МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Будівництва та експлуатації
будівель, доріг та транспортних
споруд _____
О. С. Савченко

«___»_____2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим рівнем вищої освіти

На тему: «Нове будівництво двоповерхового котеджу за технологією пасивної будівлі»

Виконав (ла) Д. С. Матвієнко

(підпис) (Прізвище, ініціали)

Група БУД 2301-2 м

(Науковий)
керівник О. П. Новицький

(підпис) (Прізвище, ініціали)

Суми – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: Будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд

Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Матвієнко Денис Сергійович

Тема роботи: Нове будівництво двоповерхового котеджу за технологією пасивної будівлі

Затверджено наказом по університету №_____ від”__"__2025р.
Строк здачі студентом закінченої роботи:”__” __ 2025 р.

Вихідні дані до роботи:
_Дані інженерно-геологічних вишукувань, типові проекти, завдання проектування _____

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)
Розділ 1. Загальна характеристика роботи, Розділ 2. Бібліографічний огляд досліджень, 2.1 Опис технології пасивної будівлі, 2.2 Класифікація та розвиток пасивних будинків, Розділ 3. Застосування технології пасивної будівлі на прикладі двоповерхового котеджу, 3.1 Опис проєкту та умов будівництва, 3.2 Вибір конструктивних рішень та матеріалів, 3.3 Інженерні мережі, Розділ 4. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі, 4.1 Об’ємно-планувальне рішення, 4.2 Архітектурно-конструктивне рішення, Список використаних джерел

5. Перелік графічного та або мультимедійного матеріалу (з вказівкою обов’язкових креслень)

14 слайдів мультимедійного матеріалу

О. П. Новицький

Керівник :

(підпис) (Прізвище, ініціали)

О. П. Новицький

Консультант

(підпис) (Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Д. С. Матвієнко

Здобувач

(підпис) (Прізвище, ініціали)

Анотація

Матвієнко Денис Сергійович «Нове будівництво двоповерхового котеджу за технологією пасивної будівлі» – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, огляду досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновків за результатами МКР (українською та англійською мовами).

Сформульовано мету, задачі, об’єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Дослідження присвячене проектуванню та будівництву двоповерхового заміського котеджу за принципами технології пасивного будинку. Актуальність теми визначається зростаючою потребою в енергоефективних житлових будівлях, які мінімізують втрати тепла, зменшують залежність від зовнішніх енергетичних мереж та забезпечують високий комфорт у приміщенні протягом усього року. Будівництво пасивних будинків вирішує екологічні проблеми, зменшує експлуатаційні витрати на енергію та сприяє сталому розвитку.

Метою дослідження є створення житлової будівлі з майже нульовим енергоспоживанням, що поєднує теплову ефективність, герметичність та інтеграцію відновлюваних джерел енергії. Завдання включають вибір відповідних будівельних матеріалів, проектування оптимізованої теплової оболонки, застосування сучасних будівельних технологій та забезпечення належного розташування технічних систем, таких як опалення, вентиляція та електропостачання. Дослідження також враховує місцеві кліматичні та ґрунтові умови для адаптації проекту будівлі до конкретних умов ділянки.

Методи дослідження включають аналіз принципів пасивного проектування, енергетичне моделювання, оцінку теплових характеристик та вивчення інтеграції відновлюваних джерел енергії. Робота передбачає як

теоретичну оцінку, так і практичні проектні рішення для досягнення комфорту, енергоефективності та довговічності в житловому будівництві. Особлива увага приділяється підтримці герметичності, мінімізації теплових мостів та забезпеченню безперервної ізоляції всіх елементів конструкції.

Ключові слова: пасивна будівля, енергоефективність, котедж.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Матвієнко Д.С. Особливості зведення будівель за технологією пасивної будівлі // Матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету, 7–11 квіт. 2025 р. Харків, 2025.

2. Матвієнко Д.С. Соціально-економічний ефект від застосування технології пасивної будівлі // Матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції, 26 листопада 2025 р. Харків, 2025. С.53

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 43 сторінках, у тому числі 3 таблиць, 8 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 4 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 21 використаних джерел. Графічна частина складається з 14 слайдів мультимедійної презентації.

Abstracts

Matviyenko Denys “New construction of a two-story cottage using passive building technology” - Master's thesis in manuscript form.

Master's thesis in the specialty 192 “Construction and Civil Engineering.” – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The thesis consists of a table of contents, a general description of the work and its qualifying characteristics, a review of research on the chosen topic, sections of the main part, and conclusions based on the results of the MCR (in Ukrainian and English).

The purpose, objectives, object, and subject of the research, as well as the methods of scientific research, are formulated.

The research is devoted to the design and construction of a two-story suburban cottage based on the principles of passive house technology. The relevance of the topic is determined by the growing need for energy-efficient residential buildings that minimize heat loss, reduce dependence on external energy networks, and ensure high comfort indoors throughout the year. The construction of passive houses solves environmental problems, reduces energy operating costs, and promotes sustainable development.

The aim of the study is to create a residential building with almost zero energy consumption, combining thermal efficiency, airtightness, and the integration of renewable energy sources. The tasks include selecting appropriate building materials, designing an optimized thermal envelope, applying modern construction technologies, and ensuring the proper location of technical systems such as heating, ventilation, and power supply. The study also takes into account local climate and soil conditions to adapt the building design to the specific conditions of the site.

