбувається за допомогою повітряних

Потоків [9]. В порівнянні з площею приміщення поверхня радіаторів порівняно мала. Це створює необхідність нагрівання теплоносія, що подається, до високих температур (70...90 °C). При такій високій температурі поверхні, опалювальний прилад здебільшого не випромінює тепло, а передає тепло за допомогою конвекції.

Поле виглядає так: нагріте від радіатора повітря природнім способом прямує вгору під стелю, де спочатку маючи температуру близько + 30 °C, охолоджуючись повітря опускається вниз, поступово втрачаючи свою температуру. В районі ступнів температура повітря становить 17...20 °C. Температура підлоги при цьому – 16...17 °C. На рисунку 3.8 видно, що в приміщенні постійно підтримується циркуляція повітря, яка по-перше переносить пил і зважені частки, а по-друге, що важливо, на циркуляцію витрачається певна теплова робота. Тобто радіатори не просто нагрівають повітря, а й надають йому енергію руху. Нічого не з'являється з нізвідки і на циркуляцію повітряної маси витрачається додатково від 4 до 7 % всієї теплової енергії [27].

Найголовнішим недоліком радіаторів є те, що поза корисного об'єму приміщення температури порівняно високі (до 30 °C, виходячи з проведених розрахунків при моделюванні в Comsol), а значить в побутовому плані

нагрівається повітряна зона з мінімально можливим знаходженням у ній людей, цьому навпаки значно збільшує втрати тепла через стелю та на вентиляцію.

Таким чином, опалення радіаторами вимагає прогрівання всього об'єму приміщення певним чином. Температури приміщення за висотою в середньому розташовуються так: 1,5 метра над рівнем підлоги (60 % обсягу приміщення) – середня температура близько +20 °С, рівень підлоги від 1,5 м до 2,5 м (40% приміщення) – середня температура близько +26 °С. Таким чином, середня фактична температура у приміщенні обсягом V можна визначити за рівнянням:

$$T_{\text{сер. рад.}} = (0,6 \cdot 22 + 0,4 \cdot 26) = 24 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для того, щоб почати розглядати системи променистого опалення низькотемпературним теплоносієм, (в даному випадку система теплої водяної підлоги) необхідно ввести ще один важливий фізичний термін – коефіцієнт опроміненості - це та порція теплової енергії, яка здатна випромінюватись на ваше тіло з якоїсь поверхні. Очевидно, що з поверхні підлоги випромінювати тепло на наше тіло складніше ніж із поверхні стін. Довідкові значення коефіцієнтів опроміненості на поверхню тіла людини становлять: від підлоги $\sim 0,130$, з поверхні стіни $\sim 0,240$ [12].

Якщо, наприклад, потужність системи теплої підлоги в приміщенні складає 500 Вт, то при її роботі на тіло людини буде безпосередньо випромінювати близько 65 Вт (поповнюючи близько 60 % всіх теплових втрат організму), решта тепла передається за допомогою теплопередачі через стопи та конвекцією. Розподіл температур повітря по приміщенню досить рівне і в середньому становить близько 20 °С. Циркуляція повітря мінімальна, тепло між повітряними шарами передається переважно дифузійно.

Таблиця 3.7 – Приблизне порівняння ефективності опалювальних систем - тепла підлога та радіатори

Тип системи	Середня температура по приміщенню, °С	Витрати на циркуляцію і перетікання повітря, %	Ефективність, %	Порівняльні тепловтрати будівлі, %
Радіатори	24	4	0	100
Тепла підлога	20	0	21	79

Фізичний зміст значень, наведених у таблиці зводиться до того, якщо одне і те ж приміщення опалювати до необхідних комфортних температур, поперемінно трьома різними системами, то найбільші втрати тепла будуть біля приміщення з радіаторами, приміщення з водяною теплою підлогою вимагатиме на 21 % енергії менше. Приміщення ж із теплим плінтусом дозволить на 24 % зменшити потребу у теплоті. І все це завдяки більш раціональному розподілу тепла по обсягу будівлі.

