МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему «Пасивний» будинок в умовах помірного клімату

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-мопа
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Містобудування та об'ємно-просторова архітектура
(назва освітньої програми)
Макушин Д.В.
(ініціали та прізвище)

Керівник доц.,к.т.н., Ільїн С.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент проф., к.арх, Осиченко Г. О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва)
Освітня програма Містобудування та об'ємно-просторова архітектура

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
«02» 09 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Макушинові Дмитру Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) «Пасивний» будинок в умовах помірного клімату

керівник роботи доц.,к.т.н., Ільїн С.В.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «30» 09 2024 року № 1486-с.

1 Строк подання студентом роботи 01.12.2024

2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливість розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об`єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд. Провести аналіз основних принципи «пасивного» будівництва в екологічному та енергозберігаючому контексті, виявити особливості «пасивного» будівництва в помірному кліматі, архітектурно-планувальні рішення та прогресивні технологіїбудівництва «пасивних» будинків в умовах помірного клімату.

3 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація із результатами аналітичних обгрунтувань науковог напряму досліджень, результатами експериментальних досліджень результати розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

4 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Ільїн С.В.		
2	Ільїн С.В.		
3	Ільїн С.В.		

5 Дата видачі завдання 01.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	01.10	виконано
2	Розділ 1	15.10	виконано
3	Розділ 2	01.11	виконано
4	Розділ 3	15.11	виконано
5	Розробка графічної частини	20.11	виконано
6	Оформлення роботи	25.11	виконано
7	Попередній захист	01.12	виконано

Студент _____ Макушин Д.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ Ільїн С.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Гребенюк І.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Макушин Дмитро Володимирович. «Пасивний» будинок в умовах помірного клімату.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник С.В. Ільїн. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2024.

Розроблено рекомендації з конструктивних та інженерних рішень на основі техніко-економічного аналізу. Для досягнення необхідного рівня енергоефективності запропоновано додатково утеплити будівельний каркас, а також впровадити інженерні системи, зокрема геотермальний тепловий насос і припливно-витяжну вентиляцію з роторним рекуператором.

Ключові слова: «ПАСИВНИЙ» БУДИНОК, «ПАСИВНЕ»БУДІВНИЦТВО, ТЕПЛОВИЙ КОМФОРТ, ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, «ПАСИВНІ» ЕКОБУДИНКІ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

ABSTRACT

Makushyn Dmytro Volodymyrovych. «Passive» House in a Temperate Climate.

Qualifying graduation thesis for obtaining a master's degree of higher education in specialty 192 - Construction and civil engineering, scientific director S.V. Ilyin Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2024.

Recommendations for structural and engineering solutions have been developed based on a feasibility study. To achieve the required level of energy efficiency, it is proposed to additionally insulate the building frame, as well as to

implement engineering systems, in particular a geothermal heat pump and supply and exhaust ventilation with a rotary recuperator.

Keywords: "PASSIVE" HOUSE, "PASSIVE" CONSTRUCTION, THERMAL COMFORT, RENEWABLE ENERGY SOURCES, "PASSIVE" ECO-HOUSES, ENERGY EFFICIENCY.

ЗМІСТ

	Вступ……	8
Розділ 1	ПОНЯТТЯ ПАСИВНОГО БУДИНКУ……	10
1.1	Визначення поняття пасивний будинок та його специфіка……	10
1.2	Об'ємно-планувальні рішення…….	13
1.3	Конструктивні рішення……	14
1.4	Інженерно-технічні рішення……	20
1.4.1	Система припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією……	20
1.4.2	Грунтові теплообмінники……	25
1.4.3	Геліоприймачі……	29
1.4.4	Теплові насоси……...	30
1.5	Висновки до розділу 1……..	34
Розділ 2	ОСОБЛИВОСТІ БУДІВНИЦТВА ПАСИВНИХ БУДИНКІВ	35
2.1	Інноваційні технології зведення «пасивного» будинку……...	35
2.2	Розумний будинок……	38
2.3	Теплоізоляція для «пасивного» будинку……	39
2.3.1	Теплоізоляція стін……	40
2.3.2	Теплоізоляція покрівлі……	41
2.3.3	Теплоізоляція віконних отворів……	41
2.3.4	Теплоізоляція підлоги та фундаменту……	42
2.4	Додаткові джерела електроенергії……	42
2.4.1	Вітрогенератор……	43
2.4.2	Сонячна батарея……..	44
2.4.3	Економія електроенергії……	45
2.5	Проектування систем водопостачання для «пасивного» будинку ……	45
2.5.1	Система збору зливового стоку…….	48
2.5.2	Розрахунок обсягу накопичувальної ємності……..	49

2.5.3 Розрахунок потреби у дощовій воді…… 50
2.5.4 Період наповнюваності ємності…….. 51
2.6 Гаряче водопостачання…… 52
2.7 Вибір матеріалів для зведення пасивного будинку…….. 53
2.8 Підбір енергоефективного утеплювача……. 55
2.9 Висновки до розділу 2……. 60
Розділ 3 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БУДІВЛІ …… 61
3.1 Загальна характеристика будівлі……. 61
3.2 Кліматичні характеристики зони будівництва…….. 63
3.3 Вибір ізолюючих матеріалів для будівництва…… 66
3.3.1 Вибір енергозберігаючих вікон…… 66
3.3.2 Вибір матеріалів для будівництва стін…… 67
3.4 Розрахунок стіни Тромба-Мішеля…….. 72
3.5 Розрахунок теплових втрат будівлі…… 76
3.6 Висновок до розділу 3……. 84
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ…… 86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….. 87

ВСТУП

Актуальність дослідження. Проблема енергозбереження стає дедалі актуальнішою з кожним роком. Обмеженість енергоресурсів, висока вартість енергії та негативний вплив її виробництва на довкілля спонукають до висновку: зниження споживання енергії є більш розумним підходом, ніж постійне нарощування її виробництва, яке лише поглиблює існуючі проблеми. У світі активно шукають шляхи скорочення енергоспоживання шляхом його раціонального використання.

Будівельна галузь є одним із найбільших споживачів енергоресурсів. Водночас саме будівництво має безліч можливостей для впровадження енергозберігаючих рішень.

На сучасному етапі особливу актуальність набуває питання зменшення енергоспоживання житлових будинків, що сприяє активному розвитку енергоефективних технологій. Обігрів будинків супроводжується значними викидами вуглекислого газу в атмосферу, що посилює парниковий ефект.

Енергозберігаючі технології дозволяють вирішити відразу кілька завдань:

- Економія енергоресурсів
- Зменшення забруднення навколишнього середовища
- Збільшення рентабельності підприємств
- Енергозбереження в Україні

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та інтегроване впровадження архітектурних і технологічних рішень для будівництва «пасивних» будинків у помірному кліматі.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є «пасивний» будинок в умовах помірного клімату.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є аналіз комплексного використання інженерних, архітектурних та технічних рішень будівництва «пасивних» будинків в умовах помірного клімату.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися узагальнення, аналіз теоретичних та практичних досліджень на тему роботи та комплексні дослідження експлуатаційних властивостей фасадних панелей.

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблено комплекс інженерних, архітектурних та технічних рішень, що забезпечують будівництво «пасивних» будинків в умовах помірного клімату.будинку. Проаналізовані та узагальнені основні принципи «пасивного» будівництва в екологічному та енергозберігаючому контексті.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення отриманих результатів полягає у формуванні інноваційного підходу до проєктування енергоефективних та екологічно безпечних будівель. Підтверджено, що пасивне будівництво є сучасним рішенням, яке поєднує принципи ефективної ізоляції, герметичності, використання сонячної енергії та інших технологій. Цей підхід встановлює новий стандарт сталого будівництва, орієнтованого на мінімізацію енергоспоживання та екологічного впливу.

Особистий вклад дослідника. Постановка мети і завдання дослідження. Збір і аналіз даних для проведення дослідження.

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел, містить 91 сторінку, 38 рисунків, 16 таблиць, 54 список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1
ПОНЯТТЯ ПАСИВНОГО БУДИНКУ

1.1 Визначення поняття пасивний будинок та його специфіка

Енергозбереження на сьогоднішній день розглядається багатьма розвиненими країнами як одна з найважливіших національно-екологічних та економічних проблем. Розкриваючи проблему з погляду економіки, слід зазначити, що витрати на енергію сьогодні становлять більшу частину собівартості будь-якого виду послуг, товарів чи продукції. Одним із ефективних рішень цієї проблеми є будівництво «пасивного» будинку. Однак, перш ніж заглиблюватися в тему створення пасивних будинків, необхідно зрозуміти, що закладає в собі поняття пасивного будинку.

Поняття пасивного будинку запропонували у травні 1988 року доктор Вольфганг Файст, пізніше засновник «Інституту пасивного будинку» в Дармштадті (Німеччина), та професор Бо Адамсон із Лундського університету (Швеція). Надалі їхня концепція розроблялася у численних дослідницьких проектах, що фінансуються землею Гессен, Німеччина. У 1996 році було створено «Інститут пасивного дому» у місті Дармштадт.

Для розуміння сутності пасивного будинку слід розглянути деякі підходи до визначення. Так, з погляду В. І. Ресіна пасивний будинок або енергозберігаючий будинок - споруда, основною особливістю якої є низьке енергоспоживання за рахунок пасивних методів енергозбереження. Пасивний будинок споживає в середньому приблизно 10% від питомої енергії на одиницю площі, яка споживається більшістю традиційних будівель.

У книзі Вольфганга Файста «Основні положення щодо проектування пасивних будинків» пасивний будинок визначається як «будівля з такою малою витратою теплової енергії на опалення, що окрема система опалення стає непотрібною. Необхідне тепло можна підвести завдяки вже існуючій системі вентиляції» [1].

Таким чином, проаналізувавши вищезгадане, можна зробити висновок, що «пасивні» будинки – це будівлі з незначними вимогами до теплоопостачання, які не потребують активного опалення. Такі будинки повинні бути «пасивно» теплими, використовуючи внутрішні джерела тепла, сонячну енергію, що потрапляє через вікна і нагріває повітря.

Теплоізоляція будівлі вважається найкращою тоді, коли значно знижуються тепловтрати. Для досягнення параметрів «пасивного будинку» слід суттєво переглянути конструктивні особливості типових будівель та споруд. У такому будинку питома витрата теплової енергії на опалення не повинна перевищувати 15 кВтг/(м^2 рік). Це відповідає розрахунковій потужності підігріву 7-10 Вт на квадратний метр, що становить 10% від рівня розрахункової потужності опалювальних систем звичайних будинків. Загальне споживання первинної енергії для всіх побутових потреб (опалення, гаряча вода та електрична енергія) не повинно перевищувати 120 кВтг/(м^2 рік).

У зв'язку з кліматичними особливостями північних регіонів, ініціатива PEP (Promotion of European Passive houses) пропонує внести зміни щодо нормативної (для цілей сертифікації) питомої витрати теплової енергії для «північних країн», розташованих вище 60° широти, збільшивши його до 20-30 kWh/m^2, залежно від конкретних кліматичних умов місцезнаходження. Для первинної енергії запропонований норматив може становити 120 - 140 kWh/m^2. Тим не менш, критерії сертифікації пасивних дім, що діють в даний час, передбачають максимальну витрату теплової енергії в розмірі 15 kWh/(m^{2}a) незалежно від регіону.

В ідеалі пасивний будинок має бути незалежною енергосистемою, яка не вимагає витрат на забезпечення комфортної температури. Опалення такого будинку має відбуватися завдяки теплу, що виділяється людьми і побутовими приладами. При необхідності додаткового обігріву можна використовувати альтернативні джерела енергії. Гаряче водопостачання може забезпечуватись за рахунок різних пристроїв: теплових насосів або сонячних водонагрівачів. Вирішувати проблему кондиціонування будівлі передбачається з допомогою

відповідного архітектурного рішення, а разі потреби додаткового охолодження - з допомогою альтернативних джерел енергії, наприклад, геотермального теплового насоса.

При проектуванні пасивного будинку повинні дотримуватися наступних принципів:

- компактність;

- якісне та ефективне утеплення;

- відсутність містків холоду в огороджувальних конструкціях та вузлах примикань;

- правильна геометрія будівлі;

- зонування;

- а також орієнтація з боків світла та щодо троянди вітрів.

Найчастіше в «пасивному» будинку обов'язковим є використання системи припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією, яка дозволяє вдруге використовувати тепло забрудненого повітря, що відводиться для нагрівання припливного холодного повітря.

Схема влаштування вентиляції пасивного будинку відображена на рисунку 1.1.

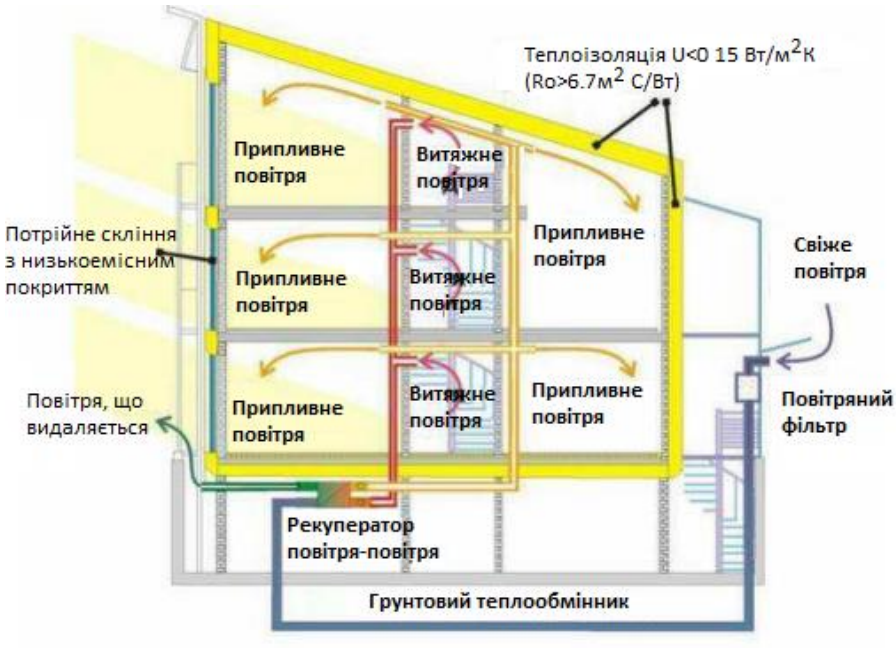


Рисунок 1.1 – Принцип пасивного будинку

Основні способи проектування енергоефективного будинку можна розбити на кілька важливих розділів:

- об'ємно-планувальні рішення;

- конструктивне рішення;

- інженерні та технічні рішення.

Для того, щоб визначитися з тим, які рішення раціонально застосовувати в умовах Красноярського краю та які потрібні доопрацювання, необхідно звернутися до досвіду та рішень, які зарекомендували себе у будівництві пасивних будинків на території України та за кордоном. Детальний опис кожного рішення наведено у наступних пунктах цього розділу.

1.2 Об'ємно-планувальні рішення

Під об'ємним плануванням мають на увазі розташування та компонування будівель відповідно до економічних, функціональних, технічних та архітектурно-художніх вимог.

Як основні об'ємно-планувальні принципи можна виділити наступні:

- максимальна компактність будівлі. Компактність - це співвідношення площі конструкцій, що захищають (оболонки будівлі) і всього обсягу будівлі (його корисної площі). Чим менше площа огороджувальних конструкцій по відношенню до корисної площі будівлі, тим компактніша вона;

- наскільки можна повна відсутність еркерів, внутрішніх кутів, балконів тощо. Ідеальною вважається максимальна наближеність форми будівлі до найкомпактнішої: форма півкулі, що стоїть зрізом на землі; - зонування: поділ на буферні та житлові зони;

- додаткові архітектурні елементи, що захищають будівлі від літнього сонця та від зимового вітру (козирки, навіси, загородження тощо); - Розташування допоміжних приміщень з півночі як буферні зони;

- розташування житлової зони на південному сході;

- розташування зимових садів з південного боку.

1.3 Конструктивні рішення

До конструктивних рішень відноситься підвищення теплового опору конструкцій, що захищають, і скорочення витоків тепла.

У поняття огороджувальних конструкцій входять стіни, дах, вікна, вхідні двері, підлога першого поверху, фундамент.

Основними принципами, які повинні дотримуватися при підвищенні теплового опору конструкцій, що захищають, є:

- Поділ функцій будівельних матеріалів у конструкціях. Конструкційні та кріпильні елементи повинні забезпечувати міцність, утеплювачі повинні забезпечувати теплову ізоляцію, декоративно-оздоблювальні матеріали – зовнішній вигляд. За такого підходу вдається скоротити кількість "теплових мостів", якими тепло з дому може виходити назовні.

- Теплоізоляція повинна розташовуватись рівномірно і безперервно по всьому контуру будівлі. - Якість теплоізоляційного матеріалу: його коефіцієнт теплопровідності, рівень паронепроникності та тепловідбивних властивостей, необхідна товщина шару утеплювача.

- Містки холоду повинні максимально виключатися та за необхідності мати додаткову теплоізоляцію.

- По всьому контуру будівлі повинна бути прокладена повітронепроникна оболонка, що забезпечує герметизацію будівлі.

Найбільш проблемні місця для теплозахисту будівлі:

- місця зчленування даху та стін;

- місця примикання перекриттів та стін;

- контури встановлення віконних коробок та примикання фрамуг;

- місця примикання стін до фундаменту.

Як правило, місця примикання намагаються робити із застосуванням термовкладок із конструкційних матеріалів із низькою теплопровідністю. Наприклад, блоки з пористого бетону, спеціальних видів цегли і т.д. Місця зчленування додатково герметизують різними видами герметиків,

пластичними будівельними розчинами.

Стіни пасивного будинку можуть бути з різних матеріалів - вся річ у технології зведення.

У разі дерев'яних стін для зменшення теплових втрат можна нарощувати товщину: збільшувати діаметр колоди, переріз бруса тощо. При достатній товщині матеріалу додаткова теплоізоляція стіні вже не буде потрібна, якщо, звичайно, тепло не йтиме через містки холоду. Щоб виключити такі тепловтрати, застосовують спеціальні способи рубки зрубів з колод, а також утеплюють ті елементи стінової конструкції, через які може проникнути холод. Стіна з бруса не пропускатиме тепло, якщо забезпечене щільне примикання стінових елементів за рахунок профілювання та високоточної обробки брусів. Ще надійніше у цьому відношенні клеєний брус, який не зазнає усадки, зберігаючи початкову геометрію протягом усього терміну експлуатації, що, звичайно ж, позитивно позначається на теплотехнічних характеристиках стінової конструкції.

Пасивний будинок можна створити на базі каркасних стін. Необхідно правильно влаштувати стіновий «шаровий пиріг». До нього обов'язково входить утеплювач, найчастіше з мінеральної вати. Усередині стінової конструкції знаходяться гідроізоляційні плівки, пароізоляційні мембрани; крім того, нерідко використовують спеціальні теплоізоляційні фасадні матеріали та системи. При використанні як утеплювач лляних матів або целюлозної ековати не потрібна суцільна пароізоляція - така стіна "дихає", як дерев'яна. Стіни, влаштовані за всіма правилами, дуже теплі, а споруда після закриття теплового контуру є своєрідним термосом, з якого тепло практично не йде назовні.

Теплоізоляція оболонки пасивного будинку має вирішальний вплив на необхідне споживання теплової енергії на опалення. Ця теплоізоляція повинна:

- мати високу якість;

- укладатися щільно і без зазорів навколо всієї будівлі.

Ефективний пасивний спосіб збереження тепла, отриманого від сонячної радіації та внутрішніх джерел тепла - встановлення масивних елементів, що акумулюють всередині будівлі. Подібними елементами можуть бути стіни з повнотілої цегли або бетону.

Існує безліч матеріалів, які можна використовувати для теплоізоляції в пасивному будівництві. Основні вимоги до них: довговічність, надійність, екологічність та пожежна безпека. Слід враховувати, що для забезпечення необхідного опору термічного обраний матеріал повинен мати відповідну товщину.

У таблиці 1.1 наведено перелік матеріалів та відповідну товщину шару для забезпечення коефіцієнта теплопровідності не вище 0,15 Вт/м^{2}К для огороджувальної конструкції пасивного будинку.

Таблиця 1.1 - Співвідношення матеріалів та товщин

Назва	Товщина, см
1	2
Пресована солома	55
Піноскло	52
Плити із кіркового дерева	30
Мінеральна вата	26-28
Пінопласт	25-28
Екструдований пінополістирол	23
Вакуумна ізоляція	4-5

Широке поширення, як теплоізоляційний матеріал набуло піноскла. Його використовують у вигляді плит товщиною від 20 до 50 см. Найменшу товщину має вакуумна ізоляція, що є панеллю з відкачаним повітрям.

В Україні вакуумна ізоляція ще не набула своєї частки популярності,

оскільки це досить нова технологія, проте виробництво утеплювачів з різних матеріалів на території України відмінно налагоджене та продовжує розвиватися.

Приклад стику покрівлі та зовнішньої стіни, виконаного з високими теплоізоляційними характеристиками та без теплових мостів (проект CEPHEUS у Хорні, Австрія, архітектор Treberspurg з Відня) представлений на рисунку 1.2.