Research methods include analysis of passive design principles, energy modeling, thermal performance assessment, and study of renewable energy integration. The work involves both theoretical assessment and practical design solutions to achieve comfort, energy efficiency, and durability in residential construction. Particular attention is paid to maintaining airtightness, minimizing thermal bridges, and ensuring

continuous insulation of all structural elements.

Keywords: passive building, energy efficiency, cottage.

List of publications and/or conference presentations by the student:

1. Matviyenko D. Features of building construction using passive building technology // Materials of the 87th International Scientific Conference of University Students, April 7–11, 2025. Kharkiv, 2025.

2. Matviyenko D. Socio-economic effect of the use of passive building technology // Materials of the XIX International Scientific and Practical Conference, November 26, 2025. Kharkiv, 2025. P.53

The appendices contain the conference abstracts and a slide album of the multimedia presentation.

Structure of the work.

The work consists of the main text on 43 pages, including 3 tables and 8 figures. The text of the work contains a general description of the work, 4 sections, conclusions and recommendations based on the results of the work, and a list of 21 sources used. The graphic part consists of 14 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальна характеристика роботи…….……...…..….9

Розділ 2. Бібліографічний огляд досліджень…….....11

2.1 Опис технології пасивної будівлі……..……...11

2.2 Класифікація та розвиток пасивних будинків……...…….18

Розділ 3. Застосування технології пасивної будівлі на прикладі двоповерхового котеджу…….……25

3.1 Опис проєкту та умов будівництва……..……..25

3.2 Вибір конструктивних рішень та матеріалів……...27

3.3 Інженерні мережі……...…….30

Розділ 4. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі…….36

4.1 Об'ємно-планувальне рішення……...……36

4.2 Архітектурно-конструктивне рішення……..36

Список використаних джерел……..….42

РОЗДІЛ 1
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми: Актуальність вивчення будівництва пасивних будинків полягає у зростанні світового попиту на енергоефективні житлові будівлі, які значно зменшують викиди парникових газів, мінімізують експлуатаційні витрати та забезпечують стабільний комфорт у приміщенні незалежно від зовнішніх кліматичних умов. У контексті України зростання цін на енергоносії та необхідність зменшення залежності від зовнішніх енергетичних мереж роблять впровадження технологій пасивних будинків особливо актуальним для сучасного заміського житла.

Мета і завдання дослідження: Метою цього дослідження є розробка комплексного проектного та технічного рішення для двоповерхового котеджу, що відповідає стандартам Passive House Plus, забезпечуючи майже нульове споживання енергії при збереженні максимального комфорту та якості повітря в приміщенні. Завдання включають аналіз кліматичних умов, вибір оптимальних конструкційних та ізоляційних матеріалів, інтеграцію систем відновлюваної енергії, таких як фотоелектричні панелі та геотермальні теплові насоси, а також розробку будівельних конструкцій.

Об’єкт дослідження: Будівництво двоповерхового котеджу.

Предмет дослідження: Використання технології пасивної будівлі для будівництва нового енергоефективного котеджу.

Методи дослідження: У дослідженні використовується комплексний підхід, що поєднує аналітичні розрахунки, моделювання теплових та енергетичних характеристик, а також огляд сучасних будівельних технологій, придатних для проектування пасивних будинків. Методи включають аналіз конструктивних навантажень, моделювання теплової оболонки, оцінку денного освітлення та сонячного тепла, а також розрахунок розмірів енергетичних систем для опалення, охолодження та побутового електропостачання. У дослідженні також використовуються методи оптимізації проектування для забезпечення мінімальних теплових втрат та максимальної енергетичної автономності.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів: Наукова та технічна новизна цього дослідження полягає у всебічній адаптації принципів пасивного будинку на прикладі заміського котеджу в конкретних кліматичних умовах Київської області. Технічні рішення включають поєднання стін з пористого бетону з шаром мінеральної вати, дерев'яну систему підлоги та даху, оптимізовану для мінімального структурного навантаження на стіни, інтегрований тепловий насос з використанням енергії ґрунту, а також повністю відновлюване енергопостачання з локальним зберіганням. Робота демонструє практичні методи досягнення герметичності, усунення теплових мостів та інтеграції відновлюваних технологій в одному житловому проекті.

Практичне значення одержаних результатів: Практичне значення дослідження проявляється у створенні типової моделі енергоефективних заміських будинків, здатних задовольнити вимоги до майже нульового енергоспоживання. Результати надають конкретні технічні рішення щодо вибору матеріалів, конфігурації ізоляції, конструкції та інтеграції відновлюваних джерел енергії. Проект демонструє, як технології пасивних будинків можуть бути реалізовані в кліматичних умовах України, пропонуючи будівельникам, проектувальникам та власникам будинків рекомендації щодо зменшення енергоспоживання, експлуатаційних витрат та впливу на довкілля, зберігаючи при цьому високі стандарти комфорту та довговічності.

Апробація та публікація результатів роботи: 1.Матвієнко Д.С. Особливості зведення будівель за технологією пасивної будівлі // Матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету, 7–11 квіт. 2025 р. Харків, 2025.