Порівняння витрат на будівництво та експлуатацію

Для порівняння витрат будемо використовувати два варіанти опалювальної системи: водяна тепла підлога та електричні конвектори. Використовуються саме ці дві системи, т.я. порівняння витрат на встановлення водяної теплої підлоги з витратами на встановлення радіаторів не дасть великої різниці, витрати будуть приблизно однакові, т.я. монтаж опалювальних приладів та сама їхня вартість досить висока. Інші переваги теплої підлоги над радіаторами наведені раніше у цьому розділі.

Таблиця 3.8 – Порівняння витрат на систему тепла підлога та систему електричні конвектори

Система	Кошторисна вартість, грн.
Тепла підлога	137 293
Електричні конвектори	24 496

З порівняння бачимо, що система тепла підлога досить вартісна, до того ж займає в рази більше часу на монтаж.

Розглянемо витрати на експлуатацію систем опалення:

Конвектори

У нашому випадку, при розрахункових тепловтратах будівлі (приміщення) $Q = 4949,54$, необхідна установка як мінімум двох конвекторів потужністю 2 кВт кожний. Таким чином, щоб розрахувати витрати на опалення скористаємося формулою:

$$Z_1 = P_1 \cdot n \cdot Z_{оп} \cdot (T_1 \cdot C_1 + T_2 \cdot C_2) \cdot K_1 \quad (3.42)$$

Де Z_1 = витрати на опалення для температури повітря найбільш холодної п'ятиденки, °С.

P_1 - номінальна потужність опалювального приладу, кВт;

n - кількість опалювальних приладів, шт.;

$Z_{оп} = 180$ діб., Тривалість опалювального періоду, м. Дніпро;

T_1 – кількість годин опалення за денним тарифом;

C_1 – вартість 1 кВт за денним тарифом;

T_2 – кількість годин опалення за нічним тарифом;

C_2 – вартість 1 кВт за нічним тарифом;

K_1 - коефіцієнт, що враховує відношення кількості днів з розрахунковою температурою до кількості днів із середньою температурою холодного періоду, за кліматичних даних м. Дніпро, 2022 р.

$$Z_1 = 2 \cdot 3 \cdot 180 \cdot (16 \cdot 4 + 8 \cdot 1,7) \cdot 0,32 = 21852 \text{ грн.}$$

За цією формулою розрахована вартість опалення у дні з розрахунковою температурою повітря (-12 °С) за [5].

Для решти періоду скористаємося формулою:

$$Z_2 = P_2 \cdot n \cdot Z_{от} \cdot (T_1 \cdot C_1 + T_2 \cdot C_2) \cdot K_2 \quad (3.43)$$

Де Z_2 = витрати на опалення для середньої температури повітря період із середньодобової температури повітря нижче 0°C [5] на рік, грн.

P_2 – середня потужність опалювального приладу з урахуванням роботи за температурним датчиком, кВт;

n - кількість опалювальних приладів, шт.

$Z_{от} = 180$ діб., тривалість опалювального періоду для м. Дніпро.

T_1 – кількість годин опалення за денним тарифом;

C_1 – вартість 1 кВт за денним тарифом;

T_2 – кількість годин опалення за нічним тарифом;

C_2 – вартість 1 кВт за нічним тарифом;

K_2 -коефіцієнт, що враховує відношення кількості днів із середньою температурою холодного періоду до кількості днів із розрахунковою температурою за кліматичними даними м. Дніпро за 2022 р.

$$Z_2 = 1,14 \cdot 2 \cdot 180 \cdot (16 \cdot 4 + 8 \cdot 1,7) \cdot 0,68 = 26468 \text{ грн}$$

Таким чином, витрати на опалення складають:

$$Z_1 + Z_2 = 21852 + 26468 = 48050 \text{ грн}$$

Тепла підлога.