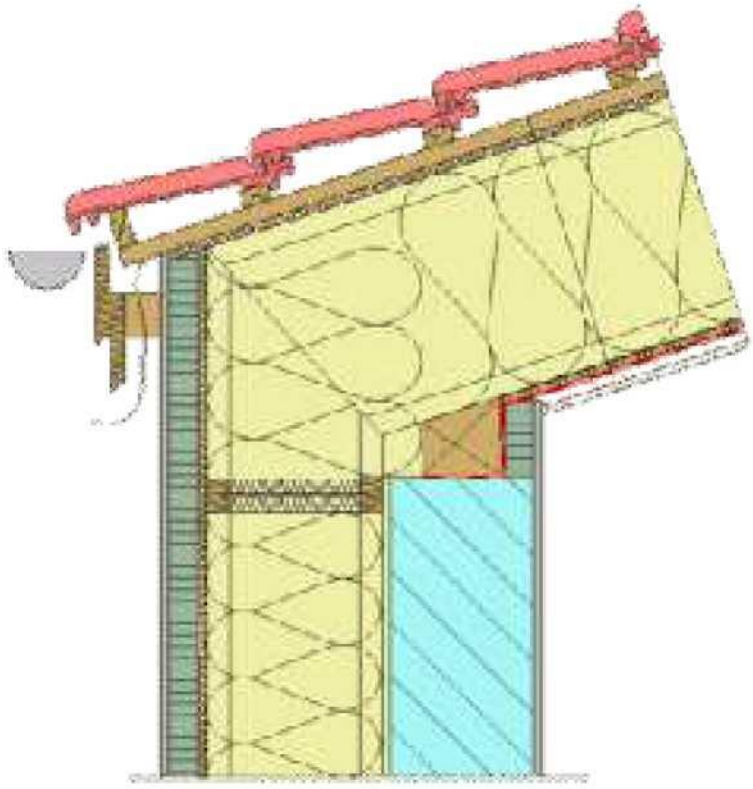


Рисунок 1.2 - Приклад стику покрівлі та зовнішньої стіни

Як конструктивне рішення варто розглянути переваги та недоліки купольних (шатрових) будівель, які представив у сучасному вигляді американець Річард Бакмінстер Фуллер. Площа стін купольного будинку значно менша, ніж у прямокутних будівель. Так, будинок прямокутної форми розміром 10х10 м має площу 100 м, а периметр основи 40 м. Купольний будинок такої ж площі має радіус 5,65 м. При цьому периметр основи становитиме 35,5 м, а загальна площа поверхні становитиме 200,5 м. Площа стін і стелі прямокутної будови такої ж висоти складе 326 м^2 крім площі даху.

Купальні будівлі за рахунок своєї обтічної форми менш схильні до вітрового навантаження. Тиск стін на основу розподіляється рівномірно, а мала вага будівлі не потребує потужного глибокого фундаменту. Як основа часто досить бетонного майданчика, так званого плаваючого фундаменту, більшою мірою службовця для утримання каркаса при вітровому впливі. За рахунок цього купольні будови є сейсмостійкими. Купальні будівлі мають один цільний дах, що одночасно є і стінами. Для купольних будівель не потрібні системи водовідведення. Це сприяє економії будівельних матеріалів. Циркуляція повітря в купольних будовах відбувається рівномірніше, не створюючи мертвих зон, як у кутах прямокутних будов. За рахунок цього тепло поступово поширюється по всьому приміщенню. Опалення здійснюється через теплу підлогу по всій площі або периметру. Витрати на опалення купольних будівель до 40% менше прямокутних. Ще однією перевагою купольних будівель є простота складання, що не потребує важкої будівельної техніки.



Рисунок 1.3 - Купальний будинок

На південних фасадах також можливе використання стіни Тромба-Мішеля, яка призначена для уловлювання та накопичення сонячного випромінювання і є стіною, виготовленою з матеріалу, що володіє високою теплоємністю, пофарбованого в темний колір. Розташована на відстані 0,6-1 м від скління, стіна вдень активно нагрівається і запасає тепло, яке розподіляється по приміщеннях у темний час доби. Дана конструкція поєднує колектор і акумулятор тепла, а також виконує функцію термостабілізації.

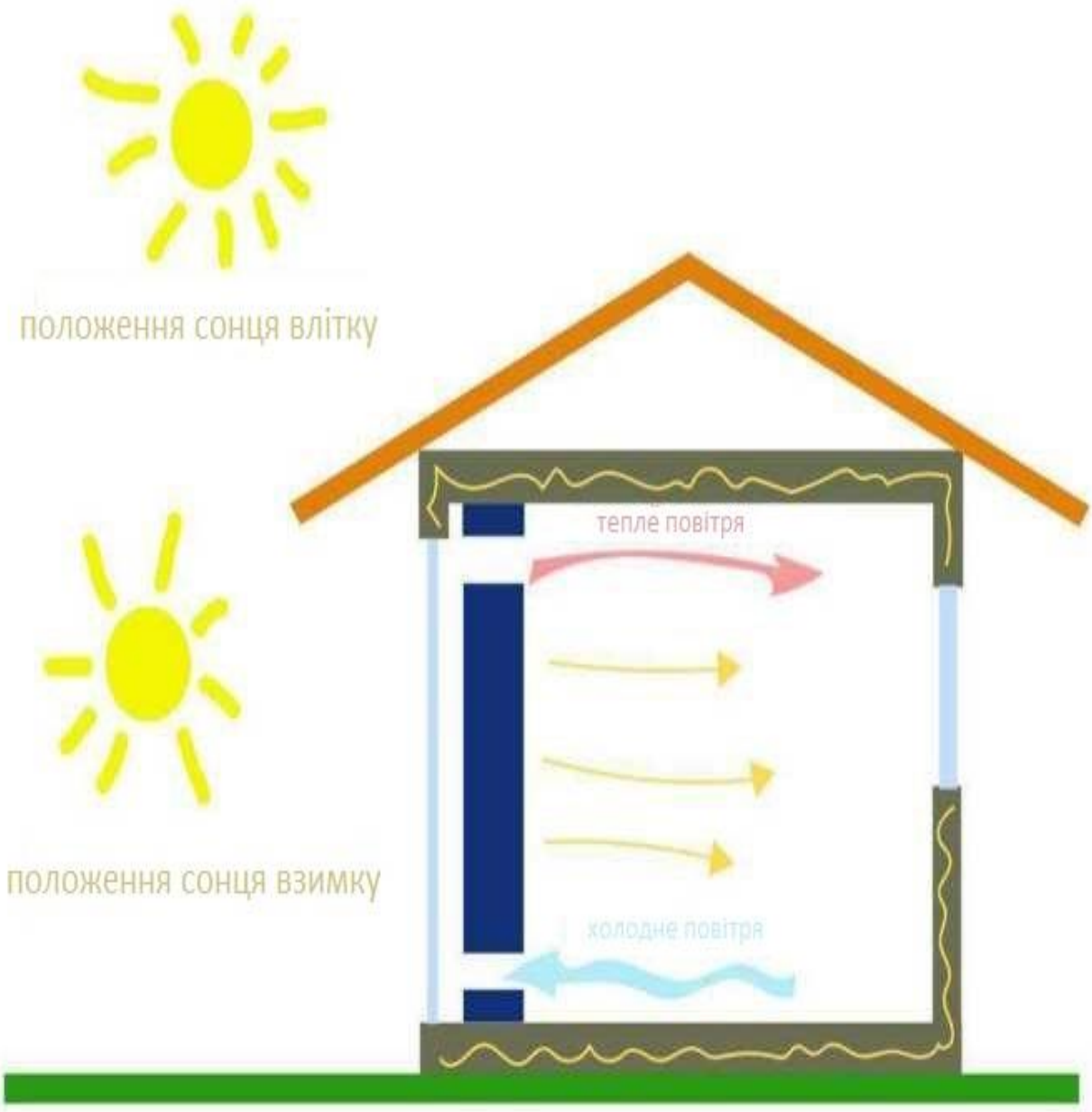


Рисунок 1.4 – Схема роботи стіни Тромба

1.4 Інженерно-технічні рішення

Інженерні рішення сприяють тому, щоб зробити будинок повністю незалежним. До основних інженерно-технічних рішень можна віднести:

- Система припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією;

- Використання ґрунтових теплообмінників для пасивного попереднього підігріву та охолодження води та повітря;

- Геліоприймачі – у вигляді особливо сконструйованих панелей з фотоелектричних елементів, що забезпечують одержання електроенергії;

- Тепловий насос – пристрій для перенесення енергії від джерела теплової енергії з низькою температурою до теплоносія з вищою температурою.

Окрім згаданих вище способів, існують і додаткові ефективні рішення для підвищення енергоефективності будівель. Наприклад, облаштування зелених дахів із рослинністю та шаром ґрунту, що забезпечує покращену теплоізоляцію: у спекотну погоду вони сприяють збереженню прохолоди, а взимку – утриманню тепла. До того ж, зелені дахи допомагають затримувати дощову воду, зменшуючи навантаження на каналізаційні системи, захищають покрівельні мембрани від пошкоджень, знижують рівень шуму та очищують повітря від забруднень.

1.4.1 Система припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією

Система припливно-витяжної вентиляції - це система вентиляції, яка забезпечує приплив чистого та свіжого повітря до приміщення, а також видаляє шкідливе відпрацьоване повітря з нього. Обидві ці функції виконуються одночасно. Як правило, подібну вентиляцію встановлюють у заміських будинках площею понад 100 кв.

Основним елементом вентиляційної установки є рекуператор, який є високоефективним повітряним теплообмінником з вентиляторами. Принцип роботи рекуперацийної установки представлений малюнку 2.5. Холодне

повітря припливу нагрівається в теплообміннику за рахунок теплого «відпрацьованого» повітря з приміщення. Ефективність таких теплообмінників може досягати 92%. Для пасивного будинку ефективність теплообміну рекуператора має бути не менше 80%.

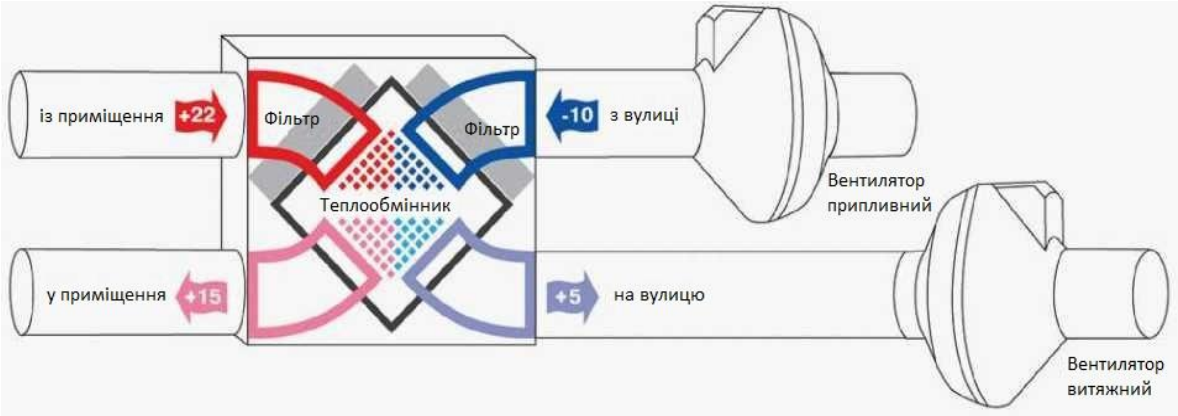


Рисунок 1.5 – Принцип роботи рекуперaційної установки

Застосування припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла у заміських будинках є надзвичайно вигідним, оскільки це дозволяє значно знизити витрати на опалення. Завдяки інтегрованій системі теплообміну рекуператор використовує тепло відпрацьованого повітря для підігріву свіжого припливного, що зменшує потребу в додатковому обігріві й суттєво скорочує енергоспоживання будинку.

Рекуператори бувають двох видів: пластинчасті та роторні.

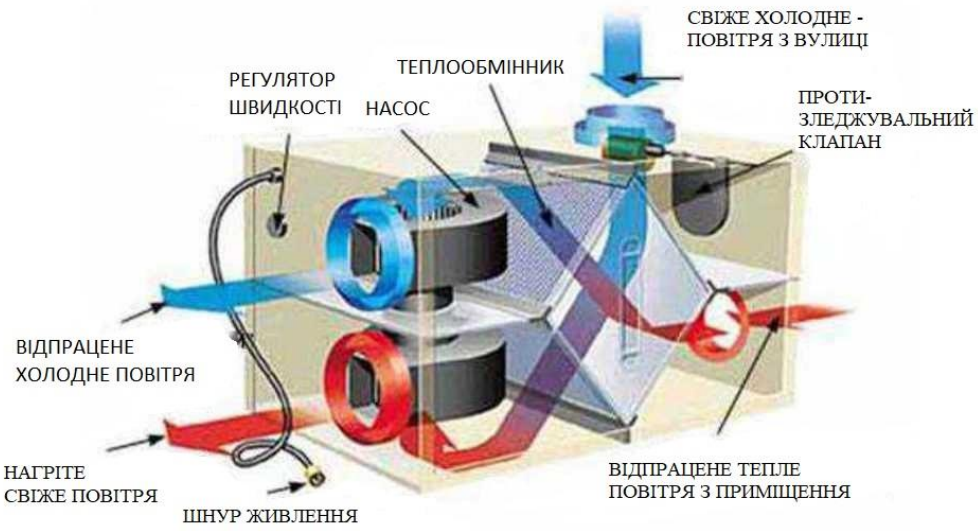


Рисунок 1.6 - Пластинчастий рекуператор

У даному варіанті повітря, що виходить з приміщення, нагріває пластини теплообмінника, віддає їм своє тепло і видаляється на вулицю холодним. Вхідне свіже повітря забирає тепло від пластин теплообмінника, підігрівається і доставляється в приміщення вже нагрітим. Ефективність пластинчастого рекуператора становить 60%, залежно від установки. Ключовими особливостями конструкції є простота та дешевизна, при цьому потоки вхідного та вихідного повітря не перемішуються, що забезпечує 100% екологічність такої установки.

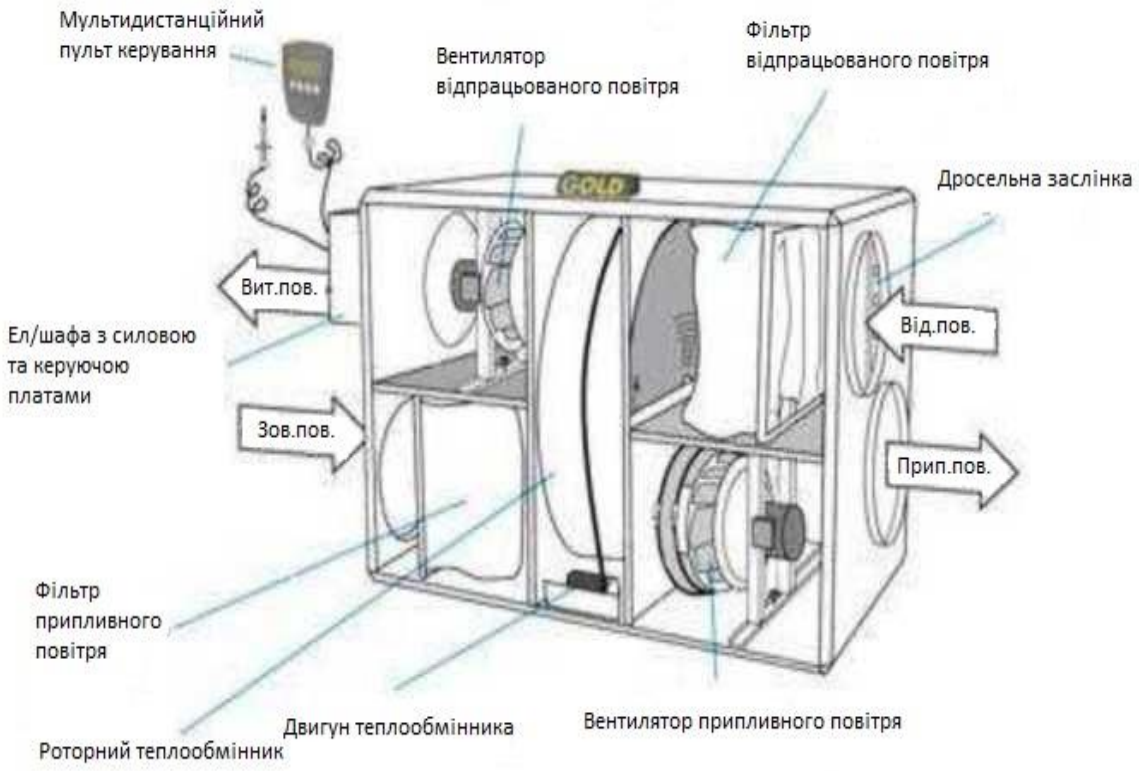


Рисунок 1.7 - Роторний рекуператор

У другому варіанті конструкції основним елементом є алюмінієвий барабан, який передає тепло від вихідного повітря до припливного.

Роторний рекуператор відзначається вищим коефіцієнтом корисної дії, що може досягати 80%. На відміну від пластинчастого типу, він не потребує відведення конденсату, оскільки частина вологи повертається до приміщення, забезпечуючи його необхідне зволоження. Це особливо важливо в сухий

зимовий період. Обидва типи вентиляційних установок комплектуються повітряними фільтрами, датчиками вологості та вмісту відпрацьованих газів, а також пультами керування системою.На рисунках 1.8-1.9 наочно показано максимальне скління з південного боку фасаду та відсутність світлопрозорих огорож на північному фасаді.



Рисунок 1.8 - Приклад майже повного скління з південного боку (пасивний будинок у Києві, архітектор Т. Ернст)



Рисунок 1.9 - Приклад незаскленого глухого фасаду з північного боку (пасивний будинок під Черніговом, архітектор Т. Ернст)

Також необхідно відзначити існування концепції Ноулза про організацію невеликих приміщень вздовж стін, що огороджують, яку необхідно широко використовувати. Розміщення тут невеликих кімнат, що складаються з підсобних приміщень та комор, відіграє роль «товстої» стіни, що захищає будівлю від суворих кліматичних умов.

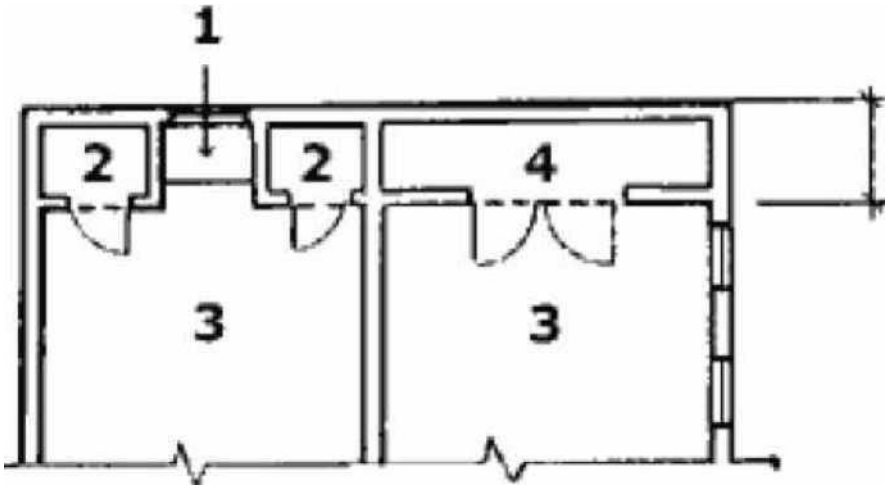


Рисунок 1.10 - «Товсті» стіни північного житла :

1 - лава біля вікна; 2 – туалети; 3 – житлові кімнати; 4 - комора

Аксіомою є використання повітряних завіс та подвійних входів Подвійний вхід знижує «теплові втрати завдяки інфільтрації та теплопровідності». Утворений невеликим вхідним простором з дверними отворами по обидва боки вхідний вузол функціонує як перехідна зона між холодним зовнішнім простором та теплим інтер'єром.

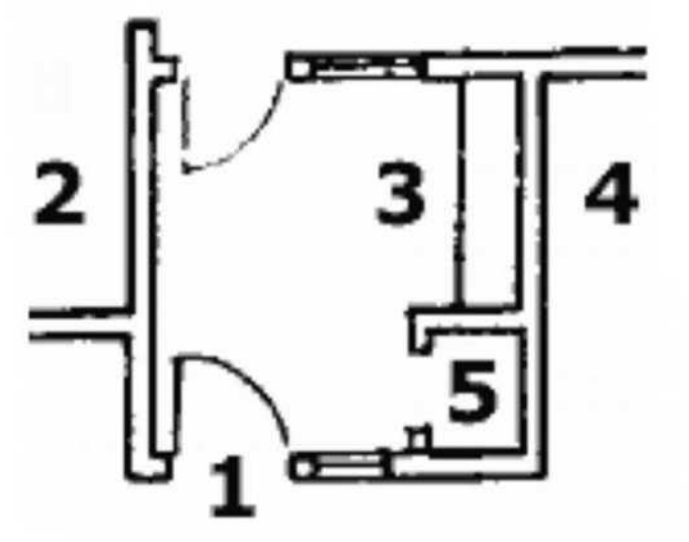


Рисунок 1.11 - Подвійний вхідний вузол :

1 – вхід; 2 – внутрішній простір; 3 – лава; 4 – зовнішній простір; 5 – туалет.