2. Матвієнко Д.С. Соціально-економічний ефект від застосування технології пасивної будівлі // Матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції, 26 листопада 2025 р. Харків, 2025. С.53

РОЗДІЛ 2
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ
2.1 Опис технології пасивної будівлі

Концепція пасивного будинку виникла наприкінці XX століття як відповідь на глобальну енергетичну кризу 1970-х років, коли витрати на опалення в багатьох промислово розвинених країнах зросли більш ніж на 200 %. Ця криза викликала швидкий науковий інтерес до мінімізації енергоспоживання будівель, яке на той час становило майже 40 % загального енергоспоживання в Європі та Північній Америці. Найперші експериментальні енергозберігаючі будинки з'явилися в США та Канаді в період з 1974 по 1980 рік, які продемонстрували, що надзвичайно добре ізольована та герметична оболонка може зменшити споживання енергії на опалення з 200 кВт·год/м²·рік, що є типовим для звичайного житла, до менше ніж 30 кВт·год/м²·рік. Ці новаторські споруди заклали фундаментальну ідею, що пасивний тепловий захист і контрольована вентиляція можуть підтримувати комфорт у приміщенні без традиційних систем опалення.

В Європі дослідницькі групи у Швеції та Німеччині розробили першу систематичну теоретичну основу для таких будівель. У 1988 році було запропоновано нове кількісне визначення «пасивного будинку», встановивши цільову потребу в опаленні, що не перевищує 15 кВт·год/м²·рік, та потребу в первинній енергії нижче 120 кВт·год/м²·рік. Ці показники були пізніше підтверджені практичними експериментами на першому повністю реалізованому прототипі пасивного будинку, побудованому в Дармштадті-Краніхштайні, Німеччина, в 1990 році. Будівля, чотириповерховий житловий блок з корисною площею 156 м², мала суцільний 275-міліметровий шар мінеральної вати на зовнішніх стінах, потрійні склопакети з коефіцієнтом теплопередачі 0,13 Вт/м²·К та механічну систему вентиляції з ефективністю рекуперації тепла 82 %. Інструментальний моніторинг протягом перших десяти років експлуатації показав, що фактичне споживання енергії на опалення постійно було нижче 12

кВт·год/м²·рік, що підтвердило практичну реалістичність стандарту в реальних кліматичних умовах[19].

Протягом 1990-х років концепція еволюціонувала від академічного прототипу до кодифікованого будівельного стандарту. До 2000 року в Німеччині, Австрії та Швейцарії було завершено будівництво першої хвилі сертифікованих пасивних будівель з виміряними навантаженнями на опалення від 10 до 15 кВт·год/м²·рік і результатами герметичності менше 0,6 повітрообміну на годину при 50 Па ($n_{50} \leq 0{,}6$ год$^{-1}$), що залишається основним критерієм ефективності і сьогодні.

На початку 2000-х років стандарт почав поширюватися по Європі, підтримуваний національною енергетичною політикою, спрямованою на досягнення майже нульового енергоспоживання. Австрія реалізувала свою першу регіональну програму у Форарльберзі, де з 2003 по 2010 рік було побудовано понад 1 000 пасивних будинків. У Скандинавії цей підхід був адаптований до субарктичного клімату, запровадивши більш товсту ізоляцію оболонки до 450 мм і потрійні склопакети з заповненими аргоном порожнинами. До 2015 року понад 25 000 будівель по всьому світу були сертифіковані відповідно до критеріїв пасивного будинку, включаючи житлові, освітні та громадські об'єкти.

Паралельно з розширенням нового будівництва, увага дослідників переключилася на енергоефективну реконструкцію. Стандарт EnerPHit, запроваджений у 2010 році, визначив вимоги до модернізації існуючих будівель до пасивних показників, дозволяючи дещо вищі пороги попиту на опалення — до 25 кВт·год/м²·рік — при збереженні тих самих стандартів герметичності та комфорту. Це розширило можливість застосування пасивного проектування до існуючого фонду будівель, який в Європі становить майже 70 % загального споживання енергії в забудованому середовищі.

У період з 2015 по 2025 рік відбулася глобалізація та диверсифікація концепції пасивного будівництва. Категорії «Пасивний будинок плюс» та «Пасивний будинок преміум», запроваджені у 2015 році, включили виробництво

відновлюваної енергії до оцінки енергоефективності, причому клас преміум вимагає щонайменше 120 кВт·год/м²·рік виробництва відновлюваної первинної енергії. До 2023 року понад 80 000 будівель у всьому світі були перевірені на відповідність критеріям Passive House або EnerPHit, включаючи великі житлові комплекси площею понад 20 000 м² та висотні вежі до 28 поверхів. До країн із значним рівнем впровадження належать Німеччина, Австрія, Бельгія, Велика Британія, Канада, США та Китай, де перший великомасштабний пасивний район був побудований в екомісті Тяньцзінь із сертифікованою площею понад 200 000 м²[19].

Сьогодні стандарт пасивного будівництва широко визнаний одним з найсуворіших стандартів енергоефективності в світі. Його еволюція від невеликих експериментальних будинків до комплексної філософії проектування відображає зближення архітектурних, фізичних та екологічних інженерних дисциплін. Історична траєкторія демонструє постійне зниження попиту на енергію для опалення з 200 кВт·год/м²·рік у типових будинках до менше ніж 15 кВт·год/м²·рік у повністю оптимізованих пасивних будівлях, що супроводжується поліпшенням комфорту в приміщеннях, зниженням експлуатаційних викидів та подовженням терміну експлуатації будівель завдяки зменшенню структурних навантажень від вологи.