Для розрахунку витрат на опалення теплою підлогою буде використана та ж формула, але з деякими відмінностями: кількість денних годин на використання системи опалення буде прийнято з коефіцієнтом, що враховує використання буферної ємності, яка нагрівається по нічному тарифу до високих температур ($\sim 95^\circ\text{C}$), а вдень, використовується система підмішування води в систему опалення для підтримання розрахункової температури теплоносія 35°C . Таким чином, у денний час, витрати на електроенергію мінімальні порівняно зі стандартним режимом опалення, т.я. електрика необхідна тільки для роботи систем автоматичного контролю, електронасоса, та при необхідності, підтримання температури в буферній ємності (теплоакумулятор).

Теплоаккумулятор – це прилад системи опалення, який приймає на себе теплову енергію, накопичує її, з метою подальшої віддачі в систему опалення.

Як працює теплоаккумулятор із електричним котлом. Основна ідея завантаження буфера криється в потужності електрокотла, підключення його в нічний тариф. Вночі, електрокотел, що має підвищену потужність може не тільки прогрівати теплоносії для системи опалення, але і при перевищенні теплової енергії запитуватиме вночі буферну ємність. Прогрітий вночі теплоносії, згодом, віддаватиметься в опалювальну систему вдень, коли вартість електроенергії вже буде тарифікуватися за дорожчим тарифом. При цьому сам електрокотел не буде вмикатися. Таким чином, можна заощадити свої гроші, штучно збільшивши інтервал енергоспоживання в нічному, дешевому тарифі.

При великій потужності електричного котла весь потенціал генератора тепла досить швидко прогріватиме буфер.

Розрахунок об'єму теплоаккумулятора.

$$Q = mc (T_2 - T_1), \quad (3.44)$$

де: Q - накопичена теплота;

m - маса води в баку;

c - питома теплоємність теплоносія в Дж/(кг*К), для води рівна 4200;

T_2 і T_1 - початкова та кінцева температури теплоносія.

У нашому випадку ми маємо низькотемпературну систему опалення теплою підлогою з температурою теплоносія 35 °С. Тобто. при опусканні температури в баку акумулятора нижче 35 °С, ми почнемо відчувати нестачу тепла, тобто замерзати.

90 – це наші T_1

35 - це T_2

21 – температура у приміщенні. Вона нам у розрахунку не знадобиться.

Допустимо, у нас тепловий акумулятор на 1000 літрів (1м³).

Розрахуємо запас тепла:

$$Q = 1000 \cdot 4200 \cdot (90 - 35) = 231000000 \text{ Дж (231000 кДж)}$$

$231000 / 3600 = 64,2 \text{ кВт}$. При тепловтратах – 5 кВт такого запасу вистачить практично весь день.

Тепер розглянемо витрати на опалення із використанням теплоаккумулятора та електрокотла 10 кВт. Потужність тенів – 10 кВт. 5 кВт йде на поточний обігрів будинку в нічний час, 5 кВт ми можемо закласти на день. Нічний тариф із 23-00 до 07-00, тобто 8:00 годин.

$8 \cdot 5 = 40 \text{ кВт}$ - тобто, вдень протягом 8-ми годин ми будемо користуватися нічним тарифом.

Таблиця 3.9 – потужність електричного котла та запас енергії можливий в теплоаккумуляторі на 1000 л

Потужність електрокотла, кВт	Запасна потужність в теплоаккумуляторі, кВт	Час використання запасного тепла, год	Витрати на опалення по денному тарифу грн/добу	Витрати на опалення по нічному тарифу грн/добу	Разом витрати на опалення, грн/добу	Витрати на опалення без використання теплоаккумулятора, грн/добу	% економії
10	40	8	160	136	296	388	24
15	64,2	12,84	63,2	177,14	240,34		38

Розрахунки показують дійсну економію на опаленні при використанні теплової акумуляції за нічним тарифом. Для подальшого порівняння впливу теплового аккумулятора при більш точному розрахунку, що враховує різні середні температури опалювального сезону – візьмемо коефіцієнт X, % економії під час використання теплоаккумулятора.

Витрати на опалення теплою підлогою:

$$Z_1 = P_1 \cdot X \cdot Z_{оп} \cdot (T_1 \cdot C_1 + T_2 \cdot C_2) \cdot K_1 \quad (3.45)$$

Де Z_1 - витрати на опалення для температури повітря найбільш холодної п'ятиденки, °С.