1.4.2 Грунтові теплообмінники

Невід'ємною частиною сучасної системи вентиляції у пасивних будинках є ґрунтовий теплообмінник. Теплообмінник є пластиковою трубою, прокладеною в грунті на глибині 1,5-2 м. Перш ніж потрапити на рекуператор, вентиляційне повітря проходить по трубі і попередньо нагрівається.

Існує безліч конструкцій теплообмінників для отримання теплоти з ґрунту та ґрунтових вод. Усіх їх можна класифікувати за трьома основними типами:

1. Горизонтальні теплообмінники (колектори).
2. Вертикальні теплообмінники, звані «зонди».
3. Теплообмінники типу «кошик» та «спіраль».



Рисунок 1.12 – Горизонтальний теплообмінник

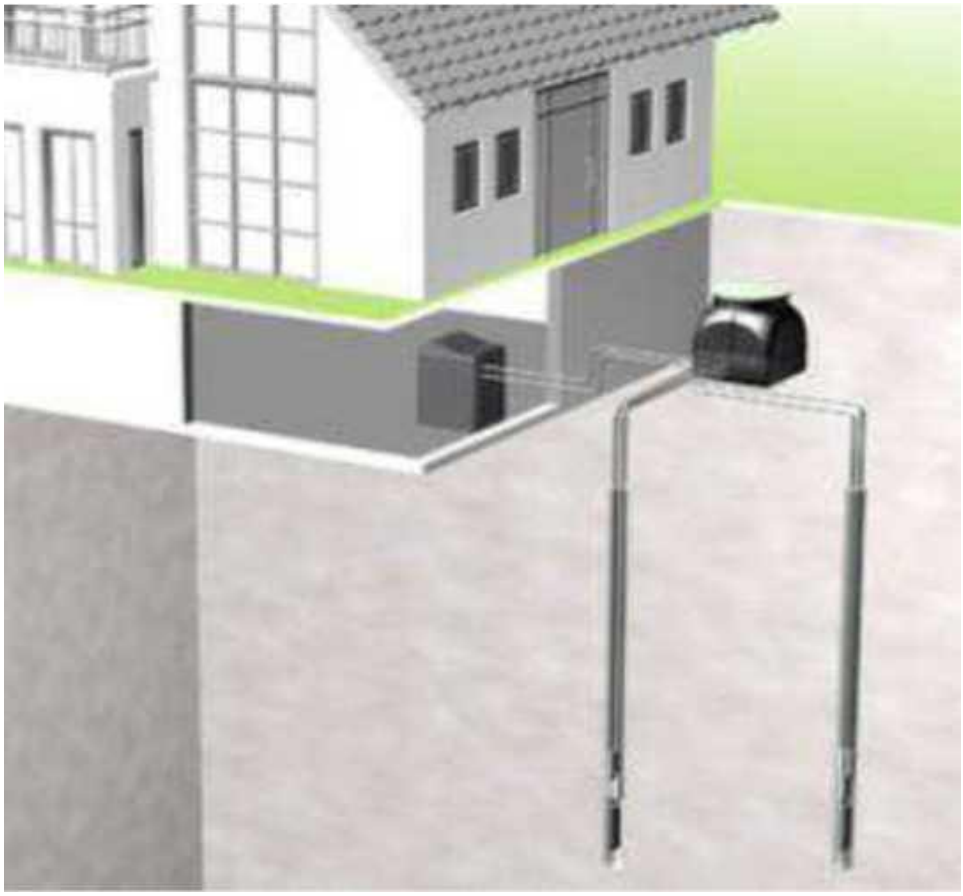


Рисунок 1.13 – Вертикальний теплообмінник «зонд»



Рисунок 1.14 – Теплообмінник типу «спіраль»

Видобуток тепла з кожного метра ґрунтового колектора залежить від кількох факторів, таких як глибина закладення, тип і вологість ґрунту, рівень затінення ділянки, де розташований теплообмінник, та ін. Середнє значення тепловіддачі становить 20 Вт/м. Для точніших розрахунків варто звертатися до фахівців, які проведуть детальний геологічний аналіз ґрунту. Крок укладання труб не повинен бути меншим за 0,7 м для забезпечення ефективної роботи колектора. Рекомендується використовувати контур загальною довжиною не більше 150 м через високий гідравлічний опір. Якщо

застосовуються кілька контурів, слід забезпечити, щоб кожен з них мав приблизно однакову довжину.

Температура ґрунту на глибині понад 20 метрів залишається стабільною протягом усього року, коливаючись між 8-10 °С, що обумовлено геотермальною енергією земних надр. Для отримання цієї енергії використовуються вертикальні ґрунтові теплообмінники, відомі як «зонди», які занурюються у свердловини глибиною 20-300 м і діаметром 120-200 мм. Зазвичай для цього використовують пластикові труби діаметром від 32 мм. У свердловину встановлюються одна або дві петлі зонда, а простір між трубою і ґрунтом заповнюється бентонітом або іншою речовиною з високою теплопровідністю.

Крім наведених видів ґрунтових теплообмінників, які є рідинними, існує ще повітряний ґрунтовий теплообмінник (рисунок 1.15), за допомогою якого проводиться прогрівання повітря, що забирається з вулиці. Даний вид теплообмінника є популярнішим в Україні за рахунок своєї дешевшої вартості пристрою та можливості зробити його самостійно.

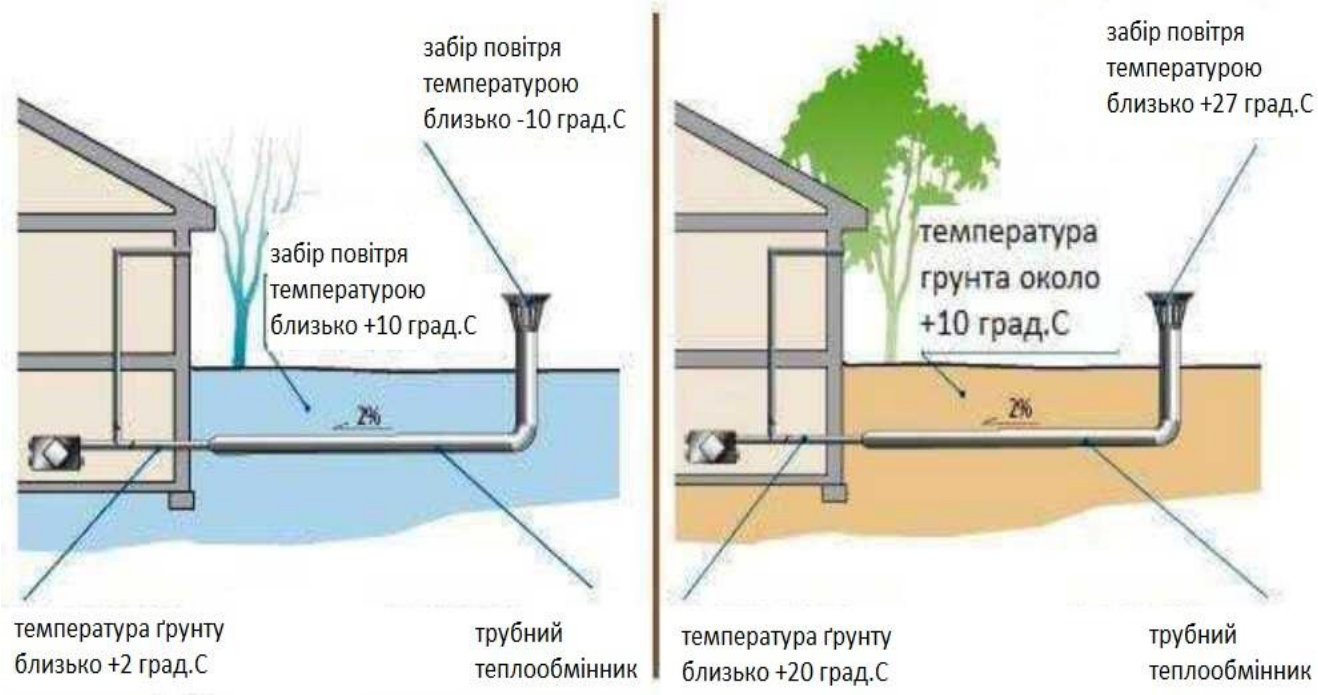


Рисунок 1.15 - Схема роботи ґрунтового повітряного теплообмінника

1.4.3 Геліоприймачі

Геліоприймач або геліотеплогенератор - пристрій для перетворення енергії випромінювання Сонця на теплову. У разі попереднього концентрування енергії випромінювання в геліоприймачі одержують високу температуру теплосприймаючої поверхні (до 5000°С); якщо такої концентрації енергії не проводиться, температура робочої поверхні геліоприймача не перевищує 200°С.



Рисунок 1.16 – Геліоприймач

Схема з концентраторами використовується для систем виробництва електричної енергії та теплової енергії високого енергетичного потенціалу, а схеми без концентраторів – для вироблення низькопотенційної теплової енергії. Робочим тілом – теплоносієм – у геліоприймачі можуть бути вода, повітря, органічні низькокиплячі рідини. Важливою умовою застосування

схем з геліоприймачами є необхідність забезпечити безперебійну роботу системи незалежно від тимчасових та погодних умов. Ця незалежність забезпечується введенням у схему ємностей, що акумулюють теплову енергію нагрітого теплоносія води або повітря під час роботи геліоприймача та віддають теплоту теплоносія під час відключення геліоприймача, внаслідок чого гаситься вплив коливань потужності світлового потоку, що є джерелом енергії, у часі.

Використання геліоприймача не знайшло популярного користування на території України через те, що кількість сонячних днів у році, за винятком півдня, в середньому дорівнює 100 дням.

1.4.4 Теплові насоси

Тепловий насос — це пристрій, який дозволяє переміщати тепло з менш нагрітого об'єкта до більш нагрітого, підвищуючи температуру останнього. Теплові насоси є альтернативними джерелами енергії, що дозволяють отримувати економічне тепло без шкоди для навколишнього середовища.

Принцип роботи побутового теплового насоса полягає в тому, що будь-який об'єкт, температура якого вища за абсолютний нуль, містить запас теплової енергії. Цей запас залежить від маси та теплоємності об'єкта. Наприклад, підземні води, які мають велику масу, можуть містити величезні запаси тепла, які частково можна використовувати для опалення будинків без шкоди для екології. Тепло можна «взяти» з об'єкта, охолоджуючи його. Для грубого розрахунку кількості виділеного тепла можна використати формулу: $Q = C * M * (T2 - T1)$, де Q — кількість отриманого тепла, C — теплоємність, M — маса, а T1 і T2 — початкова і кінцева температури. Ця формула показує, що, збільшуючи масу теплоносія, різниця температур може бути незначною. Наприклад, охолоджуючи 1 кг теплоносія від 1000 до 0 °C, можна отримати стільки ж тепла, скільки дасть охолодження 1000 кг від 1 до 0 °C.

Теплові насоси класифікуються за типом передачі енергії на два види:

- Компресійні: Основними елементами є компресор, конденсатор, розширювач та випарник. Ці насоси працюють за принципом циклу стискання і розширення теплоносія, що виділяє тепло. Вони прості в роботі, ефективні і найбільш поширені.
- Абсорбційні: Це насоси нового покоління, що використовують пару абсорбент-хладон як робоче тіло. Використання абсорбенту підвищує ефективність роботи таких насосів.

Залежно від джерела тепла теплові насоси поділяються на:

- Геотермальні: Тепло отримується з ґрунту або води.
- Повітряні: Тепло витягується з атмосфери.
- Вторинне тепло: Використовуються повітря, вода або стоки каналізації як джерело тепла.

По виду теплоносія вхідного та вихідного контурів розрізняють такі типи:

- «Повітря-повітря»: Ці насоси забирають тепло з холоднішого повітря і передають його в опалювальне приміщення.
- «Вода-вода»: Тепло ґрунтових вод передається воді для опалення та гарячого водопостачання.
- «Вода-повітря»: Використовуються зонди або свердловини для води та повітряна система опалення.
- «Повітря-вода»: Тепло з атмосфери використовується для водяного опалення.
- «Грунт-вода»: Труби прокладаються під землею, і по них циркулює вода, що забирає тепло з ґрунту.
- «Лід-вода»: Тепло, яке виділяється при заморожуванні води, використовується для нагріву води в системах опалення та гарячого водопостачання. Замороження 100-200 л води може забезпечити обігрів середнього будинку протягом години.

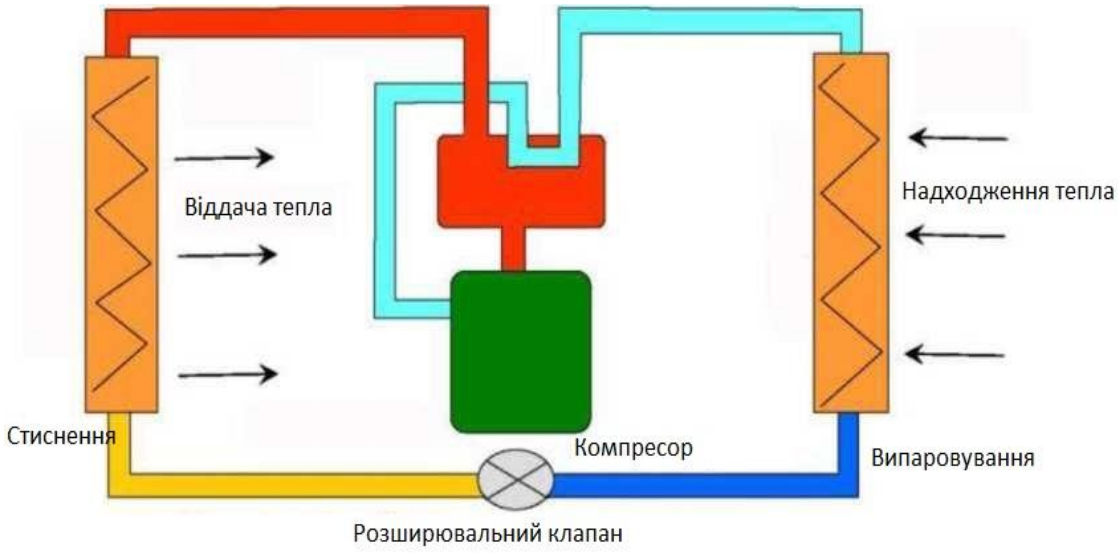


Рисунок 1.17 – Схема роботи теплового насоса

Теплові насоси набули широкого поширення у використанні за рахунок наявності відразу кількох варіацій виконання. В Україні вже налагоджено вітчизняне виробництво теплових насосів, у тому числі компанія GeoSan, що дозволяє додатково популяризувати використання цього рішення, а також знизити вартість витрат на пристрій теплового насоса.

У 2020 році світовий попит на теплові насоси «повітря – вода» досяг 2,66 мільйона одиниць обладнання. Основними споживачами стали Китай, Японія та країни Європи (68,8, 16,8 та 10,8% загального обсягу продажів відповідно).

Японія була піонером виробництва та застосування теплових насосів «повітря – вода» і на сьогоднішній день накопичила величезний досвід у цій сфері. Окрім створення власного ринку теплонасосних водонагрівачів EcoCute Японія сприяла поширенню теплових насосів у Європі. Можна сказати, японські технології стали основою нового сегменту світового ринку та вдихнули нове життя у консервативну галузь опалювального обладнання.

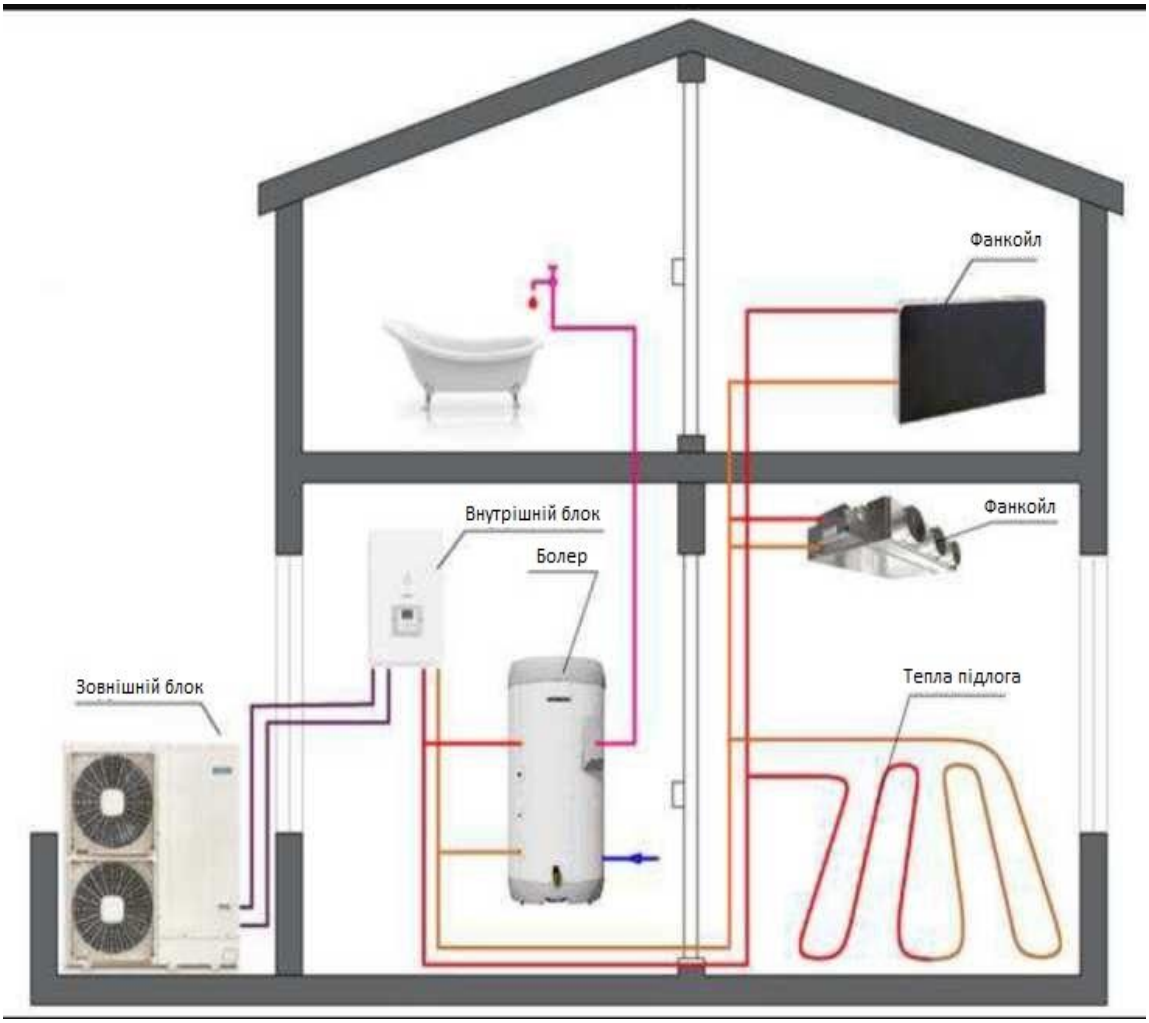


Рисунок 1.18 – Схема роботи теплового насоса «повітря-вода»

У Китаї останнім часом значно зросла роль держави в екологічному регулюванні. Національна програма «Електрика замість вугілля» сприяла швидкому збільшенню попиту на теплові насоси типу «повітря – вода», особливо на півночі країни. Очевидним результатом цього стало покращення екологічної ситуації, зокрема очищення неба Північного Китаю від смогу.

Деякі виробники теплових насосів пропонують хмарні сервіси для віддаленого керування їх роботою та енергоспоживанням. Завдяки підключенню до серверів хмар, користувач може контролювати пристрій з будь-якої точки світу. Така технологія дозволяє знижувати споживання електроенергії, підвищувати комфорт і забезпечувати більш гнучке управління ресурсами.

Ще однією інновацією є інтегровані системи, які поєднують теплові насоси з фотоелектричними панелями. Це дозволяє ефективніше використовувати електроенергію, вироблену сонячними панелями, для управління енергоспоживанням теплового насоса.

У холодних регіонах, таких як Північна Європа, де температура може опускатися до -40°C, ефективним рішенням для нагріву води можуть бути гібридні системи, які поєднують газовий котел і тепловий насос «повітря – вода». Існуючий котел може використовуватися для додаткового нагріву, а інтелектуальні системи управління дозволяють підключити тепловий насос до наявної системи опалення та гарячого водопостачання на основі газового котла. Якщо використання теплового насоса стає неможливим, система автоматично включає газовий котел для забезпечення безперебійної роботи теплопостачання.

1.5 Висновки до розділу 1

Аналіз сучасних конструкційних і технологічних рішень у сфері енергозбереження та енергоефективності дозволяє зробити висновок, що ці підходи є надзвичайно актуальними. Будівництво пасивного будинку є вигідною інвестицією, оскільки така споруда мінімізує негативний вплив на довкілля та забезпечує значну економію на опаленні й кондиціонуванні в перспективі.

РОЗДІЛ 2
ОСОБЛИВОСТІ БУДІВНИЦТВА ПАСИВНИХ БУДИНКІВ

2.1 Інноваційні технології зведення «пасивного» будинку

Як варіант зниження витрат на будівництво пасивного будинку може бути застосований принцип «Об'ємно-модульного будівництва» – один із видів збірного будівництва, заснований на використанні попередньо виготовлених у заводських умовах блок-модулів при зведенні малоповерхових будівель різного призначення.