Рис. 2.1 Приклад проекту пасивної будівлі

Концепція пасивного будинку базується на принципі мінімізації зовнішніх енерговитрат для підтримання теплового комфорту в приміщенні шляхом оптимізації взаємодії між оболонкою будівлі, механічними системами та природним середовищем. Його ефективність кількісно визначається кількома суворими параметрами, встановленими в результаті довготривалих експериментальних досліджень та підтверджених польовими вимірами. Основним критерієм є обмеження річної питомої потреби в опаленні до не більше 15 кВт·год на квадратний метр обробленої площі, тоді як загальна потреба в первинній енергії, включаючи опалення, гаряче водопостачання, вентиляцію, освітлення та побутову техніку, не повинна перевищувати 120 кВт·год/м²·рік. Що стосується герметичності, будівля повинна демонструвати не більше 0,6 повітрообміну на годину при різниці тиску 50 Па ($n_{50} \leq 0{,}6\ h^{-1}$). Ці параметри гарантують, що теплові втрати будівлі є достатньо низькими для підтримки стабільної температури в приміщенні з мінімальним допоміжним опаленням, навіть у холодному кліматі[7].

Теплоізоляція є першим і найважливішим фактором для досягнення пасивної ефективності. Оболонка будівлі повинна бути спроектована як

суцільний і однорідний тепловий бар'єр, з товщиною ізоляції від 300 до 450 мм для зовнішніх стін в холодному і помірному кліматі, залежно від теплопровідності матеріалу. В умовах Центральної Європи оптимальним вважається коефіцієнт теплопередачі стін, що не перевищує 0,10–0,15 Вт/м²·К. Ізоляція даху збільшується до 400–500 мм, тоді як підлогові плити або стіни цокольного поверху потребують 200–300 мм теплового захисту. До часто використовуваних матеріалів належать мінеральна вата ($\lambda \approx 0{,}035$ Вт/м·К), спінений або екструдований полістирол ($\lambda \approx 0{,}031$–$0{,}036$ Вт/м·К) пінополіуретан ($\lambda \approx 0{,}025$–$0{,}028$ Вт/м·К) та вакуумні ізоляційні панелі, які можуть досягати значень до 0,007 Вт/м·К. Принцип суцільного ізоляційного шару виключає будь-які конструктивні теплові мости, а максимально допустимий лінійний коефіцієнт тепловтрат на стиках обмежується 0,01 Вт/м·К.

Другою фундаментальною особливістю є герметичність. У звичайній будівлі неконтрольоване проникнення повітря через тріщини та щілини може спричинити до 30 % загальних тепловтрат. Пасивна будівля усуває ці втрати, створюючи герметичну оболонку, в якій усі стики, проникнення та сервісні отвори ретельно герметизуються за допомогою герметичних мембран, стрічок та прокладок. Цілісність цього шару повинна підтримуватися протягом усього життєвого циклу будівлі. Під час будівництва часто проводяться тимчасові випробування під тиском, щоб виявити та усунути витоки перед остаточним оздобленням. Досягнення $n_{50} \leq 0{,}6\ h^{-1}$ не тільки зменшує споживання енергії, але й запобігає конденсації вологи всередині конструкції, захищаючи ізоляцію та несучі матеріали від довгострокового руйнування.

Визначальним елементом пасивної концепції є контрольована механічна вентиляція з рекуперацією тепла. Замість того, щоб покладатися на випадкову природну інфільтрацію, повітрообмін забезпечується безперервно і рівномірно по всій оселі. Типові витрати повітря встановлюються на рівні 0,3–0,4 повітрообміну на годину в зонах перебування людей, що забезпечує гігієнічну якість повітря в приміщенні та запобігає надмірним втратам тепла. Високоефективні протипоточні або роторні теплообмінники відновлюють 75–95

% теплової енергії відпрацьованого повітря, попередньо нагріваючи свіже повітря, що надходить. У сучасних системах питома потужність вентилятора обмежена 0,45 Вт/м³, щоб підтримувати низьке споживання електроенергії, а фільтрація класу F7–F9 забезпечує ефективне видалення частинок і пилку. У регіонах з жарким літом інтегровані ентальпійні теплообмінники також відновлюють приховану вологу, стабілізуючи вологість повітря в приміщенні на оптимальному рівні 40–55 %.

Вікна та системи скління є найскладнішими компонентами оболонки будівлі. Хоча вікна займають лише 15–25 % зовнішньої поверхні, на них припадає значна частка потенційного теплообміну. У пасивній будівлі склопакети повинні мати загальний коефіцієнт теплопередачі нижче 0,80 Вт/м²·К, що досягається за допомогою потрійного скління з низькоемісійним покриттям і заповненням інертним газом (аргоном або криптоном). Рами з багатокамерного ПВХ, деревно-алюмінієвих композитів або скловолокна досягають коефіцієнта теплопередачі близько 0,70–1,0 Вт/м²·К. Глибина установки та вирівнювання вікна в ізоляційному шарі мають вирішальне значення для уникнення теплових мостів, а герметичні монтажні стрічки забезпечують суцільність герметичного шару. У холодному кліматі вікна пасивного стандарту можуть досягати температури поверхні 17–19 °C на внутрішній шибці, коли температура зовні опускається нижче –10 °C, що усуває конденсацію та ефект випромінювання холоду[19].