P_1 - використовується потужність системи тепла підлога, кВт;

X - коефіцієнт, що враховує економію від використання теплоаккумулятора;

$Z_{\text{оп}} = 180$ діб., тривалість опалювального періоду м. Дніпро;

T_1 – кількість годин опалення за денним тарифом, з урахуванням запасеної теплоти при потужності електрочотла 15 кВт та об'ємі буферної ємності 1000 л;

C_1 – вартість 1 кВт за денним тарифом;

T_2 – кількість годин опалення за нічним тарифом, з урахуванням запасеної теплоти при потужності електрочотла 15 кВт та об'ємі буферної ємності 1000 л;

C_2 – вартість 1 кВт за нічним тарифом;

K_1 - коефіцієнт, що враховує відношення кількості днів з розрахунковою температурою до кількості днів із середньою температурою холодного періоду, за кліматичними даними м. Дніпро за 2022 р.

$$Z_1 = 5 \cdot 0,62 \cdot 180 \cdot (3,16 \cdot 4 + 20,84 \cdot 1,7) \cdot 0,32 = 10490 \text{ грн.}$$

Для решти періоду:

$$Z_2 = P_2 \cdot X \cdot Z_{\text{от}} \cdot (T_1 \cdot C_1 + T_2 \cdot C_2) \cdot K_2, \quad (3.46)$$

де Z_2 - витрати на опалення для середньої температури повітря в період із середньодобовою температурою повітря нижче 0°C [5] на рік, грн.

P_2 – усереднена потужність системи тепла підлога з урахуванням роботи температурного датчика, кВт;

n - кількість опалювальних приладів, шт.

$Z_{\text{оп}} = 180$ діб., тривалість опалювального періоду м. Дніпро;

X - коефіцієнт, що враховує економію від використання теплоаккумулятора;

C_1 – вартість 1 кВт за денним тарифом;

T_2 – кількість годин опалення за нічним тарифом;

C_2 – вартість 1 кВт за нічним тарифом;

K_2 - коефіцієнт, що враховує відношення кількості днів із середньою температурою холодного періоду до кількості днів із розрахунковою температурою за даними кліматичних даних м. Дніпро за 2022 р.

$$Z_2 = 2,85 \cdot 0,62 \cdot 180 \cdot (0 \cdot 4 + 24 \cdot 1,7) \cdot 0,68 = 10785 \text{ грн};$$

Таким чином, витрати на опалення:

$$Z_1 + Z_2 = 10490 + 10785 = 21275 \text{ грн};$$

З отриманих результатів бачимо, що витрати на опалення при використанні системи тепла підлога з установкою буферної ємності дозволяє заощадити до 66% на опаленні. $(\frac{48050}{21275} \cdot 100\%)$.

Обчислимо термін окупності для системи теплу підлогу, виходячи з порівняно економії на експлуатацію із системою опалення електричними конвекторами:

$$T_{OK} = C_{ТП} / Z_{ТП} - Z_K, \text{ років, де} \quad (3.47)$$

T_{OK} - термін окупності, років

$C_{ТП}$ – вартість монтажу системи тепла підлога

$Z_{ТП}, Z_K$ – витрати на опалення на рік для теплої підлоги та конвекторами

Відповідно:

$$T_{OK} = 137293 / 48050 - 21275 = 5,1 \text{ років}$$

Таким чином, система окупає себе за п'ять років, якщо порівнювати її з опаленням конвекторами.

Так, за графіком наочно видно, що через 5 років конвектори стануть обходитися дорожче, ніж система теплої підлоги.