Основними перевагами цих технологій вважаються:

- Короткий термін будівництва житла «під ключ» – процес Будівництво більше нагадує складання конструктора. Термін будівництва готових до заселення будівель «під ключ» становить не більше 10 днів, самі модулі, з яких надалі на будівельному майданчику монтується житловий будинок з усім необхідним внутрішнім оздобленням, виробляються на заводі.

- Відносно низька собівартість будівництва – близько 160 дол. за кв. м. без урахування вартості комунальної інфраструктури.

- Тривалий термін служби збудованого житла (50-60 років) та високий ступінь опору агресивному впливу навколишнього середовища (вітровому натиску, низьким температурам тощо).

- Можливість підключення будівель до вже існуючих інженерних мереж, зведення на фундаментах, що збереглися, або на найбільш дешевих стрічкових.

До основних недоліків можна віднести наступне:

- Технологія орієнтована на малоповерхове (до трьох поверхів) та мансардне будівництво, що значно звужує ринок.

- Середній термін служби об'ємно-модульних будівель (50-60 років) менший за термін служби цегляних та монолітних будинків.

Так, як один із критеріїв пасивного будинку - окупність додаткових

витрат на теплоізоляцію, рекуперацію енергії та інше обладнання, термін служби має ключове значення - у разі, якщо термін окупності трохи більший за термін служби, доцільність будівництва пасивного будинку втрачається.

Для швидкого монтажу і, якщо потрібно, демонтажу конструкції, може бути застосована технологія «Дом-транформер», який не потребує складних конструктивних рішень. Технічний результат полягає у зменшенні трудовитрат при процесі розгортання та складання мобільного будинку.

Спосіб трансформації мобільного будинку включає його транспортування до місця використання за допомогою автоплатформи, а також закріплення на обраному майданчику за допомогою висувних опор. Далі здійснюється вертикальне підняття складеного даху, після чого він розкривається шляхом повороту розкладних панелей відносно нерухомої панелі. Потім відбувається розкладання поворотних бічних панелей, торцевих стін та панелей підлоги. (рисуно 2.1)

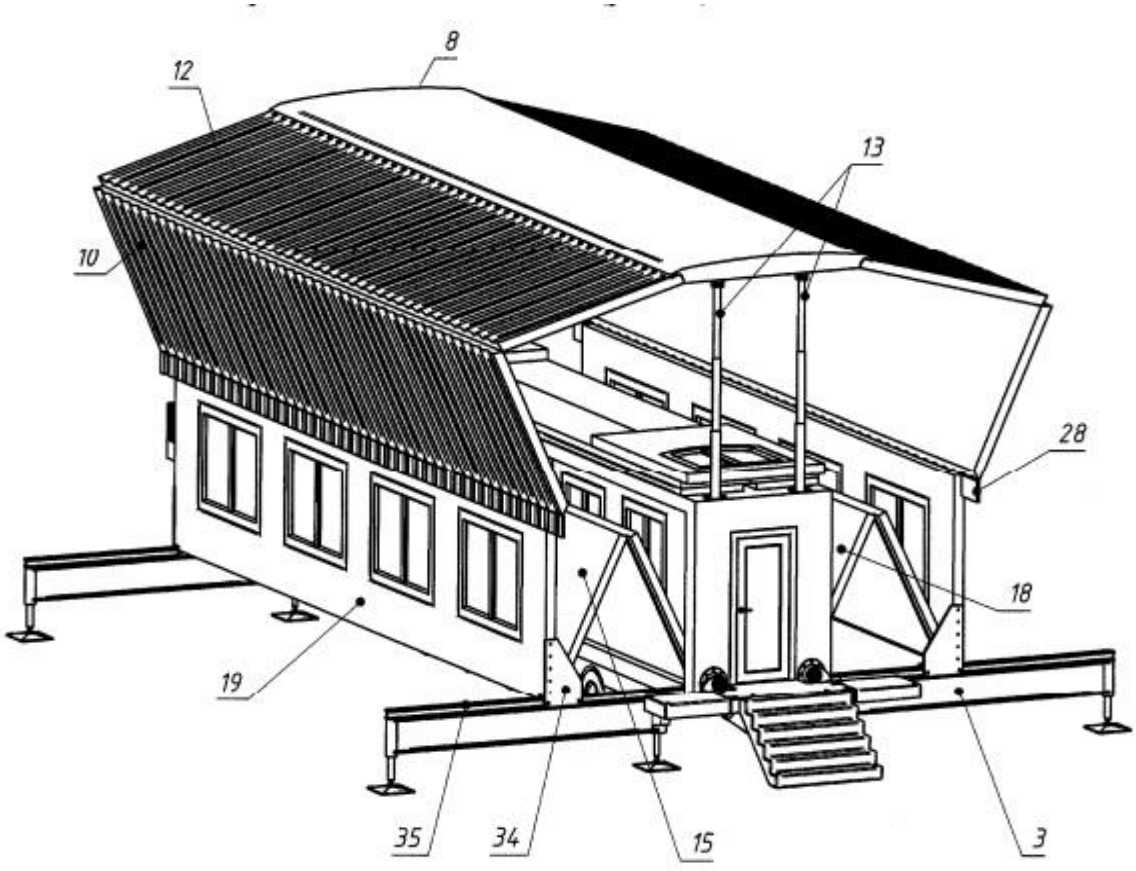


Рисунок 2.1 - Схема «будинку-транформера»

Найбільш раціональними технічними рішеннями є пересувний контейнер-будинок, що містить прямокутний кістяк з нерухомо з'єднаними між собою стінами, стелею і підлогою, мансарду з поздовжніми і торцевими стінами і дахом, під якою розміщені кістяк і розкладна частина горища, мансарди і корпусу першого поверху у вигляді комплекту поворотних панелей, причому панелі внутрішніх стін-перегородок мансарди встановлені в транспортному положенні горизонтально стелею кістяка, а вздовж поздовжніх стінок останнього послідовно.

У транспортному положенні встановлені панелі внутрішніх стінперегородок корпусу, шарнірно з'єднані з поздовжніми стінами остова, панелі торцевих стін корпусу, шарнірно з'єднані з краями поздовжніх стін остова, панелі зовнішніх поздовжніх стін корпусу, шарнірно з'єднані з панелями підлоги корпусу, шарнірно прикріпленими корпуси, шарнірно з'єднані зі стелею кістяка і з панелями торцевих стін горища, а також панелі зовнішніх поздовжніх стін горища, шарнірно з'єднані з нижньою частиною панелей даху горища, шарнірно прикріплених верхньою частиною до поздовжніх країв даху мансарди, при цьому продоль торцеві стіни мансарди виконані розкладними у вигляді панелей, причому панелі торцевих стін мансарди шарнірно з'єднані зі стелею кістяка і розміщені в транспортному положенні на панелях внутрішніх стін мансарди перегородок під панелями поздовжніх стін останньої, шарнірно з'єднаними з її дахом.

Палево-гвинтові фундаменти ідеально доповнюють технологію та філософію будинків-трансформерів, «будівля» яких займає всього три дні, перший з яких йде на те, щоб встановити фундамент. Сталеві опори дозволяють вибрати будь-який майданчик без обмежень.

Гвинтові палі встановлюються на будь-якому ґрунті, включаючи сипкі та обводнені, а також на будь-якому рельєфі місцевості. Згідно з проектом, кожну гвинтову палю вкручують ручним або механічним способом за глибину промерзання ґрунту, обрізають під один рівень, стовбури заповнюють цементно-піщаним розчином, зверху приварюють оголовки.

Буквально відразу завдяки тому, що гвинтові палі не дають опади, на них можна ставити об'єкт, який привозять на трейлері – у зібраному вигляді він не перевищує габаритів стандартного морського контейнера.

Потім бригада з трьох-чотирьох осіб також вручну розгортає будинок, дотримуючись докладної інструкції зі збирання, підключає прилади та комунікацій.

Будинок-трансформер оснащений автономним генератором потужністю 30 кВт, а також резервуаром для води та газовим балоном як додаткові опції. Крім того, передбачено все необхідне для підключення до центральних комунікацій (електрика, газ, вода, каналізація, опалення).

Даний винахід спрямовано на вирішення технічного завдання спрощення трансформування мобільного будинку, зниження трудомісткості та термінів його розгортання та складання, підвищення універсальності конструкції будівлі при збільшенні його корисної площі та поліпшенні експлуатаційних характеристик будинку.

2.2 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 у кожній кімнаті;
- автоматично знижувати температуру в кімнаті, якщо в ній немає нікого;
- вмикати та вимикати світло залежно від присутності людини у приміщенні;
- налаштовувати рівень освітленості;
- автоматично вмикати та вимикати вентиляцію залежно від стану повітря;
- автоматично відкривати та закривати вікна для надходження до

будинку холодного чи теплого повітря;

- автоматично відкривати та закривати жалюзі для створення необхідного рівня освітлення у приміщенні.



Рисунок 2.2 - Приклад систем, якими можна керувати за допомогою «розумного дому»

2.3 Теплоізоляція для «пасивного» будинку

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

2.3.1 Теплоізоляція стін

Через стіни йде близько 40% тепла з будинку, тому їх утепленню приділяють особливу увагу. Найпоширеніший і найпростіший спосіб утеплення – організація багатошарової системи. Зовнішні стіни будинку обшиваються утеплювачем, у ролі якого часто виступає мінеральна вата або пінополістирол, зверху монтується сітка, що армує, а потім - базовий і основний шар штукатурки.

Більш дорога та прогресивна технологія – вентильований фасад. Стіни будинку обшиваються плитами з мінеральної вати, а панелі облицювальні з каменю, металу або інших матеріалів монтуються на спеціальний каркас. Між шаром утеплювача та каркасом залишається невеликий проміжок, 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 майбутнє усадку та зміну властивостей деяких матеріалів при підвищенні температури.

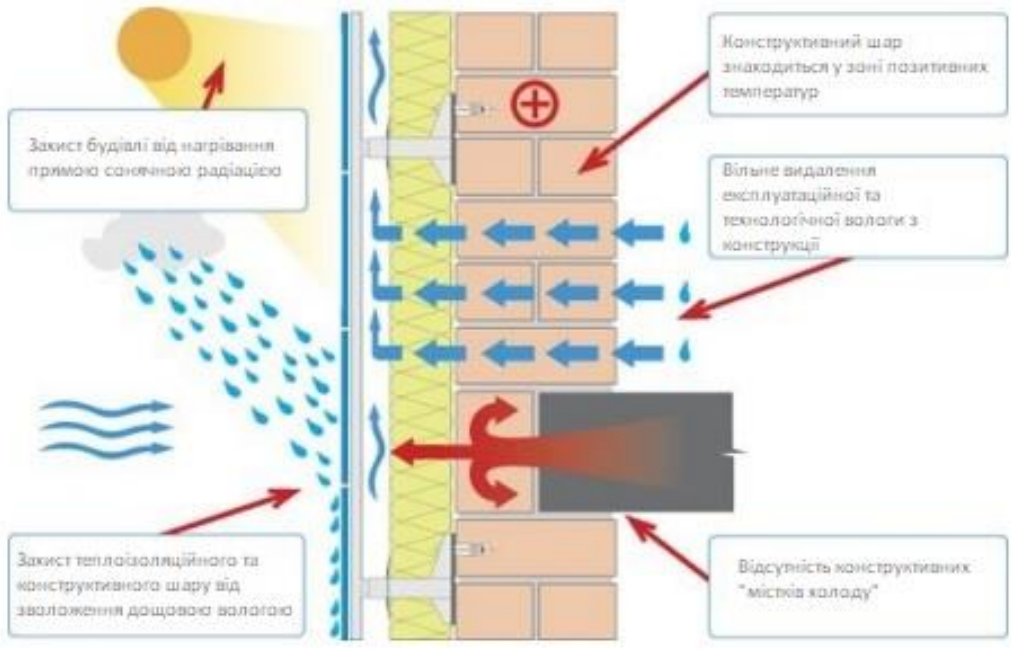


Рисунок 2.3 - Принцип роботи вентильованого фасаду

2.3.2 Теплоізоляція покрівлі

Приблизно 20% тепла втрачається через покрівлю. Для її утеплення використовують такі ж матеріали, як і для стін, зокрема мінеральну вату та пінополістирол, які є дуже популярними. Архітектори радять використовувати теплоізоляцію даху завтовшки не менше 200 мм, незалежно від типу матеріалу. Важливо правильно розрахувати навантаження на фундамент, несучі конструкції та покрівлю, щоб зберегти цілісність будівлі.

2.3.3 Теплоізоляція віконних отворів

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



Рисунок 2.4 - Принцип роботи селективного скла

Більш прогресивними варіантами для енергозберігаючого будинку є:

- селективне скло, яке працює за принципом земної атмосфери.

Вони впускають короткохвильове випромінювання, але не випускають теплових променів, 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 у процесі виготовлення, використовуючи хімічну реакцію. І-скла вважають більш ефективними, оскільки вони зберігають 90% тепла, тоді як К-скла – 70%.

- селективне скло з інертним газом максимально скорочує тепловтрати через вікна.

Теплопровідність інертного газу, що використовується, нижча, ніж повітря, тому будинок майже не втрачає через них теплоту.

2.3.4 Теплоізоляція підлоги та фундаменту

Через фундамент та підлогу першого поверху втрачається близько 10% тепла. Для утеплення підлоги застосовують ті ж матеріали, що і для стін, але можна використовувати й інші варіанти, такі як наливні теплоізоляційні суміші, пінобетон, газобетон чи гранулобетон, що має рекордно низьку теплопровідність 0,1 Вт/(м°С).

Замість утеплення підлоги можна утеплити стелю підвалу, якщо це передбачено проектом. Фундамент найкраще утеплювати зовні, що не лише захистить його від промерзання, а й від інших негативних впливів, зокрема від ґрунтових вод та перепадів температур. Для утеплення фундаменту використовують поліуретанову піноізоляцію, керамзит та пінопласт.

2.4 Додаткові джерела електроенергії

Енергозберігаючий будинок повинен використовувати електроенергію максимально економно і, бажано, отримувати її з відновлюваних джерел. На

сьогоднішній день для цього реалізовано безліч технологій.

2.4.1 Вітрогенератор

Енергія вітру може перетворюватися на електрику як великими вітряними установками, а й з допомогою компактних «домашніх» вітряків. У вітряній місцевості такі установки здатні повністю забезпечувати електроенергією невеликий будинок, у регіонах із 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. Там відбуваються зарядка акумуляторів, які, у свою чергу, підключені до інверторів, де і йде перетворення постійної напруги на змінну, використовувану споживачем.

Вітряки можуть бути з горизонтальною та вертикальною віссю обертання.

За разових витрат вони надовго вирішують проблему енергонезалежності.

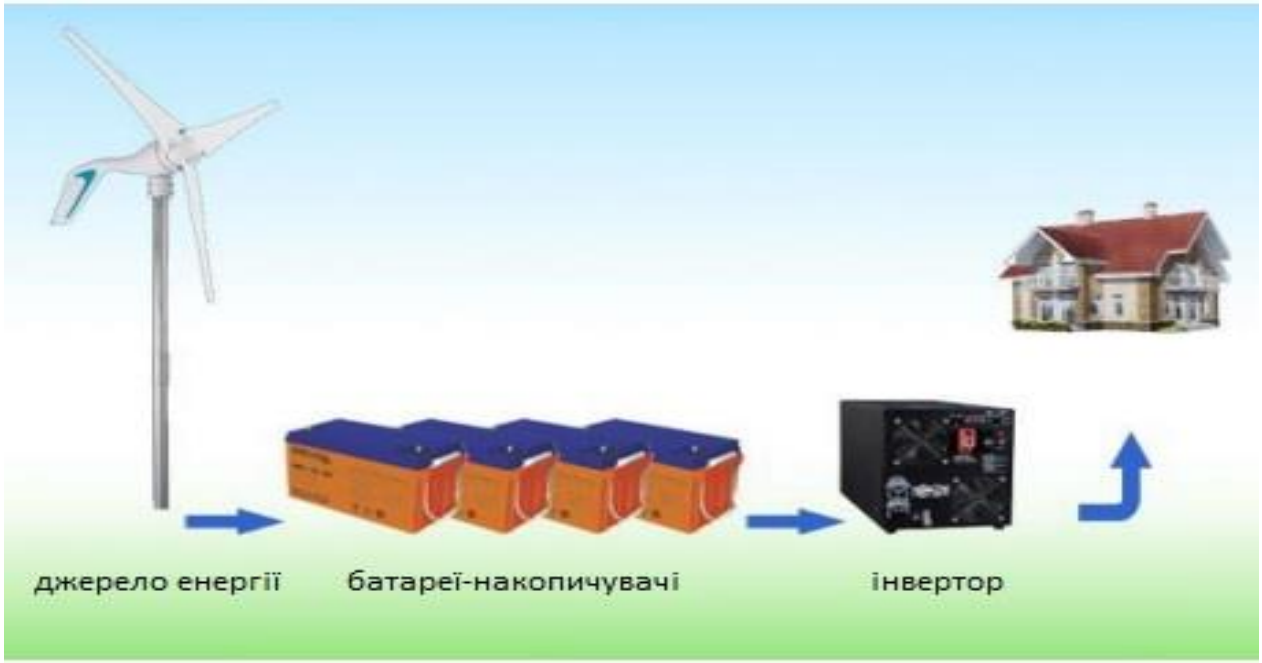


Рисунок 2.5 - Принцип роботи вітрогенератора

2.4.2 Сонячна батарея

Використання сонячного світла для електроенергії негаразд поширене, але вже у найближчому майбутньому ситуація ризикує різко змінитися. Принцип роботи сонячної батареї дуже простий: перетворення сонячного світла в електрику використовується p-n перехід. Спрямований рух електронів, що провокується сонячною енергією, та є електрикою.

Конструкції та матеріали постійно вдосконалюються, а кількість електроенергії безпосередньо залежить від освітленості. Поки що найбільшою популярністю користуються різні модифікації кремнієвих сонячних батарей, але альтернативою їм стають нові полімерні плівкові батареї, які поки що перебувають у стадії розвитку.

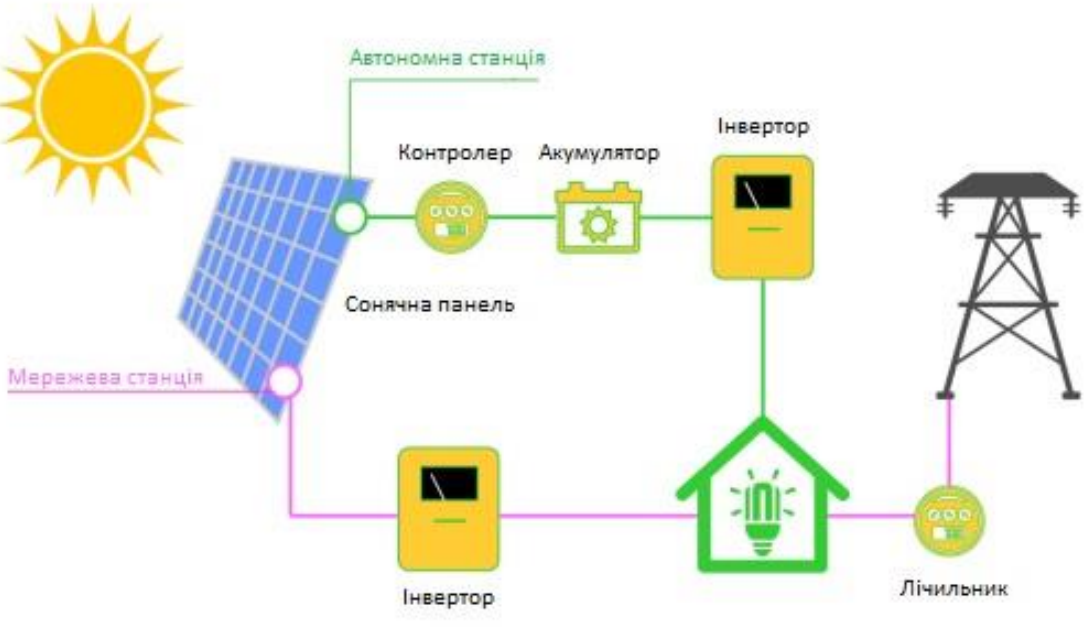


Рисунок 2.6 - Принцип роботи сонячної батареї у будинку

2.4.3 Економія електроенергії

Отриману електрику потрібно вміти витрачати з розумом. Для цього стануть у нагоді наступні рішення :

- використання світлодіодних ламп, які вдвічі економніші за

люмінісцентні і майже в 10 разів економніші за звичайні лампочки;

- використання енергозберігаючої техніки класу А, А+, А++ тощо. Нехай спочатку вона трохи дорожча, ніж ті ж пристрої з більш високим енергоспоживанням, у майбутньому економія буде значною;
- використання датчиків присутності, щоб світло в кімнатах не горіло даремно, та інших розумних систем, про які було сказано вище, якщо довелося використовувати електрику для опалення, звичайні радіатори краще замінити на більш досконалі системи.

Це теплові панелі, які витрачають вдвічі менше електроенергії, ніж традиційні системи, що досягається за рахунок використання теплоакумулюючого покриття. Подібну економію забезпечують і монолітні кварцові модулі, принцип дії яких ґрунтується на здатності кварцового піску накопичувати та утримувати теплоту.