Іншою визначальною характеристикою є максимізація пасивних сонячних надходжень. Головний фасад будівлі орієнтований в межах ±15° від справжнього півдня в північній півкулі, а коефіцієнт засклення оптимізований до 35–40 % площі фасаду, щоб уловлювати зимове сонячне випромінювання, не викликаючи перегріву влітку. Коефіцієнти пропускання сонячного випромінювання (значення g) 0,50–0,60 забезпечують баланс між корисними надходженнями та захистом. Виступи, затінювальні пристрої та рослинність спроектовані з урахуванням геометрії сонячного світла, щоб зменшити пряме випромінювання під час високих літніх кутів сонця, одночасно забезпечуючи повне проникнення взимку. Цей ретельний баланс між надходженням і втратою тепла гарантує, що будівля

залишається в комфортному діапазоні 20–25 °C протягом усього року, часто без необхідності активного опалення або охолодження протягом тривалих періодів.

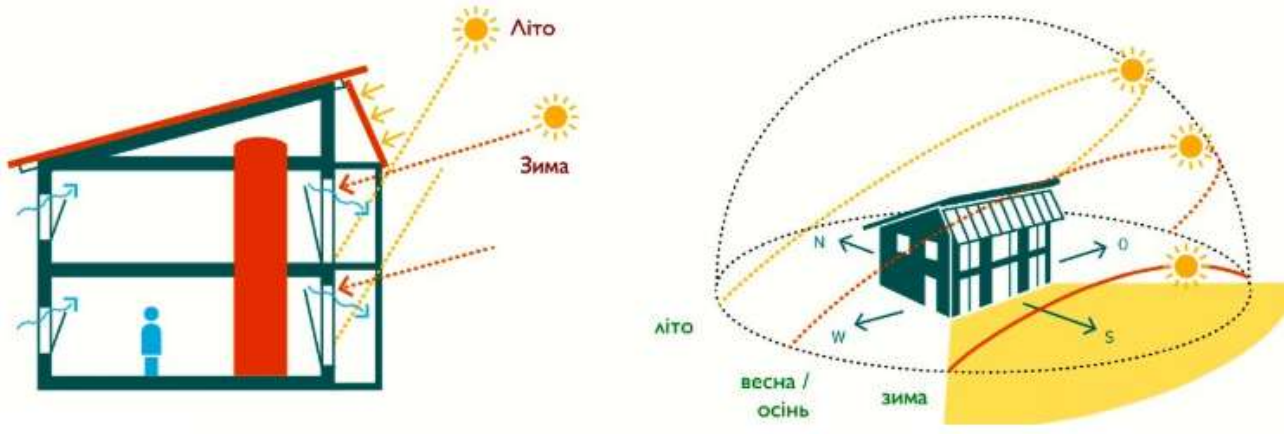

Рис. 2.2 Схема пасивних сонячних надходжень

Теплова маса конструктивних елементів відіграє помірковану роль у пасивних будівлях, особливо в регіонах з добовими коливаннями температури. Такі матеріали, як залізобетонні або цегляні стіни з питомою теплоємністю 0,88–1,0 кДж/кг·К і поверхневою щільністю понад 200 кг/м², можуть поглинати надлишкове денне тепло і вивільняти його вночі, вирівнюючи коливання температури. У поєднанні з контрольованою вентиляцією та затіненням це забезпечує стабільні умови в приміщенні навіть за екстремальних зовнішніх температур.

Пасивна будівля також повинна обмежувати споживання первинної енергії, пов'язане з гарячим водопостачанням, освітленням та побутовою технікою. Енергоефективне освітлення на основі світлодіодних систем з щільністю потужності нижче 3 Вт/м², та побутова техніка класу A+++ є необхідними для дотримання цільового показника 120 кВт·год/м²·рік. Системи гарячого водопостачання часто використовують невеликі повітряні або ґрунтові теплові насоси з сезонним коефіцієнтом корисної дії 3,0–4,5, що ще більше знижує споживання первинної енергії.

Нарешті, визначальною особливістю всіх пасивних будівель є тепловий комфорт і якість повітря в приміщенні, що досягаються за мінімальних механічних витрат. Внутрішня температура залишається майже постійною в усьому обсязі будівлі, з вертикальною стратифікацією менше 2 °C між рівнем

підлоги та стелі. Відсутність протягів та холодних поверхонь усуває дискомфорт від випромінювання, а стабільний повітрообмін підтримує низьку концентрацію вуглекислого газу нижче 900 ppm. Мешканці відчувають рівномірне тепло та свіже повітря навіть у періоди екстремальних зовнішніх умов, що є рівнем комфорту, якого традиційні системи рідко досягають без значних витрат енергії[7].

2.2 Класифікація та розвиток пасивних будинків

Енергоефективні будівлі класифікуються за ступенем мінімізації зовнішнього енергоспоживання та використання відновлюваної або рекуперованої енергії в своїх операційних системах. Ця класифікація еволюціонувала від емпіричних визначень, заснованих на енергоспоживанні на квадратний метр, до точних стандартів, заснованих на продуктивності, які кількісно оцінюють ефективність оболонки, первинне енергоспоживання та виробництво відновлюваної енергії на місці. Ієрархія класифікації, яка наразі прийнята в Європі та на міжнародному рівні, розрізняє кілька основних категорій: традиційні низькоенергетичні будівлі, пасивні будівлі, будівлі з нульовим енергоспоживанням та енергопозитивні або активні будівлі. Кожна категорія визначається вимірюваними тепловими, електричними та екологічними параметрами, вираженими в кіловат-годинах на квадратний метр обробленої площі за рік (кВт·год/м²·рік).