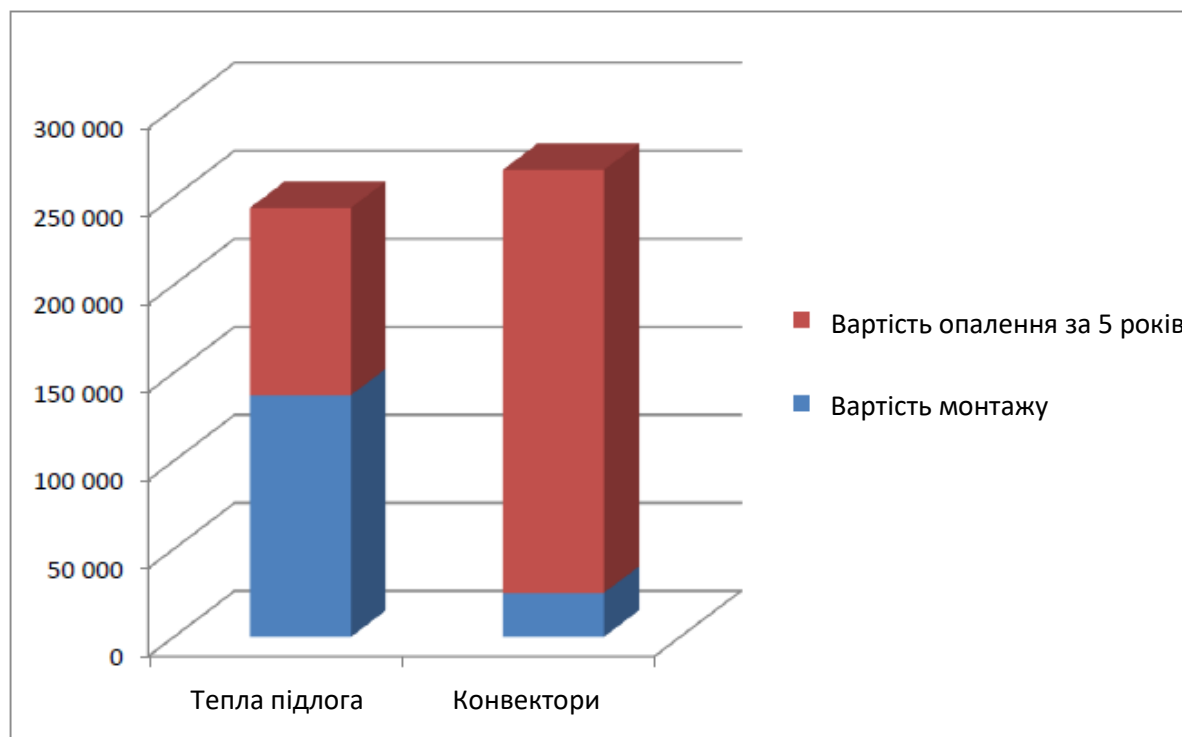


Рисунок 3.10 – Порівняння витрат на монтаж та експлуатацію двох систем за 5 років

ВИСНОВКИ

В представленій магістерській роботі було досліджено заощадження енергії під час будівництва та експлуатації житлових будівель.

Розглянуто питання енергоефективності, енергозбереження та економічної ефективності заходів щодо енергозбереження. Було проведено аналіз ситуації, що склалася у сфері енергоефективного будівництва на світовому та українському ринках, зафіксовано основні труднощі та проблеми розвитку енергоефективного будівництва в Україні. Розглянуто основні архітектурні, конструктивні та інженерні рішення, що сприяють зберіганню, накопиченню та виробництву енергії, вивченню їх особливостей, переваг та недоліків кожного з найбільш популярних рішень щодо енергоефективності.

Було проведено теоретично-методичні дослідження з метою визначення найбільш ефективних опалювальних та конструктивних систем для індивідуального житлового будівництва. Як об'єкт дослідження було обрано саме індивідуальне житлове будівництво із застосуванням системи опалення житла на електриці, за відсутності в житловому приміщенні централізованого газопостачання.

За результатами аналізу ринку індивідуального житлового будівництва, наведеного в даному дослідженні, було виявлено факт активно зростаючого попиту на індивідуальне житло. Масово забудовується передмістя великих міст та більшість з цих селищ не мають підключення до централізованого газопостачання і багато з них в найближчій перспективі не будуть до нього підключені.