Ще один варіант - плівкові променисті електричні нагрівачі. Вони кріпляться на стелю, а інфрачервоне випромінювання нагріває підлогу та предмети в кімнаті, за рахунок чого досягається оптимальний мікроклімат приміщення та економія електрики.

2.5 Проектування систем водопостачання для «пасивного» будинку

Однією з проблем реалізації комфортної експлуатації індивідуального житлового будинку є можлива відсутність природного або техногенного водного ресурсу.

У ситуації де підземний водний джерело здатне забезпечити потреба лише у питній воді й у господарсько побутових потреб його мало. Також у регіонах з непостійним режимом водних об'єктів.

З метою забезпечення потреби у воді господарсько-побутового призначення для таких умов влаштовують системи збору зливового стоку.

Нижче представлені варіанти конструкції системи збору зливового стоку.





Рисунок 2.7 - Встановлення накопичувальної ємності на поверхні



Рисунок 2.8 - Встановлення накопичувальної ємності з заглибленням у ґрунт

Використання зливового стоку для господарсько побутових потреб є дуже ефективною системою. Економія бюджету, знижується витрата на амортизацію насосного та очисного обладнання :

1. Простота системи, можлива не заводське рішення.

2. Можливість використання води без застосування очищення поливу.

3. Підходить для комбінованого використання із непостійними джерелами води.

4. Не потрібне дотримання дозвільної документації та норм, при встановленні та експлуатації.

5. Природна м'якість води допомагає ефективно використовувати її в приладах нагріву води без утворення накипу.

Нюанси використання полягає в наступному:

1. Складна реалізація із плоским дахом.

2. Неможливість використання з деякими матеріалами покрівлі.

3. Можливе промерзання у зимовий період.

Виходячи з нашого кліматичного регіону для систем водопостачання з

метою господарсько-побутових потреб кращий вибір конструкції з поглибленням накопичувальної ємності в ґрунт.

Використання матеріалів ємності із полімерів.

2.5.1 Система збору зливового стоку

В результаті дослідження питання було розроблено систему збору дощової води, представлену на рисунку 2.9.

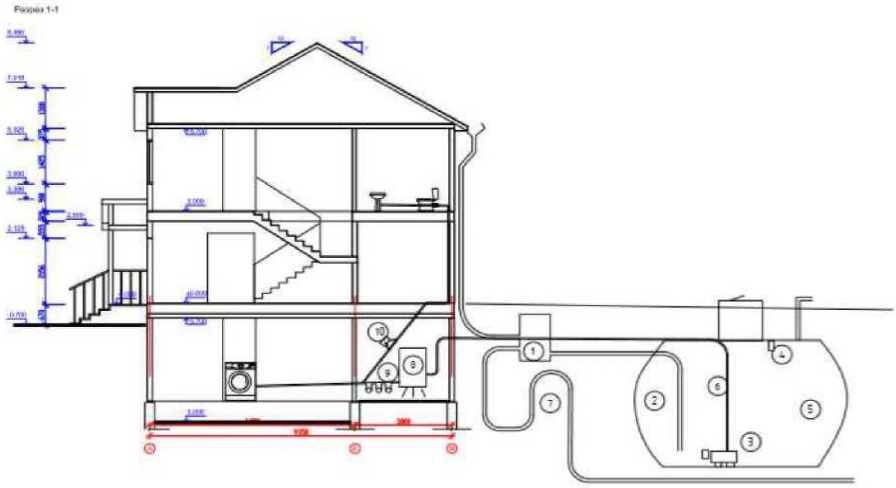


Рисунок 2.9 - Система збирання дощової води

Таблиця 2.1 – Основні компоненти системи

№	Найменування	Призначення
1	Розподільча камера	Розподіл потіку залежно від наповнення резервуар
2	Підвідна труба	прямовує потік від камери в резервуар
3	Занурювальний насос	Подача води із резервуару
4	Датчик рівня води	Контроль рівня води
5	Резервуар	Накопичення води
6	Відвідна труба	Направляє потік від резервуара до гідроакумулятора
7	Труба скидання	Звільнення від надлишку води
8	Гідроакумулятор	Підтримка тиску в системі
9	Фільтри	Очищення води
10	Електромагнітний клапан тиску	Контролює роботу насоса та гідроакумулятора

2.5.2 Розрахунок обсягу накопичувальної ємності

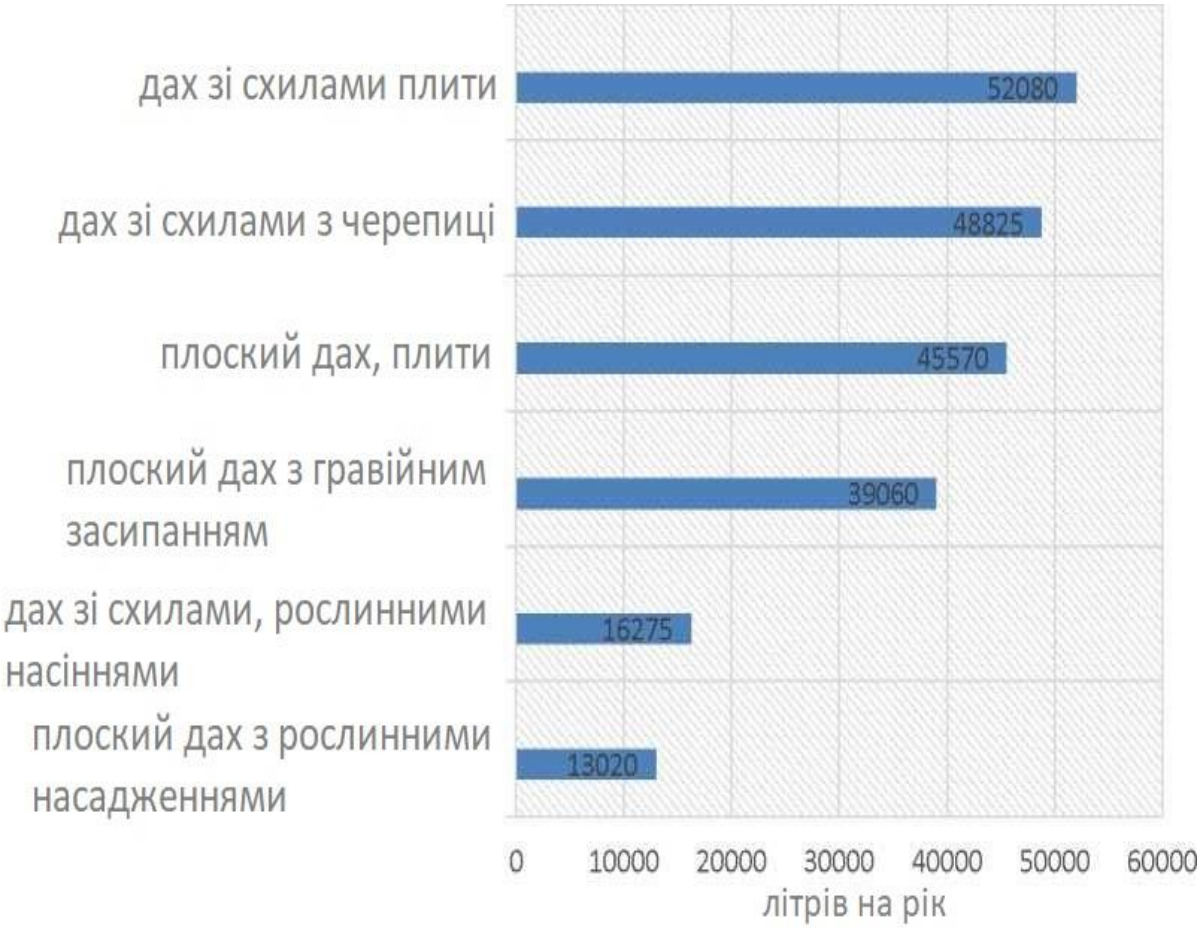


Рисунок 2.10 - Графік залежності збирання дощової води від типу даху

З розрахунку форма даху будівлі для ефективного збирання води повинна мати скат та була виконана з черепиці.

Розрахунок наповнюваності ємності за формулою :

$$V=(S*A*k)/1000\ , \qquad (2.1)$$

де :

V - обсяг зібраної води;

S - загальна площа даху $м^2$;

A -сума опадів у мм;

k - коефіцієнт ефективності збирання води, k = 0,75.

Таблиця 2.2 - Розрахунок опадів у різні періоди року

Період року	Кількість опадів на рік	Площа збору	Коефіцієнт стоку	Кількість притоку опадів на рік(л/рік)	Кількість опадів на день(л/день)
Середньорічне	464	140	0.75	48824	133,7674
Квітень Жовтень	373	140	0.75	39273	107,586
Листопад Березень	111	140	0.75	11762	32,21912

В результаті розрахунку при використанні даху зі скатом без зелених насаджень, в умовах помірної кліматичної зони вдасться акумулювати 133 літри води на день.

2.5.3 Розрахунок потреби у дощовій воді

Було здійснено розрахунок необхідної кількості води сім'єю з 4 осіб протягом року, тільки для господарсько побутових потреб не включають питну воду.

Таблиця 2.3 - Норма витрати на одну особу

Зливний бак (на особу)	15 $м^3$/рік
Пральна машина (на особу)	5 $м^3$/рік
Кран для миття/прибирання (на особу)	1 $м^3$/рік
Душова кабіна	10 $м^3$/рік
Потреби людини на рік	=31 $м^3$/рік

Якщо врахувати витрату дощової води з метою поливу, то до підсумкової витрати додається по 24 л/рік на кожен квадратний метр площі поливу.

Для розрахунку приймаємо площу ділянки поливу в 150 м^2.

150м^2 х24 л/рік=3.6 м^3/рік

Підсумкова витрата 127.6 м^3/рік

Середньодобова витрата становитиме 0,345890 м^3/день.

Досвід показує, що обсяг резервуара для зберігання 2-3 тижневого запасу води є оптимальним. Більший обсяг призводить до погіршення якості води, менший до більшого використання питної води.

2.5.4 Період наповнюваності ємності

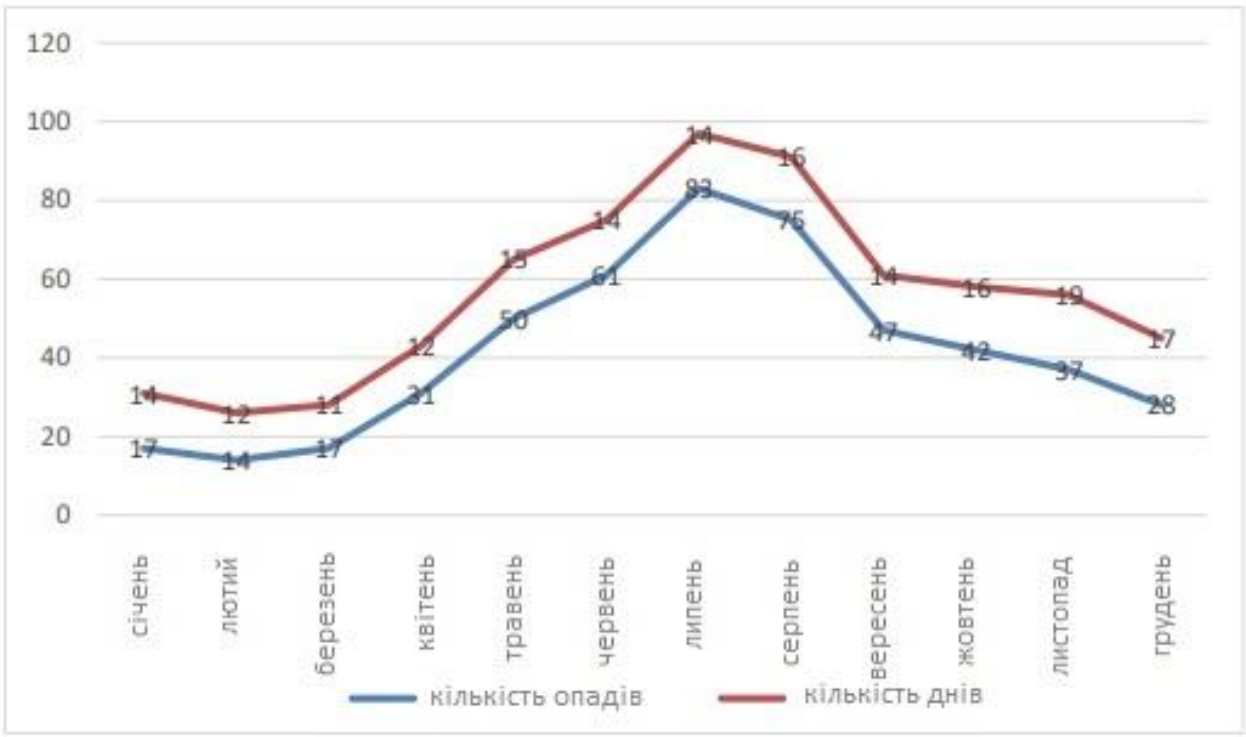


Рисунок 2.11 - Кількість опадів та кількість днів

Було виведено залежність заповнення ємності від періодів випадання опадів.



Рисунок 2.12 - Ефективність збору води у різні періоди року

2.6 Гаряче водопостачання

Оскільки потреба в гарячій воді в будь-якому котеджі залежить від кількості користувачів і звичок, гаряче водопостачання (ГВП) у пасивних будинках може становити домінуючу частку в сукупних енергетичних витратах будівлі. У зв'язку з тим, що для пасивного будинку встановлено жорсткий норматив сумарної витрати первинної енергії для всіх потреб – 120 кВт·год/м^2 на рік – на опалення, ГВП, електрику, реалізація системи ГВП має здійснюватись найбільш енергоефективним способом. Як такий спосіб рекомендується комбінація компактних теплових насосів із сонячними колекторами. У такому випадку звичайний накопичувальний бак замінять спеціальною ємністю, що забезпечує нагрівання води не тільки від опалювального приладу, а й від сонця. Обсяги таких «сонячних» накопичувальних баків більші (як правило, від 500 л.). Це рішення дозволяє забезпечувати ГВП виключно за рахунок сонячної енергії протягом приблизно півроку, і в цей час енерговитрати на гаряче водопостачання близькі нулю.

2.7 Вибір матеріалів для зведення пасивного будинку

Коефіцієнти теплопередачі (U-значення) для зовнішніх стін, плит перекриття та дахових конструкцій у Пасивних Будинках зазвичай знаходяться в межах від 0,10 до 0,15 Вт/(м²·К) (для умов помірного клімату). Це значення може дещо змінюватися залежно від клімату — бути трохи вищим або нижчим. Такі показники є не лише стандартами для всіх методів будівництва, але й найбільш економічно вигідними за нинішніх цін на енергоносії.

У Пасивних Будинках, завдяки покращеній теплоізоляції, теплові втрати в холодну пору року зводяться до мінімуму. Температура внутрішніх поверхонь зовнішніх стін практично дорівнює температурі повітря в приміщенні, незалежно від використовуваної системи опалення. Це сприяє ефективному захисту будівельних конструкцій та запобігає пошкодженням через накопичення вологи.

У теплих кліматичних зонах або влітку якісна теплоізоляція також забезпечує надійний захист від спеки. Для створення комфортного мікроклімату в спекотний період важливими є системи затінення вікон та ефективна механічна вентиляція.

Ефективність Пасивних Будинків значною мірою забезпечується надійною ізоляцією та герметичністю конструкцій. Ще одним важливим аспектом є принцип «Проектування без теплових містків», який передбачає рівномірне утеплення будівлі по всьому периметру без утворення слабких місць, таких як холодні кути. Це не лише знижує теплові втрати, а й підвищує якість внутрішнього клімату, забезпечує комфорт і запобігає пошкодженню будівлі через підвищену вологість.

Досягти настільки низьких U-значень можливо лише за умови використання високоякісних ізоляційних матеріалів. У таблиці 2.4 наведено необхідну товщину зовнішніх конструктивних елементів будівлі, виготовлених із зазначених матеріалів, для забезпечення стандартного U-

значення 0,13 Вт/(м²·К), відповідного вимогам Пасивного Будинку.

Таблиця 2.4 - Товщина матеріалів в залежності від теплопровідності

Матеріал	Теплопровідність Вт/(м²*К)	Товщина, необхідна для U=0.13 Вт/(м²*К); м
1	2	3
Залізобетон	2.31	17.35
Повнотіла цегла	0.81	6.03
Цегла — саман	0.42	3.02
Пориста цегла, пористий бетон	0.11	0.83
М’яка деревина	0.13	0.98
Типові ізоляційні матеріали	0.044	0.32
Солома	0.055	0.42
Нанопористі суперізоляційні матеріали нормального тиску	0.014	0.13
Звичайна високоякісна теплоізоляція	0.025	0.19
Вакуумний ізоляційний матеріал (діоксид кремнію)	0.007	0.06
Вакуумний ізоляційний матеріал (високий вакуум)	0.002	0.014

Таблиця чітко демонструє такі висновки:

- Чим нижча теплопровідність ізоляційного матеріалу, тим тоншою може бути конструктивна оболонка будівлі.
- Стіни для Пасивного Будинку можуть бути виготовлені навіть із солом'яних тюків товщиною 50 см і більше.
- Типові ізоляційні матеріали (наприклад, мінеральна вата, полістирол, целюлоза) потребують ізоляційного шару товщиною приблизно 30 см.
- Застосування пінополіуретану дозволяє зменшити товщину стіни до 20 см, зберігаючи необхідні ізоляційні властивості.
- Сучасні матеріали для вакуумної ізоляції забезпечують надзвичайно тонкі, але високоізольовані будівельні елементи.
- Ще одним ефективним рішенням є “напівпрозорий конверт”, який спрямовує частину сонячного випромінювання всередину будівлі. Це зменшує температурну різницю і дозволяє досягти нижчих еквівалентних U-значень (коефіцієнтів теплопередачі).

2.8 Підбір енергоефективного утеплювача

Для подальших розрахунків питомих характеристик будівлі буде прийнято дерев'яну каркасну систему, оскільки вона має низку переваг щодо інших систем з погляду енергоефективності. У цій системі основний обсяг огороджувальних конструкцій складає утеплювач.

Для проведення підбору найбільш відповідного утеплювача приймемо таку багатошарову конструкцію:

- штукатурка із цементно-піщаного розчину М150 товщиною 10 мм;
- лист OSB завтовшки 12 мм;
- утеплювач товщиною 200 мм;
- лист OSB завтовшки 12 мм.

Характеристики матеріалів конструкції стінового огородження зведено

до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Характеристики матеріалів конструкції стінового огородження

Матеріал	Щільність ρ, кг/м^3	Коефіцієнт теплопровідності $\lambda_А$, Вт/(м°С)
1	2	3
1. Штукатурка із цементно-піщаного розчину М150	1800	0,93
2. Лист OSB-3	600	0,16
3. Скловата Кам'яна вата Пінополіуретан Екструдований пінополістирол	85 100 54 25	0,050 0,045 0,041 0,031
4. Лист OSB-3	600	0,16

Розрахунок втрат теплоти через ділянку стінового огородження.

Усі температурні поля розраховуються для температури зовнішнього повітря мінус 37°С та температури внутрішнього повітря 21°С.

Для плоского елемента умовний опір теплопередачі однорідної частини фрагмента теплозахисної оболонки визначається за такою формулою:

$$R_{01}^{ум} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum_S R_S + \frac{1}{\alpha_з}, \quad (2.2)$$

де $\alpha_в$ - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, Вт/(м^2°С);

$\alpha_з$ - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огороджувальної конструкції, Вт/(м^2°С);

R_s - термічний опір шару однорідної частини фрагмента, (м^2°С)/Вт.

Питомі втрати теплоти визначаються за такою формулою:

$$U_1 = 1/R_{o1}^{ум}, \quad (2.3)$$

де $R_{o1}^{ум}$ - умовний опір теплопередачі однорідної частини фрагмента теплозахисної оболонки, м^2°С/Вт.

Площа стіни, що увійшла до розрахункової ділянки $S_{1,1}$ = 1м^2. Втрата теплоти через ділянку однорідної стіни визначається за формулою:

$$Q_{1,1} = ([t_в - t_з]/(R_{o1}^{ум}))*S_{1,1}, \quad (2.4)$$

де $t_в$ - розрахункова температура внутрішнього повітря, °С;

$t_з$ - розрахункова температура зовнішнього повітря, °С;

$R_{o1}^{ум}$ - те саме, що і у формулі(2.3);

$S_{1,1}$ - площа однорідної частини конструкції, що увійшла до розрахункової області при розрахунку температурного поля, м^2.

Зробимо розрахунок даних показників для багатошарової конструкції із застосуванням кожного з видів утеплювача.

Розрахунок показників для багатошарової конструкції із застосуванням як утеплювач скловати.

Опір теплопередачі визначається за формулою (2.2):

$R_{o1}^{ум}$ = 1/8,7 + 0,01/0,93 + 0,012/0,16 + 0,2/0,050 + 0,012/0,16 + 1/23 =
= 4,319 м^2°С/Вт.

Питомі втрати теплоти визначаються за формулою (2.3):

U_1 = 1/4,319 = 0,232 Вт/(м^2°С).