Традиційна низькоенергетична будівля, яка також називається «високоефективним» або «енергооптимізованим» будинком досягає конкретної потреби в енергії для опалення 30–50 кВт·год/м²·рік у помірному кліматі. Цей рівень відповідає приблизно третині споживання стандартної будівлі, побудованої до 2000 року, яка часто потребувала 120–180 кВт·год/м²·рік для опалення приміщень. Поліпшення досягається за рахунок посилених ізоляційних шарів — 150–250 мм мінеральної вати або полістиролу — високоефективного скління з коефіцієнтом теплопередачі близько 1,0 Вт/м²·К та контрольованої механічної вентиляції. Однак такі будівлі все ще можуть використовувати

традиційні котли або електричне опалення в періоди пікового навантаження, а їх загальна потреба в первинній енергії становить від 150 до 200 кВт·год/м²·рік.

Пасивна будівля представляє наступний, більш суворий рівень енергоефективності. Її визначальні кількісні параметри — це максимальна потреба в опаленні 15 кВт·год/м²·рік, потреба в первинній енергії нижче 120 кВт·год/м²·рік і коефіцієнт повітронепроникності $n_{50} \leq 0{,}6$ год$^{-1}$. На практиці це відповідає економії енергії на 90 % порівняно з традиційними будівлями, що дозволяє 150 м² житловому приміщенню в кліматі Центральної Європи функціонувати з річним споживанням енергії на опалення менше 2 000 кВт·год, що еквівалентно 200 м³ природного газу. Пасивні будівлі досягають цього за допомогою суцільної теплової оболонки з коефіцієнтом теплопередачі стін не більше 0,15 Вт/м²·К, коефіцієнтом теплопередачі даху близько 0,10 Вт/м²·К, потрійним склінням вікон з коефіцієнтом теплопередачі 0,75–0,80 Вт/м²·К та вентиляцією з рекуперацією тепла з ефективністю понад 80 %. Потреба в опаленні рідко перевищує 10 Вт/м², що означає, що всю будівлю можна обігріти, використовуючи еквівалент невеликого побутового фена на кожну кімнату[19].

В доповнення пасивного стандарту знаходиться будівля з нульовим енергоспоживанням, яка визначається як споруда, річне виробництво енергії з відновлюваних джерел на місці дорівнює або трохи перевищує її енергоспоживання. У цій категорії енергетичний баланс досягається не тільки за допомогою пасивних заходів, але й за допомогою активного виробництва. Типові установки включають фотоелектричні батареї з потужністю 50–70 Вт на квадратний метр площі даху, сонячні теплові колектори для гарячого водопостачання та теплові насоси з сезонним коефіцієнтом корисної дії вище 4,0. Європейська директива 2010/31/ЄС вимагає, щоб усі нові громадські будівлі досягали цього статусу із середньою потребою в енергії для опалення від 10 до 20 кВт·год/м²·рік, залежно від кліматичної зони. У багатьох випадках такі будівлі повертають надлишок електроенергії в мережу протягом літніх місяців, компенсуючи зимове споживання і досягаючи річного балансу первинної енергії, близького до нуля.

Новою категорією з ще вищими показниками є енергопозитивні або активні будівлі, в яких річне виробництво відновлюваної енергії перевищує споживання на значну величину. Ці споруди не тільки задовольняють власні експлуатаційні потреби, але й експортують надлишкову енергію, сприяючи декарбонізації місцевих мереж. Необхідна потужність відновлюваних джерел енергії для енергопозитивної роботи залежить від кліматичних умов та умов проживання, але типовими прикладами є фотоелектричні системи потужністю 10–15 кВтп для окремо стоячих будинків з річним споживанням менше 10 000 кВт·год. Сучасні фотоелектричні системи, інтегровані в будівлі, сонячні панелі, встановлені на фасадах, та системи акумуляторних батарей ємністю 10–20 кВт·год дозволяють таким будівлям підтримувати майже автономну роботу. Сучасні енергопозитивні житлові будинки часто споживають менше 10 кВт·год/м²·рік на опалення, при цьому виробляючи 40–60 кВт·год/м²·рік відновлюваної електроенергії, що дає чистий профіцит.

Між пасивним та нульовим енергетичним рівнями знаходиться класифікація «Пасивний будинок плюс» та «Пасивний будинок преміум», запроваджена для переходу до енергетичної незалежності за рахунок відновлюваних джерел енергії. Будівля типу «Пасивний будинок плюс» визначається як така, що відповідає стандартним вимогам до пасивної оболонки будівлі та генерує щонайменше 60 кВт·год/м²·рік відновлюваної первинної енергії за допомогою фотоелектричних систем встановлених на місці. Будівля преміум, у свою чергу, виробляє понад 120 кВт·год/м²·рік відновлюваної енергії і часто досягає вуглецевої нейтральності протягом свого терміну експлуатації. Ці категорії визнають інтеграцію активних систем у концепцію пасивної оболонки, поєднуючи збереження з виробництвом в єдиному цілісному дизайні[7].