За стандартної, звичної та рекомендованої по нормативній документації установці високотемпературних опалювальних приладів для вікон, щоб перекрити потоки холодного повітря в приміщення, утворюються додаткові теплові втрати у перегрітій зоні біля опалювального приладу. В

результаті місцевого підвищення температури повітря різниця температур у зоні біля вікна набагато вища, а ніж різниця розрахункових температур, яка використовується при розрахунках із нормативної документації, внаслідок чого утворюються додаткові тепловтрати через світлопрозорі конструкції. Дані тепловтрати не враховуються при стандартних розрахунках, проте кількісна різниця, отримана при теоретичному розрахунку даного дослідження показує, що цей факт слід враховувати з метою проведення компенсуючих заходів для усунення додаткових тепловтрат. В якості таких заходів пропонується, насамперед використовувати вікна з більш високим опором теплопередачі та розглянути варіант розміщення опалювальних приладів на суміжні стіни.

Об'єкт дослідження являє собою індивідуальний житловий будинок, в якості конструктивної системи для розрахунку розглядалося умовний одноповерховий житловий будинок, найпростішої форми для більш показового та точного розрахунку. Здійснено теплотехнічний розрахунок даної будівлі за методикою, запропонованою в нормативній документації, що використовується при проектуванні. Візуально показані температурні поля приміщення та візуалізовані конвективні теплові потоки від системи опалення.

Використовуючи отримані теплові потоки, за допомогою відомих формул легко розраховані коефіцієнти теплопередачі, отримані дослідним шляхом за допомогою моделювання. Далі, використовуючи теплотехнічні властивості конструкцій, отримані дослідним шляхом, моделюється двовимірна проекція приміщення у двох варіантах: із встановленням опалювального приладу під вікном та системою опалення тепла підлога, для порівняння температурного розподілу у приміщенні та візуалізації конвективних теплових потоків.

Досвід показує, що при установці радіатора під вікном порівняно з установкою теплої підлоги, є ряд особливостей: по-перше, температура у поверхні вікна значно вище за розрахункову по приміщенню, що в свою

чергу, створює додаткові теплові втрати через світлопрозору конструкцію. Отримані результати також показують, що з погляду теплового комфорту приміщення варіант з використанням теплої підлоги має ряд переваг, таких як найбільш сприятливий температурний розподіл за висотою приміщення, менші в порівнянні з установкою радіатора конвективний рух повітряних потоків та менша різниця температур огороджувальної конструкції та повітря поблизу неї. Менший перепад температур повітря та поверхні показує більший тепловий комфорт для людини, тому що чим більша різниця температур, тим більше збільшується променистий теплообмін людини з холодною поверхнею, відповідно, людина відчуває температурний дискомфорт навіть при досить теплій температурі внутрішнього повітря в приміщенні.

Незважаючи на виявлені переваги, існує поширена думка про неефективність панельно-променистого низькотемпературного опалення (тепла підлога) у зонах біля вікон. Опалювальні прилади рекомендовано розставляти під вікнами саме для того, щоб створити теплову завісу поблажливих теплових потоків від вікна. Однак теплове моделювання, проведене в даній роботі не виявляє збільшення поблажливих холодних потоків з вікна при застосуванні теплої підлоги, так само як і не наближає температури поверхонь вікна до точок роси. В якості компенсуючого заходу рекомендується ущільнювати низку опалювальних приладів внутрішньопідлогових труб біля вікон, щоб створити підвищену тепловіддачу в цих зонах, що сприятиме створенню огороджувальної теплової завіси, це не завищує різницю температур у порівнянні з установкою високотемпературних опалювальних приладів біля вікна. Проаналізовано критерій надійності кількох варіантів конструктивної та опалювальної систем.

Розглядалися будівлі конструктивної системи, в якій використовувалися огороджувальні конструкції з дерев'яного каркасу із заповненням утеплювачем та конструкції з газоблоку з шаром утеплювача, а

як порівняння - вплив опалювальної системи на надійність порівнювалася наявність або відсутність системи тепла підлога в масивній цементно-піщаній стяжці. Виявлено, що з метою підвищення надійності будівлі при аварійному відключенні тепlopостачання найефективніше буде використовувати стіни з масивних теплоємних, щільних конструкцій з високою теплоємністю, а наявність стяжки з теплою підлогою значно підвищує здатність будівлі акумулювати тепло.