Втрати теплоти через ділянку однорідної стіни визначаються за формулою (2.4):

$Q_{1,1}$ = [21 - (-37)]/(4,319*1)*1 = 13,43 Вт*ч/м^2.

Розрахунок показників для багатошарової конструкції із застосуванням як утеплювач кам'яної вати.

Опір теплопередачі визначається за формулою (2.2):

$R_{o1}^{ум}$ = 1/8,7 + 0,01/0,93 + 0,012/0,16 + 0,2/0,045 + 0,012/0,16 + 1/23 =

= 4,764 м^2°С/Вт.

Питомі втрати теплоти визначаються за формулою (2.3):

U_1= 1/4,764 = 0,210 Вт/(м^2°С).

Втрати теплоти через ділянку однорідної стіни визначаються за формулою (2.3):

$Q_{1,1}$ = [21 - (-37)]/(4,764*1)*1 = 12,17 Вт*ч/м^2.

Розрахунок показників для багатошарової конструкції із застосуванням як утеплювач пінополіуретану.

Опір теплопередачі визначається за формулою (2.2):

$R_{o1}^{ум}$ = 1/8,7 + 0,01/0,93 + 0,012/0,16 + 0,2/0,041 + 0,012/0,16 + 1/23 =

= 5,197 м^2°С/Вт.

Питомі втрати теплоти визначаються за формулою (2.3):

U_1 = 1/5,197 = 0,192 Вт/(м^2°С).

Втрати теплоти через ділянку однорідної стіни визначаються за формулою (2.4):

$Q_{1,1}$ = [21 - (-37)]/(5,197*1)*1 = 11,16 Вт*ч/м^2.

Розрахунок показників для багатошарової конструкції із застосуванням як утеплювач екструдованого пінополістиролу.

Опір теплопередачі визначається за формулою (2.2):

$R_{o1}^{ум}$ = 1/8,7 + 0,01/0,93 + 0,012/0,16 + 0,2/0,031 + 0,012/0,16 + 1/23 =

=6,771 м^{2}С/Вт.

Питомі втрати теплоти визначаються за формулою (2.3):

U_1 = 1/6,771 = 0,148 Вт/(м^2^°С).

Втрати теплоти через ділянку однорідної стіни визначаються за формулою (2.4):

$Q_{1,1}$ = [21 - (-37)]/(6,771)*1 = 8,57 Вт^ч/м^2.

Результати розрахунків зведено до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Результати розрахунків тепловтрат

Вид утеплювача	Опір теплопередачі, м^2°С/Вт	Питома втрата теплоти, Вт/(м^2°С)	Втрати теплоти через однорідну ділянку стіни, Вт*ч/м^2
1	2	3	4
Скловата	4,319	0,232	13,43
Кам'яна вата	4,764	0,210	12,17
Пінополіуретан	5,197	0,192	11,16
Екструдований пінополістирол	6,771	0,148	8,57

Тарифи на теплову енергію Концерн "Міські теплові мережі" станом на 01.08.2024 становлять 1655,076 грн./Гкал.

Таблиця 2.7 - Тепловтрати та витрати на опалення за розрахунковий період

Показник	Огородження зі скловатою	Огородження з кам'яною ватою	Огородження з пінополіуретаном	Огородження з екструдованим пінополістиролом
1	2	3	4	5
Тепловтрати, Вт*ч/м^2	13,43	12,17	11,16	8,57
Тепловтрати, Гкал рік/м^2	0,06457438	0,05851247	0,05366294	0,04120378
Витрати на централізоване опалення, грн/м^2	106,87	96,84	88,81	68,19

2.9 Висновки до розділу 2

Для досягнення високих показників енергоефективності необхідно ретельно спланувати проєкт, правильно підібрати матеріали та виконати розрахунок тепловтрат.

Забезпечити оптимальний ізоляційний ефект будівельної оболонки з мінімальною товщиною компонентів можливо переважно завдяки використанню сучасних ефективних ізоляційних матеріалів. Найбільш підходящими для цього є матеріали, зазначені в нижній частині таблиці.

У деяких випадках доцільно комбінувати різні будівельні матеріали для створення захисних конструкцій. Наприклад, можна застосувати бетонну стіну з зовнішнім утепленням або звести монолітну стіну з пористого бетону, поєднану з мінеральними панелями або ізоляційною піною.

РОЗДІЛ 3
РОЗРАХУНОК ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БУДІВЛІ

3.1 Загальна характеристика будівлі

Ділянка для будівництва Пасивного Будинку розташована у Київської області (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 - Розташування ділянки під будівництво Пасивного Будинку

Площа ділянки складає 1253 м^2. Висота над рівнем моря 158 м. Рельєф ділянки рівний, без перепадів висоти.

Основні конструкційні характеристики об’єкту:

Загальна площа будинку	378,1 м^2
Загальна площа терас і балконів	42,4 м2
Опалювальна площа будинку	174,5 м2
Кількість поверхів	2
Площа північного фасаду будинку	140 м^2
Площа південного фасаду будинку	148,75 м^2
Площа бічного фасаду	57,6 м^2
Площа зовнішніх стін	408 м^2
Тип даху	односкатний (перепад висот від 7,2 м до 6,78 м)
Кут нахилу даху	3^o

На рисунках 3.2 та 3.3 схематично зображені південний та бічний фасади пасивного будинку відповідно.

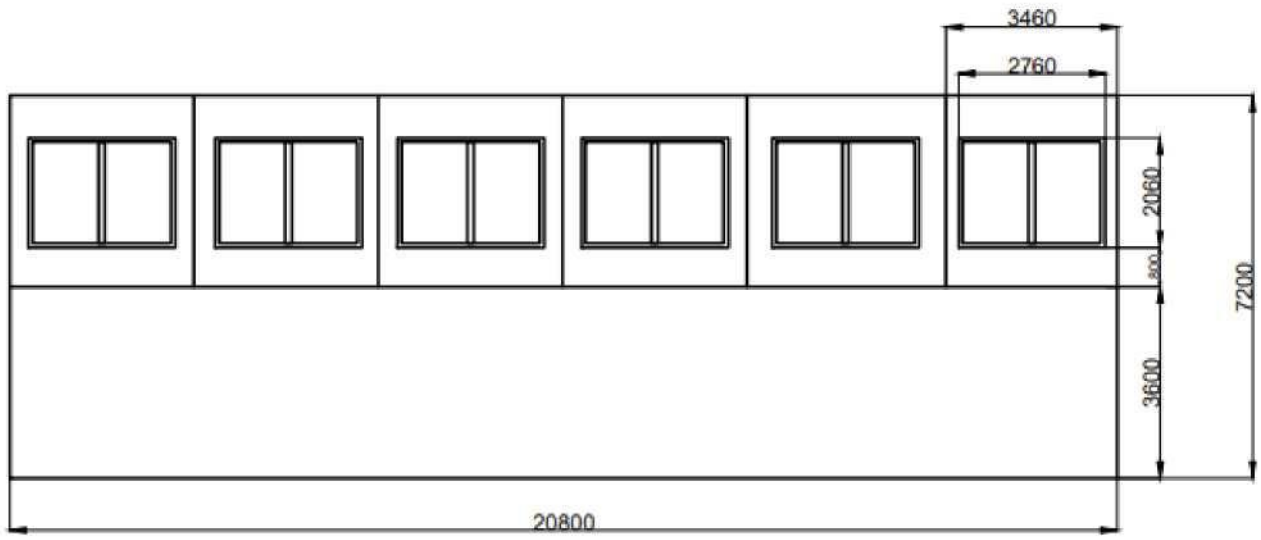


Рисунок 3.2 - Креслення південного фасаду будинку

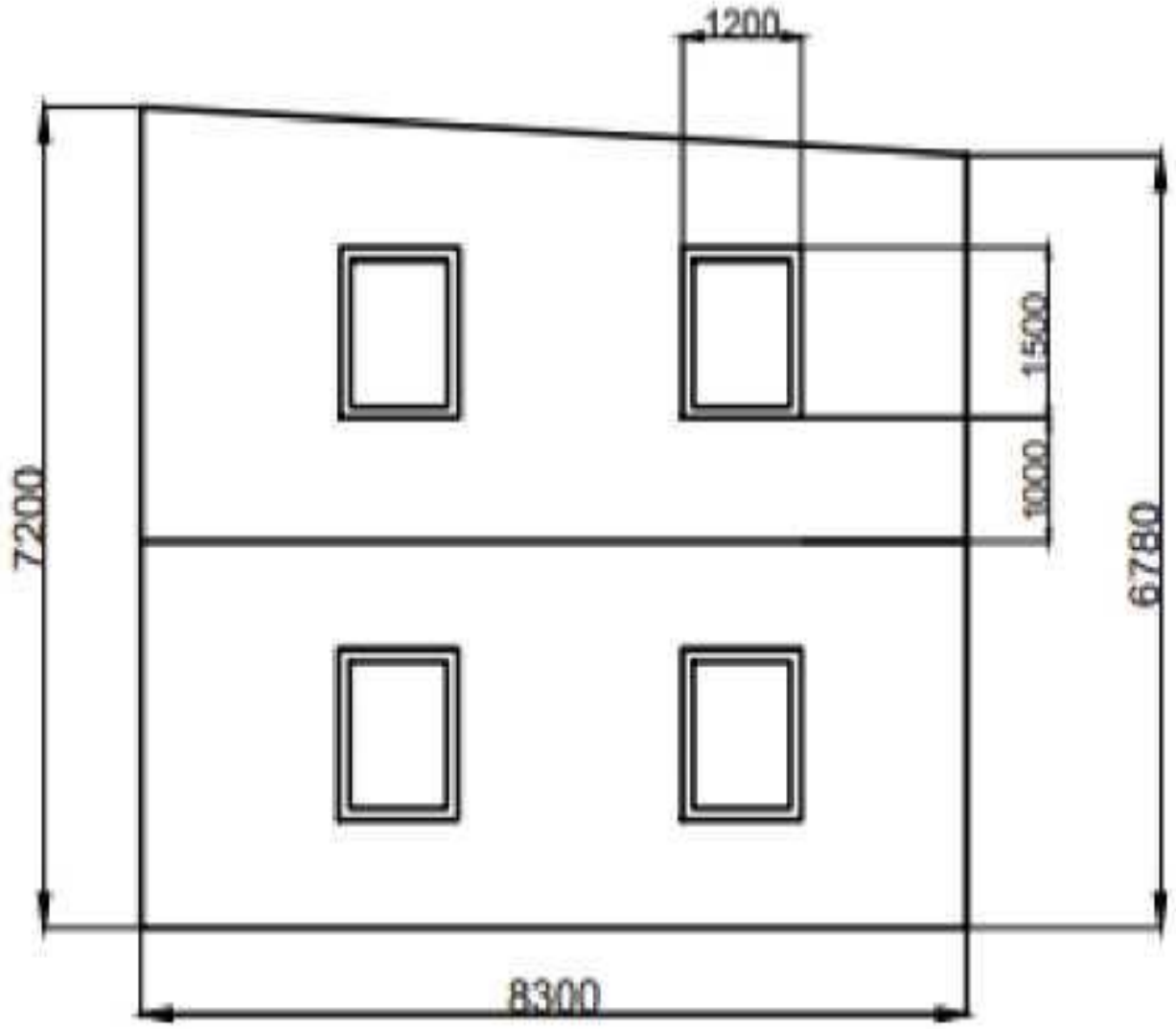


Рисунок 3.3 - Креслення бічного фасаду будинку

3.2 Кліматичні характеристики зони будівництва

Клімат Київської області є помірно континентальним, з м'якою зимою та достатньою вологістю. Зими довгі, але помірно теплі, а літа — теплі та вологі. Середня температура січня на півночі області становить -6,5°C, у центральних районах -5,8°C, на півдні -6,1°C. Липнева температура коливається від +19,2°C на півночі до +20,1°C на півдні. Безморозний період триває 160-165 днів. Тривалість періоду з температурою понад +10°C варіюється від 155 днів на Поліссі до 160-165 днів на південь і сході області. Щорічні опади складають

500-600 мм, на крайньому півдні — 400-500 мм, більша частина яких (близько 40%) випадає влітку. Сніговий покрив, заввишки 25-30 см (на півдні 15-20 см), утворюється в середині грудня і тане в кінці березня. Серед несприятливих погодних явищ — сильні дощі з грозами, град, сухі періоди (до 5-10 днів), пилові бурі влітку, льодова кірка та ожеледь. Північ Київської області знаходиться в агрокліматичній зоні з помірно теплим та вологим кліматом, а південна частина — в зоні недостатньої вологи, з теплим кліматом. Детальні метеорологічні дані представлені в таблиці. 3.1.

На півночі області переважають дерново-підзолисті ґрунти, а в долинах річок зустрічаються дерново-оглеєні, лучні та болотні ґрунти. В центральній частині на лесових породах розвиваються чорноземи опідзолені типові, темно-сірі опідзолені та ясно-сірі лісові ґрунти. У південній частині зустрічаються глибокі малогумусні чорноземи та різноманітні типи сірих лісових ґрунтів. На Лівобережжі поширені типові малогумусні чорноземи, а також лучно-чорноземні, солонцюваті та солончакові ґрунти, включаючи болотні солончакові.[10]

Таблиця 3.1 - Метеорологічні дані

Кліматичні умови	Номер місяця											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Середня максимальна температура, °С	-5	-2	+13	+11	+22	+25	+24	+23	+21	+12	+5	-2
Середня мінімальна температура, °С	-11	-7	+4	+5	+12	+15	+16	+15	+11	+5	0	-5
Кількість сонячних	1	2	4	5	7	8	9	7	6	4	2	1

годин (в день)												
Кількість дощових днів (в місяць)	11	11	9	7	9	11	10	9	7	7	11	12
Кількість опадів в мм (за місяць)	42	41	36	44	54	64	71	72	48	46	52	42

На рисунку 3.4 зображена роза вітрів району, в якому розташована ділянка для будівництва Пасивного будинку. В таблиці 3.2 наведені дані частоти вітрового потоку у відсотках в залежності від напрямку. Завдяки цим даним можна зробити висновок, що найбільше вітер дує на ділянку з західної сторони. Отже, західний фасад будинку має бути добре ізольованим, щоб забезпечити неможливість продування стін та створення містків холоду.

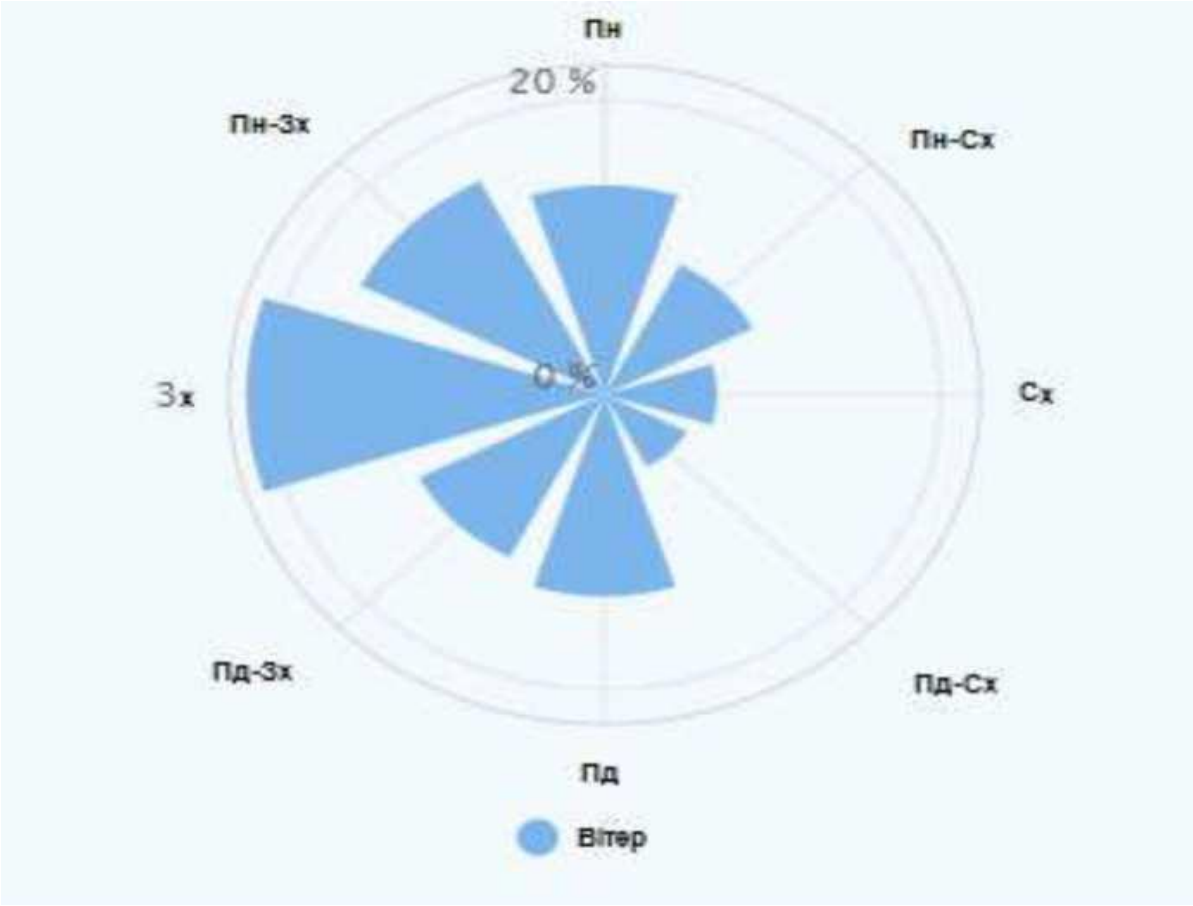


Рисунок 3.4 - Роза вітрів

Таблиця 3.2 - Частота вітрового потоку в залежності від напряму

Пн.	Пн.-Сх.	Сх.	Пд.-Сх.	Пд.	Пд.-Зх.	Зх.	Пн.-Зх.
14.2%	9.9%	6.7%	5.5%	13.7%	12.4%	21.3%	16.3%

3.3 Вибір ізолюючих матеріалів для будівництва

3.3.1 Вибір енергозберігаючих вікон

Було обрано енергозберігаючі вікна VEKA. Детальні характеристики вікон описані в таблиці 3.3. [23]

Таблиця 3.3 - Докладні характеристики вікон VEKA.

Кількість камер	7 / 6
Монтажна ширина (мм)	82
Товщина склопакета	от 24 до 52
Опір теплопередачі (з встановленим армуванням), $м^2С/Вт$	1
Виконання	Біле / Кольорове
Кольори ущільнень	Чорний, Сірий, Карамель
Ширина комбінації і рама-стулка в світловому прорізі (типовий варіант)	124
Висота фальца, мм	25
Матеріал ущільнень	АРТК, Силікон, ТРЕ (коекструдований)
Кількість контурів ущільнення	3

Системна платформа SOFTLINE 82 має оптимальну монтажну ширину, що дозволяє ефективно використовувати енергоефективні вікна, відповідаючи сучасним вимогам енергозбереження як для нових будівель, так і для тих, що проходять реновацію.

Теплоізоляційний ефект забезпечується завдяки інноваційному напиленню на внутрішній стороні скла, яке функціонує як дзеркало. Це покриття відбиває теплове випромінювання від опалювальних приладів, повертаючи його назад у приміщення, що дозволяє зберігати тепло і значно зменшує потребу в інтенсивному опаленні. Напилення непомітне для ока, але при цьому ефективно пропускає видиму частину сонячного спектра.

Енергоефективне вікно не лише утримує тепло, але й допомагає знизити витрати на опалення. Завдяки цьому, зникає потреба в купівлі потужних обігрівачів, що також оптимізує витрати.

«Тепла рамка» — це пластиковий дистанційний профіль, який, на відміну від традиційного алюмінієвого, має нижчу теплопровідність. Завдяки цьому, на місцях контакту рамки зі склом при значному зниженні температури зовні не утворюється лід, що виключає ризик промерзання склопакета. Крім того, використання «теплої» рамки значно зменшує ймовірність утворення конденсату на склопакетах.

3.3.2 Вибір матеріалів для будівництва стін

Згідно з рекомендаціями «Інституту пасивного будинку» в Дармштадті (Німеччина), коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін пасивних будинків не повинен перевищувати значення $U < 0{,}15$ Вт/(м²·К). Відповідно, коефіцієнт опору теплопередачі, який регламентується в Україні, має бути не менше $R > 6{,}67$ (м²·К)/Вт. Для порівняння, вимоги до теплоізоляції зовнішніх стін в найхолоднішій температурній зоні України, що охоплює більшу частину країни, окрім Закарпаття та південних прибережних регіонів, становлять $R > 3{,}3$ (м²·К)/Вт, а коефіцієнт теплопередачі $U < 0{,}30$ Вт/(м²·К).

Оскільки коефіцієнт теплопровідності найбільш поширених утеплювачів значно нижчий за показники теплоізоляції газобетону, для будівництва пасивних будинків зазвичай використовують стандартні газобетонні блоки Ytong Forte або Ytong Energo товщиною 24 см та 30 см. У рамках цієї магістерської дисертації було обрано газобетонні блоки Ytong Energo PP2/0,35 товщиною 30 см.

Мінімальна товщина газобетонних блоків Ytong для зведення одношарових стін, що відповідають українським стандартам теплоізоляції, становить 36,5 см. Товщина утеплених стін у пасивних будинках із використанням газобетону Ytong Forte та Ytong Energo залежить від коефіцієнта теплопровідності обраного утеплювача (Х) і варіюється від 39 до 45 см, не враховуючи фінішну обробку.