Класифікація також поширюється на категорії реконструкції, визнаючи велику частку існуючих будівель, побудованих до введення норм теплової ефективності. Стандарт EnerPHit застосовує принципи пасивного будинку до проектів реконструкції, встановлюючи поріг потреби в опаленні на рівні 25 кВт·год/м²·рік, щоб врахувати існуючі структурні обмеження, зберігаючи при

цьому критерії герметичності та комфорту, еквівалентні критеріям нових пасивних будівель. Будівлі EnerPHit досягають економії первинної енергії на 70–80 % порівняно з їхнім станом до реконструкції, з товщиною утеплення фасаду 200–300 мм, заміною скління на U-значення нижче 0,9 Вт/м²·К та встановленням високоефективних систем вентиляції.

У ширшій перспективі ці класифікації утворюють безперервну шкалу енергоефективності, яка відображає технологічну еволюцію сучасного будівництва. Перехід від стандартних будівель до будівель з низьким енергоспоживанням, пасивних і, нарешті, енергопозитивних будівель відповідає поступовому зменшенню впливу на навколишнє середовище та залежності від викопних видів палива. У числовому вираженні перехід від звичайної будівлі з потребою в опаленні 150 кВт·год/м²·рік до пасивного будинку з потребою 15 кВт·год/м²·рік означає десятикратне поліпшення, тоді як енергопозитивна будівля фактично змінює енергетичний баланс, виробляючи більше енергії, ніж споживає.

За останні три десятиліття концепція пасивного будівництва еволюціонувала від європейської дослідницької ініціативи до всесвітньо визнаного будівельного стандарту, що застосовується в різних кліматичних зонах і типах будівель. Поширення цього підходу було обумовлено як посиленням міжнародних норм енергоефективності, так і швидким розвитком будівельних технологій, здатних забезпечити наднизьке енергоспоживання. Сьогодні понад 65 000 будівель у всьому світі сертифіковані за стандартами пасивного будівництва або еквівалентними стандартами, що становить близько 8 мільйонів квадратних метрів площі. Найбільша концентрація таких проектів спостерігається в Німеччині, Австрії, Швейцарії, Скандинавії, США, Канаді та Китаї, а також на ринках, що розвиваються, у Східній Європі та Азіатсько-Тихоокеанському регіоні.

На початку 2000-х років стандарт почав адаптуватися до неєвропейських кліматичних умов. У Північній Америці оболонки будівель були модифіковані, щоб витримувати більші коливання температури та вищі навантаження сонячної

радіації, тоді як у Південній Європі та Азії стратегії були зосереджені на запобіганні перегріванню та інтеграції систем затінення та природної вентиляції. Розробка інструментів, специфічних для клімату, в рамках Passive House Planning Package дозволила проводити точне моделювання енергії для регіонів з діапазоном температур від -25 °C до +45 °C. В результаті сертифіковані будівлі зараз існують від Аляски і Фінляндії до Аравійського півострова і Австралії[7].

Технологічні інновації стали визначальною характеристикою сучасного пасивного будівництва. Використання збірних перехресно-клеєних дерев'яних конструкцій і структурних ізольованих панелей дозволяє створювати високоточні, термоізольовані оболонки з допуском монтажу менше 2 мм. Ці системи дозволяють скоротити час будівництва окремих пасивних будинків до менше ніж чотирьох тижнів на місці. Вакуумні ізоляційні панелі з теплопровідністю до 0,004 Вт/м·К все частіше використовуються в зонах з обмеженою товщиною, таких як балкони, фасади з декоративним облицюванням та віконні прорізи, де звичайна ізоляція може обмежувати корисний простір. Крім того, матеріали з фазовим переходом, інтегровані в облицювання стін або бетонні покриття, забезпечують приховану теплоємність 40–60 кДж/кг, стабілізуючи внутрішню температуру та зменшуючи навантаження на охолодження влітку до 30%.

Інтеграція систем відновлюваної енергії є ключовою тенденцією, яка відрізняє пасивні будівлі другого покоління. Категорії «Пасивний будинок плюс» та «Преміум» вимагають відновлюваної енергії на місці, що еквівалентна щонайменше 60 кВт·год/м² та 120 кВт·год/м² корисної площі на рік відповідно. Фотоелектричні модулі з номінальною ефективністю понад 22% зараз є стандартними елементами конструкції даху, а інтегровані в будівлю фотоелектричні системи, вбудовані у фасади, забезпечують як естетичні, так і функціональні переваги. У поєднанні з акумуляторними батареями та інтелектуальними інверторами ці системи забезпечують рівень самоспоживання енергії до 80% і в багатьох випадках досягають позитивного річного енергетичного балансу.

Не менш важливою є цифровізація пасивної будівлі. Сучасні проекти використовують інтелектуальні системи управління будівлями, які постійно контролюють температуру, вологість, концентрацію CO_2 та споживання електроенергії в приміщеннях. Алгоритми машинного навчання оптимізують роботу теплових насосів, вентиляційних установок та пристроїв затінення для підтримки комфорту в вузьких діапазонах 20–25 °C та 40–55% відносної вологості, одночасно зменшуючи пікові електричні навантаження. У багатоповерхових будівлях хмарні платформи моніторингу дозволяють порівнювати показники ефективності в режимі реального часу, забезпечуючи дотримання проектних очікувань протягом усього життєвого циклу[19].