Проведено порівняння економічної складової двох різних конструктивних та опалювальних систем. Для порівняння вартості конструктивних систем використовували кошторисний розрахунок для будівництва будинку каркасного виконання та будинки з огорожувальними конструкціями з газоблоку, з фундаментом із монолітного ростверку. При порівнянні конструктивних систем виявлено вищу вартість будівлі з масивних конструкцій.

Визначено рекомендації щодо компенсуючих заходів та вибору найбільш ефективного варіанта системи опалення; розглянуто фактор надійності опалювальної та конструктивної систем, проаналізовані основні варіанти, запропонована найбільш оптимальна з погляду надійності конструктивна та опалювальна система. Проведено порівняння розглянутих опалювальних та конструктивних систем з погляду економічної ефективності, виявлено різниця витрат на монтаж та експлуатацію даних варіантів, визначено переваги, недоліки систем. Позначений термін окупності найбільш ефективною із систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондар-Підгурська О. В. Науково-методичні підходи до оцінки енергоефективності як фактора конкурентоспроможності промислової продукції в інноваційній моделі розвитку України. Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки. Кіровоград, 2012. Вип. 22, ч.ІІ. С. 470.
2. ДСТУ 3755-98. Енергозбереження. Номенклатура показників енергоефективності та порядок їхнього внесення у нормативну документацію. [Чинний від 1999-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 1999. 8 с.
3. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / С.Ф. Єрмілов, В.М. Геєць, Ю.П. Яценко, В.В. Григоровський, В.Е. Лір та ін. Київ : НАЕР, 2009. 93 с.
4. Єрмілов С.Ф. Державна політика енергоефективності в українському та європейському контексті : матеріали VII Міжнародного енергоекологічного конгресу «Енергетика. Екологія. Людина», м. Київ, березень 2007 р. Київ, 2007. С. 133–136.
5. Микитенко В.В. Енергоефективність промислового виробництва : монографія. Київ : Об'єднаний інститут економіки НАН України, 2004. 282с.
6. Рубан-Максимець О.О. Особливості розрахунку показників енергетичної ефективності на базі статистичної звітності України. Проблеми загальної енергетики. Київ, 2009. № 20. С. 21–26.
7. Углубленный обзор политики и программ Украины в области энергоэффективности. Брюссель : Секретариат Энергетической Хартии, 2013. 144 с.
8. Управление энергоэффективностью 2-е издание : справочное руководство. Париж : МЭА, 2011. 71 с.

9. Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М., Шовкалюк Ю.В. Аналіз нормативів споживання теплоти в Україні та світі. Нова тема. 2018. №2. С. 6–10.
10. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. Київ : Гама - Принт, 2019. 216 с.
11. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель : наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 р. №169. Офіційний вісник України. 2018. № 55. С. 301.
12. Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката : наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 р. № 172. Офіційний вісник України. 2018. № 55. С. 334.
13. Directive 2010/31/eu of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Communities. 2010. № L153. P. 13-35.
14. ДСТУ Б EN 15217:2013. Енергетична ефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель (EN 15217:2007, IDT). [Чинний від 2014-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2014. 44 с.
15. ДСТУ Б EN 15603:2013. Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT). [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2014. 92 с.
16. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (EN ISO 13790:2008, IDT). [Чинний від 2013-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2013. 135 с.

17. Праховник А. В., Дешко В. І., Шевченко О. М.. Енергетична сертифікація будівель. Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2011. № 1. С. 140–153.
18. КТМ 204 Україна 244-94. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. [Чинний від 1993-12-14]. Вид. офіц. Київ, 1993. 189 с.
19. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2022. 27 с.
20. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України : Українські енциклопедичні знання. Київ, 1998. 512 с.
21. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування. [Чинний від 2018-12-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2018. 25 с.
22. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний від 2023-03-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2023. 156 с.
23. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2011. 135с.
24. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014. Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків. [Чинний від 2015-10-01]. Київ : Мінрегіон України. 2015. 67 с.
25. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII. Голос України. 2017. №134. С. 18.