Використання газобетонних блоків Ytong дозволяє оптимально адаптувати параметри стін залежно від їх функціонального призначення. Завдяки високій міцності та теплоізоляційним характеристикам ці блоки дають змогу зменшити товщину стін у порівнянні з традиційними матеріалами, що, своєю чергою, збільшує корисну площу будинку.

Ще однією важливою перевагою є мінімізація теплових містків. Це досягається завдяки використанню тонкошарового розчину Ytong, системі «паз-гребінь», а також додатковим елементам системи, таким як перемички чи плити перекриття. Для кладки застосовують спеціальний мінеральний клей, що забезпечує товщину швів лише 1-3 мм, на відміну від традиційного цементно-піщаного розчину, де товщина швів становить 12-15 мм.

Тонкі шви значно підвищують теплоізоляційні властивості стін, оскільки «товсті» шви кладки є типовими тепловими містками, які можуть збільшувати тепловтрати на 20% і більше.

Газобетон виготовляється з вапна, цементу, піску та води, а роль газоутворювача виконує алюмінієва пудра. У процесі хімічної реакції між вапном і алюмінієм виділяється газ, який формує численні пори в структурі матеріалу. Напівфабрикат затвердіває та набуває міцності в автоклавній

камері за умов підвищеного тиску та температури 190°С. Така технологія виробництва виключає утворення тріщин і дефектів, мінімізує усадку матеріалу та усуває внутрішні напруження.

Газобетонна стіна виготовляється виключно з натуральних компонентів, таких як вапно, пісок і вода, що робить її «дихаючою» та екологічно безпечною. Завдяки високій паропроникності стіни значно знижується ризик появи грибка та плісняви, забезпечуючи здоровий мікроклімат у приміщенні.

Одношарові стіни мають важливу перевагу — швидкість будівництва. Наприклад, для будинку площею близько 150 м² зведення стін із блоків Ytong можна завершити всього за два тижні, що приблизно в чотири рази швидше, ніж за інших технологій. Завдяки цьому інвестиції у будівництво не розтягуються в часі, а кошти на зведення стін витрачаються одноразово.

Будівництво утеплених стін із газобетону є більш витратним, складним і тривалим процесом порівняно з одношаровими стінами. Такий підхід обирають у випадках, коли існують сумніви щодо забезпечення необхідного теплового комфорту одношаровою стіною. Додаткове утеплення фасаду також часто використовують для подальшої економії на опаленні та кондиціонуванні, оскільки утеплені стіни зазвичай мають вищий коефіцієнт опору теплопередачі (R) порівняно з одношаровими.

Основною перевагою утеплених стін є захист стінового матеріалу від температурних впливів. У двошарових конструкціях газобетон залишається сухим і не промерзає, що позитивно впливає на його довговічність і експлуатаційні характеристики.

Газоблоки в утеплених стінах максимально реалізують свій теплоінерційний потенціал — здатність накопичувати та поступово віддавати тепло. Це властивість дозволяє газобетонним стінам утримувати тепло навіть після вимкнення опалення, на відміну від, наприклад, каркасних конструкцій, які виконують лише функцію теплоізоляційної оболонки і не здатні акумулювати тепло.

У порівнянні з одношаровими стінами, утеплені газобетонні стіни мають важливу перевагу: фасадний утеплювач діє як теплоізоляційна «шуба». Завдяки цьому тепло опалення рівномірно прогріває всю товщу стіни. Водночас у одношарових стінах зовнішня частина газоблоків залишається холодною, що знижує їх загальну ефективність.

Обираючи теплоізоляційний матеріал для утеплення газобетонних стін, важливо враховувати паропроникність газобетону. Цей матеріал здатний поглинати надлишок вологи з повітря в приміщенні та, за потреби, повертати її назад. Завдяки цій властивості у будинках із газобетону створюється більш комфортний мікроклімат, ніж, наприклад, у каркасних будівлях, де стіни не пропускають пару. Щоб зберегти цю перевагу, для облицювання будинків із газоблоків рекомендується використовувати паропроникні матеріали.

Варто пам'ятати, що пара в паропроникній стіні переміщується назовні — від теплих приміщень до холодного повітря. Тому кожен зовнішній шар багатошарової стіни повинен мати вищу паропроникність, ніж внутрішній.

Серед двох найпоширеніших утеплювачів — пінополістиролу та мінеральної вати — перевагу слід віддавати мінеральній ваті, оскільки пінополістирол не пропускає пару. Для утеплення газобетонних стін рекомендовано використовувати мінеральну вату разом із паропроникними оздоблювальними матеріалами, такими як силіконові або силікатні штукатурки та фарби.

У рамках аналізу теплоізоляційних характеристик для розрахунків у дипломній роботі обрано мінеральну вату IZOVAT 125 із коефіцієнтом теплопровідності к = 0,037 Вт/м*К. На рисунку 3.5 представлено зовнішній вигляд газобетонної стіни, утепленої мінеральною ватою.

Під час будівництва нових споруд товщина теплоізоляційного шару вибирається одночасно з товщиною несучої стіни, причому можливі різні варіанти використання утеплювача різної товщини. Однак, окрім розрахунку коефіцієнта опору теплопередачі (R), важливо також враховувати положення точки роси. Точка роси визначає місце в стіні, де за умов зниження

температури від кімнатної до зовнішньої може відбуватися конденсація водяної пари.

Товщина газобетонних блоків Ytong Energo PP2/0,35 становить 30 см. Відповідно до таблиці 3.4, для забезпечення умов Пасивного будинку, при яких коефіцієнт теплопередачі утеплених стін U < 0,15 Вт/ ($м^2$ х К), необхідна товщина мінеральної вати IZOVAT 125 (λ=0,037 Вт/м*К) становить 15 см. При такій конфігурації стін коефіцієнт теплопередачі U 0,037 Вт/м*К).



Рисунок 3.5 - Зовнішній вигляд утепленої стіни для Пасивного Будинку

Таблиця 3.4 - Коефіцієнт теплопередачі U утеплених стін за умов використання газобетону Energo PP2/0,35 товщиною 30 см залежно від товщини утеплювача.

Коефіцієнт теплопровідності утеплювача, λ	Товщина утеплювача								
	6 см	8 см	10 см	12 см	15 см	18 см	20 см	25 см	30 см
0,043 Вт/(м*К)	0,219	0,198	0,182	0,168	0,150	0,136	0,128	0,111	0,098
0,040 Вт/(м*К)	0,214	0,193	0,176	0,162	0,144	0,130	0,122	0,106	0,094
0,037 Вт/(м*К)	0,208	0,187	0,170	0,156	0,138	0,124	0,117	0,101	0,089
0,035 Вт/(м*К)	0,204	0,183	0,166	0,151	0,134	0,120	0,112	0,097	0,085
0,033 Вт/(м*К)	0,200	0,179	0,161	0,147	0,129	0,116	0,108	0,093	0,082

3.4 Розрахунок стіни Тромба-Мішеля

Необхідна площа поверхні ($м^2$) заскленої південної теплоакумулюючої стіни Тромба визначається за формулою:

$$А_{ст} = \alpha_{ст} \bullet А_{буд} \quad (3.1)$$

де $А_{ст}$ - необхідна площа поверхні стіни Тромба,

$\alpha_{ст}$ - питома площа стіни Тромба, $А_{буд}$ - площа будинку.

Значення питомої площі стіни Тромба $\alpha_{ст}$, розраховані на 1 м² площі опалювальних приміщень, залежать від середньої температури зовнішнього повітря протягом зимового періоду (зокрема, грудня та першої половини січня) у місцевості розташування будинку, а також від матеріалу, який використовується для акумулювання тепла.

У таблиці 3.5 представлені значення питомої площі поверхні скління

стіни Тромба $\alpha_{ст}$ залежно від зимової температури зовнішнього повітря $T_в$ та методу акумулювання тепла.

Таблиця 3.5 - Питома площа скління стіни Тромба $\alpha_{ст}$, віднесена до 1 м^2 площі опалювальних приміщень будинку

Температура повітря взимку $T_в$, °С	$\alpha_{ст}$
-10	0,72...1,0
-4	0,5...0,93
2	0,35...0,6
7	0,22...0,35

Середня температура повітря взимку в Київській області - 5,8°, отже, враховуючи значення в таблиці обираємо $\alpha_{ст}$ = 0,72.

Товщина теплоакумулюючої стіни залежить від виду будівельного матеріалу, з якого вона зроблена:

- кам'яна стіна - 200 ... 300 мм;
- цегляна - 250 ... 350 мм;
- бетонна - 300 ... 450 мм;
- стіна з ємностей з водою - 150 мм.

Зі збільшенням товщини стіни добові коливання температури повітря всередині приміщень зменшуються (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 - Добові коливання температури в разі застосування бетонної стіни Тромба

Товщина бетонної стіни Тромба, мм	Добові коливання температури, ±°С
200	7
300	4
500	2,5

Швидкість поширення тепла в стіні залежить від співвідношення коефіцієнта теплопровідності матеріалу до його об’ємної теплоємності: чим

вище це значення, тим швидше поширюється тепло. Водночас товщина стіни може залишатися значною.

Для цієї магістерської роботи оптимальним рішенням є вибір товщини бетонної стіни 500 мм, що забезпечує мінімальні добові коливання температури всередині Пасивного будинку.

Прийнято рішення використовувати конструкцію стіни Тромба-Мішеля для південної стіни першого поверху будинку, а на другому поверсі передбачити великі панорамні вікна для проникнення сонячного тепла всередину. Таким чином, площа стіни Тромба становить половину площі південного фасаду будинку, яка дорівнює 148,75 м². Отже, площа стіни Тромба приймається рівною 74,88 м².

Використовуючи формулу 3.1, буде розраховано необхідну площу стіни Тромба-Мішеля для забезпечення будинку з житловою площею 174,5 м² усією необхідною тепловою енергією.

$$A_{ст} = 0,72 * 174,5 = 125,64 \text{ м}^2$$

Для даного проєкту з площею стіни Тромба-Мішеля 74,88 м² передбачено покриття 59,6% теплового навантаження будинку.

Проєктом запланована масивна бетонна південна стіна першого поверху будівлі, пофарбована в темний колір із шорсткою поверхнею, захищена зовні двошаровим заскленням. Сонячна радіація, проходячи через скло, поглинається поверхнею стіни, яка виконує функції теплоприймача та акумулятора енергії. Звичайне віконне скло добре пропускає сонячне випромінювання в діапазоні хвиль 400–3000 нм, але майже не пропускає інфрачервоні хвилі (~10 мкм), що випромінюються чорною поверхнею. Унаслідок цього повітря у заскленому прошарку нагрівається, створюючи «парниковий ефект», що є основою роботи більшості сонячних колекторів.

У верхній і нижній частинах стіни передбачено отвори з клапанами, які дозволяють нагрітому повітрю підніматися до стелі, а холодному – опускатися

донизу, забезпечуючи природну конвекцію при позитивній різниці температур між повітрям у прошарку і в приміщенні. Клапани запобігають зворотній циркуляції повітря за відсутності сонячного освітлення.

Для зменшення ризику літнього перегріву передбачено отвір із клапаном у верхній частині засклення, який залишається закритим у період опалення. Улітку верхні отвори перекриваються, а для уникнення перегріву можна застосовувати сонцезахисні засоби.

Таким чином, опалення приміщення здійснюється за рахунок надходження теплого повітря та теплопередачі від акумульованого в стіні тепла. У деяких випадках отвори не передбачаються, що призводить до більшого нагрівання стіни та збільшення теплопередачі в приміщення. Однак у такій конфігурації обігрів стає повільнішим, оскільки тепло проникає крізь товщу стіни. Водночас, через підвищену температуру повітря в прошарку та затемненої поверхні зростають тепловтрати через скління. Загальний обсяг утилізованого тепла у варіанті з конвективними потоками буде більшим, оскільки основна частина надходить у приміщення безпосередньо під час сонячного опромінення.

Рекомендується вибирати конфігурацію та розміри переплетів скління з мінімальним затіненням у період опалення та максимальним сонцезахистом улітку. Співвідношення площі переплетів до загальної площі скління не повинно перевищувати 0,1. Коефіцієнт пропускання одного шару скла при відсутності забруднення та перпендикулярному падінні сонячного світла має бути не менше 0,83.

Рекомендована товщина скла становить 2–4 мм для вертикальних елементів і 4–6 мм для похилих. Для зручності заміни та очищення скла в процесі експлуатації необхідно забезпечити вільний доступ до скління. Це може бути досягнуто шляхом збільшення простору між стіною та склом або облаштуванням повітряного прошарку у вигляді прохідної галереї.

Мінімальна відстань між зовнішньою поверхнею стіни-теплоприймача та склінням має становити 15–20 см.

3.5 Розрахунок теплових втрат будівлі

Основні теплові втрати будинку складаються з втрат через стіни, вікна,стелю, двері та підлогу.

Теплові втрати через зовнішні стіни:

$F_{ст}$ = 408 м^2 — повна площа теплообміну зовнішніх стін дому ;

α_1 = 23 Вт /м^2*К - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої стіни в навколишнє середовище, визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток Б;

α_2 = 8.7 Вт/м^2*К - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої стінки допримщення, визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток Б;

δ_1= 0,3 м - товщина зовнішньої стіни (газобетон);

λ_1 = 0,095 Вт/м*К - теплопровідність матеріалу зовнішньої стіни (газобетон);

δ_2= 0,15 м - товщина ізоляції стіни (мінеральна вата);

λ_2 = 0,037 Вт/м*К - теплопровідність матеріалу ізоляції (мінеральна вата);

$t_{ВН}$ = 20 ^{o}C - внутрішня температура приміщення, яка визначена згідно ДБН В.2.6-31:2016, Додаток В, таблиця В.2;

$t_{ЗОВН}$ = -22 ^{o}C — найменша температура навколишнього середовища за опалювальний період, на яку розраховується система теплопостачання, визначається згідно ДБН В.2.6-31:2016, Додаток В, таблиця В.4;

$$Q_{\text{стіни}} = \frac{F_{\text{ст}} * (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{408 * (20 - (-20))}{\frac{1}{23} + \frac{1}{8.7} + \frac{0.3}{0.095} + \frac{0.15}{0.037}} = 2301 \text{ Вт}$$

Теплові втрати через стелю:

У цьому проєкті заплановано утеплений односхилий дах, покритий бітумною черепицею (рисунок 3.6). Бітумна черепиця являє собою гнучкий покрівельний матеріал на основі скловолокна, покритий дрібнозернистою кам’яною крихтою. Для покриття даху використовуються не суцільні листи, а

окремі гонти різної форми.

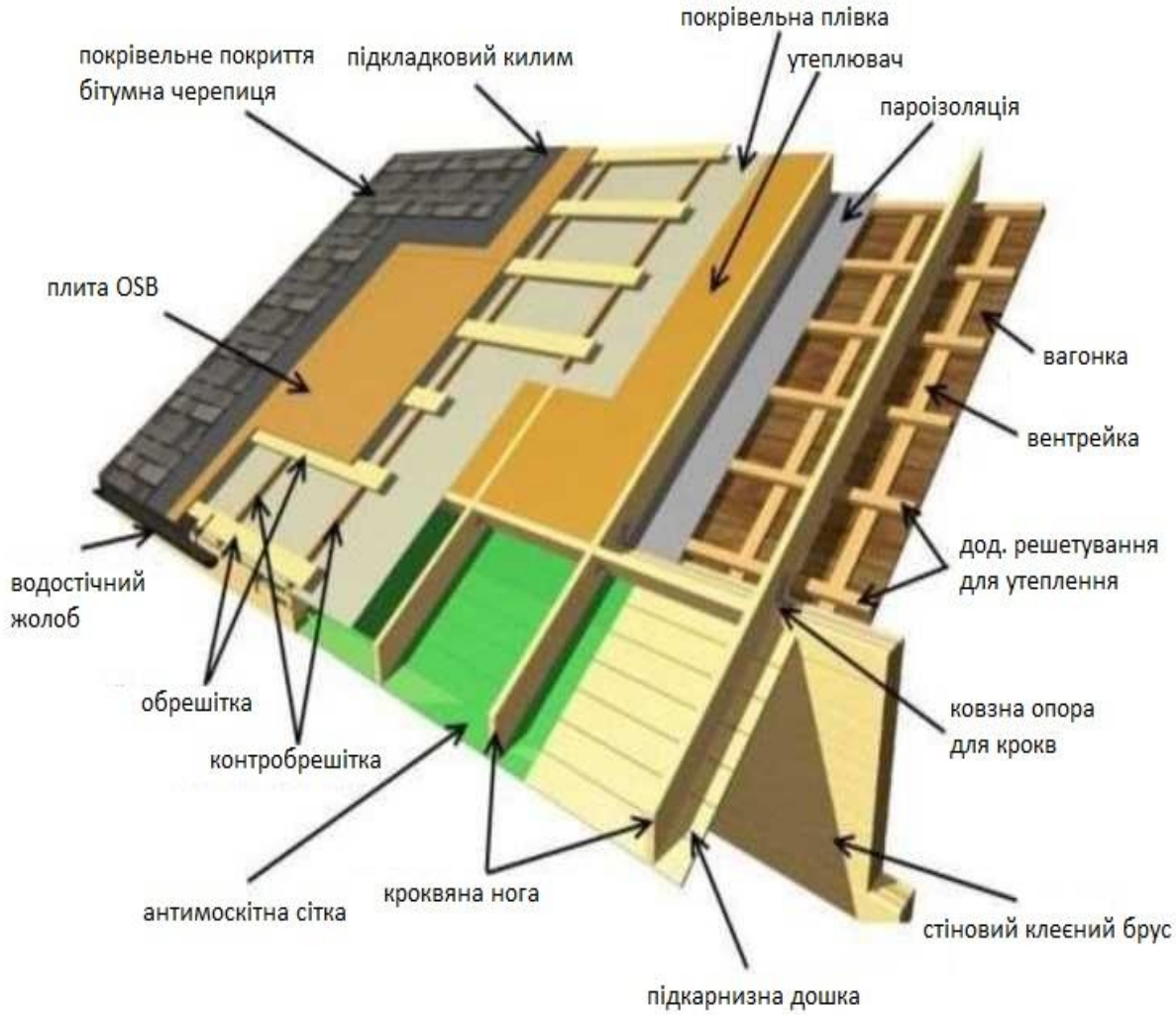


Рисунок 3.6 - Облаштування односхилого даху з бітумної черепиці

$F_{стелі}$= 174,5 м^2 - повна площа теплообміну стелі будинку;

α_1 = 6 Вт /м^2*К - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стелі на горищні перекриття, що не вентилюються зовнішнім повітрям, визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток Б;

α_2 = 8.7 Вт /м^2*К - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні стелі до приміщення, визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток Б;

δ_1 = 0,022 м - товщина 1 шару стелі (вагонка);

λ_1 = 0,16 Вт /м*К - теплопровідність матеріалу 1 шару стелі;

δ_2 = 0.04 м - товщина 2 шару стелі (доски дерев'яні);

λ_2 = 0.15 Вт /м*К - теплопровідність матеріалу 2 шару стелі;

δ_3 = 0.2 м - товщина 3 шару стелі (мінеральна вата);

λ_3 = 0,037 Вт /м*К - теплопровідність матеріалу ізоляції (мінеральна вата);

δ_4 = 0.2 м - товщина 4 шару стелі (балки);

λ_4 = 0.23 Вт /м*К - теплопровідність матеріалу 4 шару стелі;

δ_5= 0.04 м - товщина 5 шару стелі (доски дерев'яні);

δ_6= 0.01 м - товщина 6 шару стелі (плити деревноволокнисті деревностружкові);

λ_6= 0.08 Вт /м*К - теплопровідність матеріалу 5 шару стелі;

δ_7= 0,0031 м - товщина бітумної черепиці;

λ_7 = 0,17 Вт /м*К - теплопровідність бітумної черепиці.

$$Q_{\text{стелі}} = \frac{F_{\text{стелі}} * (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{\delta_7}{\lambda_7}} =$$

$$= \frac{174{,}5 * (20 - (-22))}{\frac{1}{6} + \frac{1}{8{,}7} + \frac{0{,}022}{0{,}16} + \frac{0{,}04}{0{,}15} + \frac{0{,}2}{0{,}037} + \frac{0{,}2}{0{,}23} + \frac{0{,}04}{0{,}15} + \frac{0{,}01}{0{,}08} + \frac{0{,}0031}{0{,}17}} = 993{,}5 \text{ Вт}$$

Теплові втрати через підлогу:

F= 174,5 м^2 - повна площа теплообміну підлоги будинку;

Втрати теплоти крізь підлогу, розташовану на грунті або на лагах, підраховуються за зонами з урахуванням відстані зон від зовнішніх стін (рисунку 3.7) за формулою:

$$Q_{\text{підлоги}} = \left(\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \frac{F_3}{R_3} + \frac{F_4}{R_4}\right)(t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})$$

де F_1, F_2, F_3, F_4 - площа відповідно першої, другої, третьої та четвертої зон, м^2;

R_1, R_2, R_3, R_4 - термічний опір відповідно першої, другої, третьої та четвертої зон, ($м^2К$)/Вт.

Смуга підлоги шириною 2 м, розташована паралельно до зовнішньої стіни, називається зоною. Зона, найближча до зовнішньої стіни, позначається як перша, наступні – друга і третя, а решта площі підлоги вважається четвертою зоною. Частина першої зони розміром 2×2 м, яка примикає до кута зовнішніх стін, характеризується підвищеними тепловтратами і враховується з подвійним коефіцієнтом.

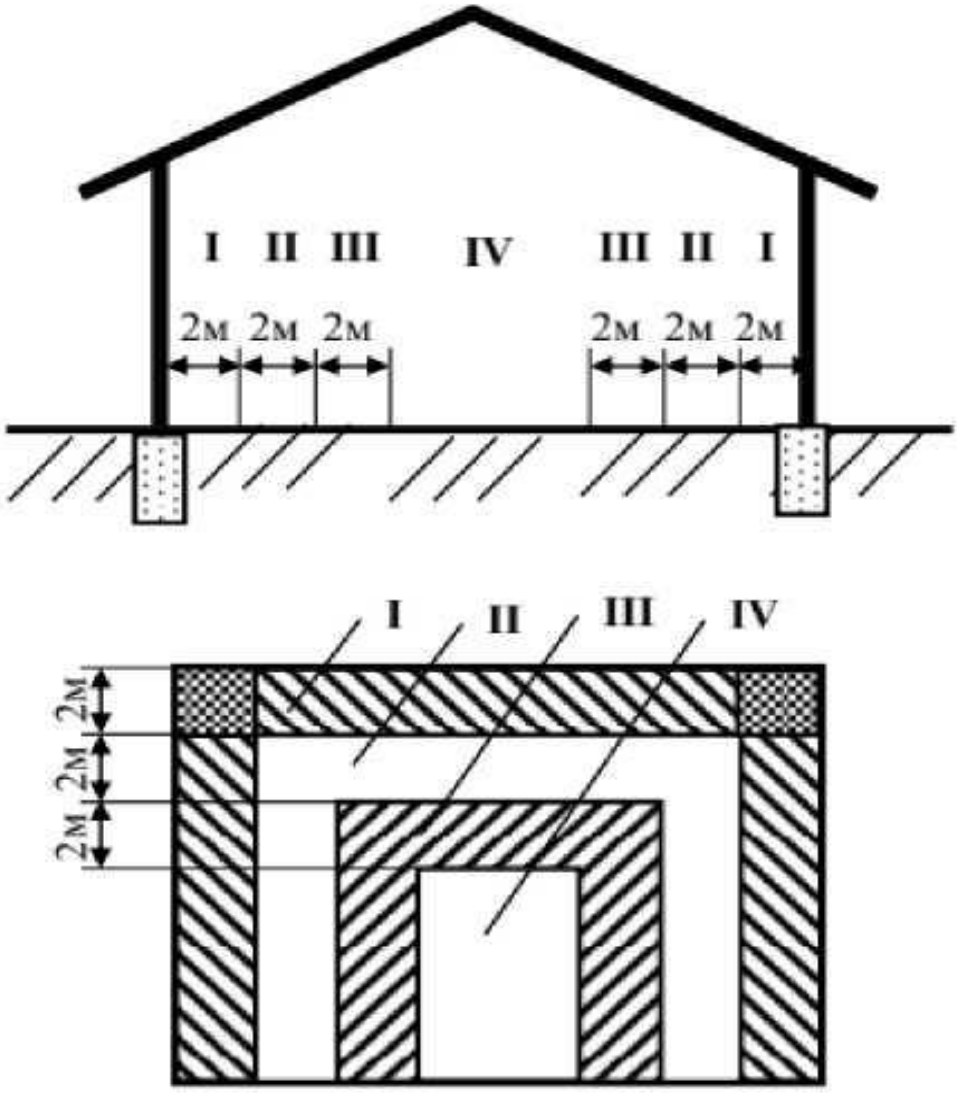


Рисунок 3.7 - Зонування будинку

Відповідно для даного проєкту приймаємо:

F_1 = 102,3 м^2;

F_2 = 68,4 м^2;

F_3 = 3,84 м^2;

Четвертої зони відповідно немає.

При визначенні тепловтрат крізь підлогу за формулою () приймаються наступні термічні опори відповідно до зон $R_{Н.П.}$:

а) для неутепленої підлоги на ґрунті термічний опір $R_{Н.П.}$, (м^{2}К)/Вт, для окремих зон неутепленої підлоги (таблиця 3.7);

Таблиця 3. - Термічний опір $R_{Н.П.}$. для різних зон

Зона	1	2	3	4- площа підлоги, яка залишилася
Термічний опір,	$R^1_{Н.П.}$	$R^2_{Н.П.}$	$R^3_{Н.П.}$	$R^4_{Н.П.}$
(м2К)/Вт	2,14	4,25	8,7	14,3

б) для окремої зони утепленої підлоги на ґрунті:

$$R^i_{\text{ут}} = R^i_{Н.П.} + \sum \frac{\delta}{\lambda}$$

де $R^i_{Н.П.}$ — термічний опір неутепленої підлоги на ґрунті для окремої зони;

λ - теплопровідність утеплюючих шарів,Вт/(м*К);

δ - товщина утеплюючих шарів, м/

Підлога, розташована на ґрунті, вважається неутепленою, якщо її конструкція складається з шарів матеріалів із коефіцієнтом теплопровідності, що перевищує 1,163 Вт/(м·К), незалежно від загальної товщини.

Навпаки, підлога вважається утепленою, якщо її конструкція включає шари матеріалів із коефіцієнтом теплопровідності, який становить менше 1,163 Вт/(м*К).

Пасивний будинок спроєктований без підвалу, що значно спрощує процес будівництва. Для ізоляції фундаменту використано шар водонепроникного полістиролу товщиною 30 см із теплопровідністю 0,035 Вт/(м*К).

У проєкті обрано монолітну плиту як тип фундаменту. Це один із найдорожчих, але водночас найнадійніших варіантів для приватного будинку. Незважаючи на високу вартість, такий фундамент часто використовується в індивідуальному будівництві. При правильному розрахунку розмірів монолітна плита забезпечує стійку й довговічну основу для будівлі. Надійність цієї конструкції очевидна: навіть за умов руху ґрунту, таких як обдимання чи незначні сейсмічні явища, правильно спроєктований монолітний фундамент залишається стабільним.

На рисунку 3.8 наведено приклад конструкції фундаменту.

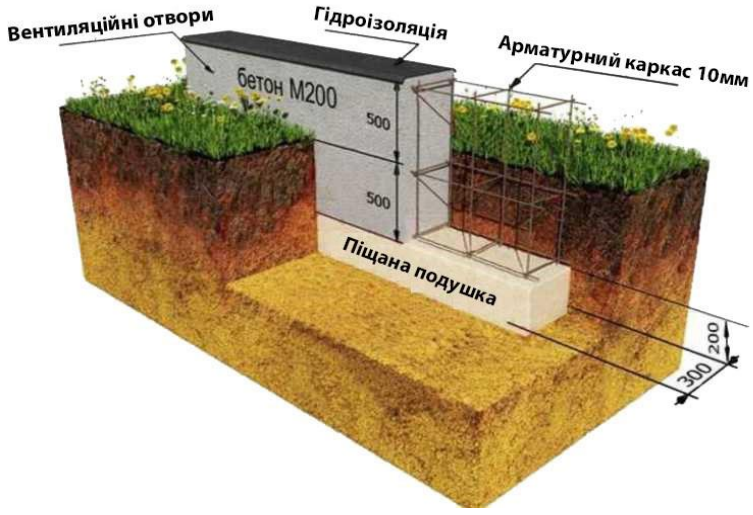


Рисунок 3.8 – Конструкція фундаменту

λ_1 = 0,035 Вт/(м*К) - теплопровідність матеріалу ізоляції;

δ_1 = 0,3 м - товщина ізоляції.

З формули () знайдемо:

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0{,}3}{0{,}035} = 1{,}56$$

$$Q_{\text{підлоги}} = \left(\frac{102{,}2}{2{,}14 + 1{,}56} + \frac{68{,}3}{4{,}2 + 1{,}56} + \frac{3{,}83}{8{,}5 + 1{,}56}\right)(20 - -22) = 1667 \text{ Вт}$$

Приведений опір теплопередачі вікна:

F_1 = 5,5 м^2 - повна площа вікна 2670х2060;

$F_н$ = 0,5 м^2 - площа непрозорих елементів вікна розміром 1200х1500;

$F_п$ = 1,3 м^2 - площа прозорих елементів вікна розміром вікна 1200х1500;

R_1 = 1 (м^{2}К)/Вт - опір теплопередачі вікна 2670х2060;

$R_н$ = 1.08 (м^{2}К)/Вт - опір теплопердачі непрозорих елементів розміром 1,2х1,5;

$R_п$ = 0,88 (м^{2}К)/Вт - опір теплопередачі прозорих розміром елементів розміром 1,2х1,5;

$$R_2 = \frac{F_н + F_п}{\frac{F_н}{R_н} + \frac{F_п}{R_п}} = \frac{1{,}3 + 0{,}5}{\frac{1{,}3}{0{,}88} + \frac{0{,}5}{1{,}08}} = 0{,}928 \frac{\text{м}^2 * \text{К}}{\text{Вт}}$$

F_2 = 1,8 м^2 - повна площа вікна 1200х1500;

$$Q_{\text{вікна1}} = \frac{6 * F_1 * (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})}{R_1} = \frac{6 * 5.5 * (20 - -22)}{1} = 1386 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{вікна2}} = \frac{7 * F_2 * (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})}{R_2} = \frac{7 * 1.8 * (20 - -22)}{1} = 570 \text{ Вт}$$

Теплові втрати через вікна:

$$Q_{\text{вікна}} = Q_{\text{вікна1}} + Q_{\text{вікна2}} = 1386 + 570 = 1956 \text{ Вт}$$

Теплові втрати через двері:

$F_{\text{двері}} = 2{,}4$ м^2 - площа дверей 900х2100;

U = 0,64 Вт / м^2 - коефіцієнт теплопровідності дверей 900х2100;

$$R_{\text{двері}} = \frac{1}{U} = \frac{1}{0.64} = 1.56 \text{ м}^2 * \text{К/Вт}$$

α_1 = 23 Вт $/\text{м}^2 * \text{К}$ - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні дверей в навколишнє середовище, визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток Б;

α_2 = 8 Вт $/\text{м}^2 * \text{К}$ - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні дверей до приміщення, визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-189:2013, Додаток Б;

$$Q_{\text{двері}} = \frac{F_{\text{двері}} * (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})}{R_{\text{двері}} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{2{,}4 * (20 - -22)}{1{,}56 + \frac{1}{23} + \frac{1}{8}} = 58{,}3 \text{ Вт}$$

Сумарні тепловтрати:

$$Q_{\text{загальне}} = Q_{\text{підлоги}} + Q_{\text{двері}} + Q_{\text{вікна}} + Q_{\text{стіни}} + Q_{\text{стелі}} =$$
$$= 1667 + 993{,}5 + 2301 + 1956 + 58{,}3 = 6975{,}8 \text{ Вт}$$

Приведені теплові втрати:

S = 174,5 м^2 - площа будинку;

$$q = \frac{Q_{\text{загальне}}}{S} = \frac{6975{,}8}{349} = 19{,}99 \text{ Вт/м}^2$$

Тепловтрати через огороджувальні конструкції зведені в Таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 - Загальні тепловтрати через огороджувальні конструкції

Тепловтрати через	S, м^2	Δt, ℃	Q, Вт
Підлога	174,5	42	1667
Двері	2,4	42	58,3
Вікна	45,6	42	1956
Стіни	406	42	2301
Стеля	174,5	42	993,5
Всього:			6975,8

Отже, на основі проведених розрахунків теплове навантаження будинку становить 6975,8 Вт.

Таким чином, розрахована площа стіни Тромба-Мішеля дозволяє покрити 59,6% теплового навантаження будинку, що становить 4158 Вт.

$$6975{,}8 \text{ Вт} - 4158 \text{ Вт} = 2\,817{,}8 \text{ Вт}$$

3.6 Висновок до розділу 3

На основі отриманих даних було обрано конструкційні та ізоляційні матеріали, а також прийняті оптимальні архітектурні рішення, зокрема використання стіни Тромба-Мішеля, правильне розташування вікон і орієнтація будівлі в просторі.

Здійснено розрахунок теплового навантаження опалювальної площі, яке може бути забезпечене конструкцією стіни Тромба-Мішеля з природною циркуляцією повітря. У результаті розрахунків виявлено, що ця конструкція дозволяє скоротити енергоспоживання на 59,6%.

Окрім того, було виконано аналіз тепловтрат усіх зовнішніх огороджувальних конструкцій Пасивного Будинку з урахуванням використання теплоізоляційних матеріалів високої якості. Загальні питомі тепловтрати склали 19,99 Вт/м².

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Все більше людей в Україні проявляють інтерес до енергоефективного будівництва, енергозберігаючих матеріалів та сучасних технологічних систем.

2.На основі аналізу було визначено основні раціональні проектні рішення пасивного домобудівництва.

3.У ході роботи було виконано розрахунок стіни Тромба-Мішеля, яка забезпечує 59,6% теплових надходжень у пасивний будинок, сприяючи економії викопних палив, таких як газ, і окупається інвестору протягом 8 років.

4.Здійснено аналіз результатів, одержаних під час проведення чисельного експерименту, за результатами яких вдалося досягти показників будинку пасивного енергоспоживання.

5.Розроблено рекомендації з конструктивних та інженерних рішень на основі техніко-економічного аналізу. Для досягнення необхідного рівня енергоефективності запропоновано додатково утеплити будівельний каркас, а також впровадити інженерні системи, зокрема геотермальний тепловий насос і припливно-витяжну вентиляцію з роторним рекуператором.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Passive House Institute [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://passivehouse.com/

2. Пасивний будинок: що це, переваги та недоліки [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://comfortsellers.com.ua/pasyvnyy-budynok-shcho-tse-perevahy-ta-nedoliky/.

3. Пасивні будинки та їх принципи проєктування [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://avenston.com/articles/passive-houses/.

4. "Пасивний будинок": архітектурний аспект [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: http://www.osobnyak.com.ua/spip.php?article302.

5. Рівень теплоізоляції Пасивних Будинків [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://passivehouse-igua.com/passive-house/the-level-of-insulation-passive-houses/.

6. Електроенергетика світу та окремих країн. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://mozok.click/167-elektroenergetika-svtu-ta-okremihkrayin.html

7. Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлювальних джерел енергії [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.uabio.org/img/files/docs/uabio-position-paper-13-ua.pdf

8. Бєлкіна Н. І. Екологічні аспекти енергоефективного будівництва. Харків: ХНУБА, 2019. 320 с.

9. Борщевський В. В. Відновлювані джерела енергії у приватному будівництві. Київ: Наукова думка, 2018. 280 с.

10. Гречановський О. С. Зелені дахи та фасади: технології та приклади. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2020. – 350 с.

11. Деркач Т. П. Пасивні будинки: принципи проектування табудівництва. Одеса: ОНПУ, 2017. 290 с.

12. Жуковський В. А. Системи водозабезпечення та водовідведення в екологічних будинках. – Київ: КНУБА, 2016. – 310 с.

13. Іванов М. В. Енергоефективні будівельні матеріали та їх використання. Дніпро: ДНУ, 2019. 340 с.

14. Кравчук О. І. Сонячна енергія в приватних будинках: технології та розрахунки. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2018. – 300 с.

15. Куліков П. І., та ін. Екологічні технології в будівництві: теорія і практика. – Київ: Видавництво НТУУ КПІ, 2020. – 280 с.

16. Буравченко С. Г. Аналіз підвищення енергоефективності на основі розрахункових досліджень моделей малоповерхових будинків / С. Г. Буравченко// Енергоефективність в будівництві та архітектурі. 2013. Вип. 4. С. 31-35.

17. Плоский В.О. Архітектура будівель та споруд. Книга 2. Житлові будинки: Підручник / В.О. Плоский, Г.В. Гетун Камянець-Подільський : Рута, 2017. 736 с.

18. В. А. Лісенко, В. Г. Суханов, Ю. О. Закорчемний, С. Є. Верьовкіна Архітектурноконструктивні енергоефективні оболонки будівель та споруд. Одеса: «Optimum», 2015. 254 с

19. В .І. Дешко, Н. А. Буяк, І. О. Суходуб. Сучасні вимоги щодо теплового комфорту у будівлях. ІЕЕ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2018. С.32.

20. Енергоефективний житловий будинок: навчальний посібник / Т.О. Кащенко, О.М. Малишев, Ю.В. Козак, та ін. Київ. «Фенікс», 2021. 116 с.

21. Тимофєєв М.В. Комплексна оцінка кліматичних умов житлової забудови / М.В. Тимофєєв,О.В. Сергейчук, Г.В. Шамріна: навчальний посібник. Київ, КНУБА, 2015.

22. Енергетична галузь України: підсумки 2016 року / К. Маркевич, А. Чернова, Г. Пашкова, Т. Овсяник // Центр Разумкова. Київ: Видавництво «Заповіт», 2017. 164 с.

23. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та

реконструкції.

24. ДБН В.1.1.7-2016 Пожежна безпека об’єктів будівництва. Київ.: Держбуд України, 2017 41 с.

25. ДСТУ Б А.2.4-7-2009. Система проектної документації для будівництва. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень введ. 24-01-2009. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 71 с.

26. ДБН А.2.2-3-2004 Склад, порядок розробки, узгодження та затвердження проектної документації для будівництва Київ: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2004. 61 с

27. ДБН В.2.2-15-2019 Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. Київ : Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2019 44с.

28. ДБН В.2.2-40-2018 Інклюзивність будівель та споруд. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 64 с.

29. ДСТУ Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.

30. ДБН В.1.2-2-2006 (зі змінами). Система надійності та безпеки в будівництві. Навантаження і впливи. Норми проектування Київ: Держбуд, 2007. 70 с.

31. ДБН В.2.6-98-2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.

32. ДСТУ EN ISO 11855-1:2017 (EN ISO 11855-1:2015, IDT; ISO 118551:2012, IDT) Проектування будівель. Проектування, визначення габаритних розмірів, монтування та регулювання вбудованих систем опалення та охолодження. Частина 1. Визначення, умовні позначення та критерії комфорту.

33. ДСТУ В.2.2-21:2008 Будинки і споруди. Метод визначення питомих тепловитрат на опалення будинків. Київ: Мінрегіонбуд України,

2009. 32 с.

34. ДСТУ Б В.2.6-35:2008 Будинки і споруди. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентильованим повітряним прошарком. Загальні технічні умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 51 с.

35. ДСТУ Б В.2.6 34:2008. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 18 с.

36. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична еективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 140 с.

37. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції. Київ: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК) : 2008. 42 с.

38. ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015 "Енергетична ефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної оцінки будівель" Київ, Мінрегіон України, 2022, 29 с.

39. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ, Мінрегіон України, 2022, 24 с.

40. Джигерей В. С., Сторожук В. М., Яцюк Р. А. Основи екології та охоронанавколишнього природного середовища (Екологія та охорона природи).Навчальний посібник. Вид. 2-ге, доп. Львів, Афіша, 2000. 272 с.

41. Левченко А. П. Екологічні системи опалення та кондиціонування. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 320 с.

42. Лісняк О. В. Біоенергетика в приватних будинках: сучасні підходи. Полтава: ПНТУ, 2018. – 310 с.

43. Мельник І. В. Вітрові електростанції для приватних будинків: проекти та розрахунки. Київ: Видавництво НАУ, 2019. 290 с.

44. EN 15242:2007, Ventilation for buildings - Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration (Вентиляція будівель. Розрахункові методи оцінки величини повітряного потоку в будівлю, включаючи інфільтрацію)

45. EN 15265, Thermal performance of buildings-Calculation of energy use for space heating and cooling - General criteria and validation procedures (Теплове виконання будівель. Розрахунок енергії для опалення та охолодження приміщень. Загальні критерії і процедури перевірки)

46. EN 15315:2005, Heating systems in buildings - Energy performance of buildings - Overall energy use, primary energy and C02 emissions (Системи теплозабезпечення будівель. Енергоефективність будівель. Використання первинної енергії та викиди С 02)

47. Ulbrich R.Audyt energetyczny a dom energooszczdny. Opole, 2001. 141 s.

48. Adamson, B. “Passive Climatisation of Residential Buildings in China”, Lund University, Report TABK-92/3006 (1992)

49. Feist W. Das kostengunstige Passivhaus — Proektbeschreibung / W. Feist //Arbeitkreis kostengunstige Passivhauser. Protokolband № 1. Darmstadt, 1996. S. 9-21.

50. Active for more comfort: Passive House. International Passive House Association. - 2018.

51. H. Horster (Hrsg.): Wege zum energiesparenden Wohnhaus; Hamburg, 1980 [Lovins 1978] Lovins, A. & H.: Sanfte Energie, Hamburg 1978.

52. Integrated Wireless Technologies for Smart Homes Applications, Mahmoud A. Al- Qutayri and Jeedella S. Jeedella, 2010.

53. Smart Homes For Dummies, by Danny Briere (Author), Pat Hurley (Author), 2007.

54. Smart Home Systems P. Lalanda, J. Bourcier, J. Bardin and S. Chollet, 2010.