У всьому світі уряди почали інтегрувати критерії пасивного будинку в національні рамки енергоефективності. В Європейському Союзі Директива про енергоефективність будівель тепер вимагає, щоб усі нові будівлі були майже нульовими за енергоспоживанням, що на практиці тісно узгоджується з принципами пасивного проектування. Аналогічні норми були прийняті в Національному будівельному кодексі Канади та в Китайському стандарті оцінки екологічного будівництва, де пілотні проекти в Пекіні, Ціндао та Харбіні продемонстрували зниження енергоспоживання на опалення на понад 90% порівняно з традиційним будівництвом. У Центральній та Східній Європі пасивні будівлі все частіше використовуються у великих житлових комплексах та об'єктах державного сектору, оскільки ця технологія забезпечує як енергетичну стійкість, так і зниження експлуатаційних витрат.

Рис. 2.3 Багатоквартирний пасивний будинок

Майбутній розвиток концепції пасивних будівель зосереджений на подальшому зменшенні втіленого вуглецю та інтеграції принципів циркулярної економіки. Дослідження спрямовані на використання біоматеріалів, таких як ізоляція з деревинної волокна, конопляний бетон та міцелієві композити, чиї значення втіленого вуглецю нижчі за 50 кг $CO_2e/м^3$ — значно нижчі, ніж у традиційної мінеральної вати або полістиролу. В даний час випробовуються передові технології адитивного виробництва для виготовлення герметичних конструкційних елементів безпосередньо на місці з мінімальними відходами. Крім того, гібридні енергетичні системи, що поєднують повітряні теплові насоси, сонячні колектори та сезонні резервуари для зберігання, дозволяють пасивним будівлям функціонувати незалежно від централізованих мереж.

РОЗДІЛ 3
ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПАСИВНОЇ БУДІВЛІ НА ПРИКЛАДІ ДВОПОВЕРХОВОГО КОТЕДЖУ

3.1 Опис проєкту та умов будівництва

Проект стосується будівництва двоповерхового окремого пасивного котеджу, розташованого на заміській ділянці в Київській області. Будівля має розміри 18,34 на 11,78 метрів і максимальну висоту 8,9 метра. Вона включає цокольний поверх, два надземні поверхи з висотою стелі 2,9 та 2,7 метра і горище висотою 2 метри. Внутрішнє планування включає чотири спальні та дві окремі ванні кімнати з додатковими санвузлами, що забезпечує достатній житловий простір для сім'ї, гарантуючи при цьому приватність і комфорт. Загальна площа ділянки становить 25 на 40 метрів, з пологим схилом з перепадом висоти 1,6 метра, що спускається з півдня на північ. Ландшафт відкритий і без перешкод, що забезпечує оптимальне сонячне освітлення та природну вентиляцію. Дерева будуть висаджені стратегічно, щоб поліпшити затінення і пасивний клімат-контроль без шкоди для сонячного тепла в зимові місяці[2].

Місцевий клімат помірний континентальний, характерний для Київської області. Середньорічна температура коливається від -6 °C в січні до +19 °C в липні, з абсолютними екстремальними значеннями до -28 °C взимку і +38 °C влітку. Відносна вологість повітря в середньому становить 70% взимку і 50% влітку, а переважаючі вітри північно-західні зі швидкістю 2–4 м/с, з періодичними поривами до 12 м/с. Середньорічна сонячна радіація в регіоні становить 1 100 кВт·год/м², що дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію як для фотоелектричних, так і для пасивних сонячних систем. Ці кліматичні параметри безпосередньо впливають на орієнтацію будівлі, конструкцію оболонки та енергетичні системи, щоб мінімізувати потреби в опаленні та охолодженні, зберігаючи при цьому комфорт протягом усього року.

Геотехнічні умови ділянки вказують на наявність товстого шару родючих чорноземних ґрунтів з несучою здатністю, достатньою для неглибоких фундаментів. Грунтові води знаходяться на глибині 14–15 метрів, а вторинний

водоносний горизонт на глибині 42 метрів забезпечує надійне джерело води через спеціальну систему свердловин. Топографія ділянки та ґрунтові умови дозволяють встановити ґрунтовий теплообмінник для сезонної підземної системи теплового накопичення, що підвищує енергоефективність за рахунок попередньої обробки вентиляційного повітря з мінімальними додатковими енерговитратами.

Рис. 3.1 Схема інженерних мереж та планування будівлі

Будівля орієнтована відповідно до принципів пасивного будинку, з основними житловими приміщеннями, що виходять на південь, щоб максимізувати сонячне тепло взимку та мінімізувати перегрів влітку. На даху, що виходить на південь, та прилеглих ділянках планується розмістити фотоелектричні панелі, що забезпечуватимуть відновлювану електроенергію для власного споживання та потенційного експорту надлишкової енергії до місцевої електромережі. Будівля спроектована для майже нульового енергоспоживання з мінімальною залежністю від зовнішніх мереж комунальних послуг: немає підключення до газопроводу, а електроенергія з муніципальної мережі призначена виключно для стабілізації пікових навантажень та експорту

надлишкової енергії. Водопостачання є повністю незалежним, вода береться з глибокої свердловини та фільтрується для побутового використання[19].

Таке поєднання умов ділянки, кліматичних характеристик та орієнтації будівлі забезпечує відповідність котеджу стандарту Passive House Plus. Відкритий ландшафт забезпечує максимальну гнучкість у пасивних сонячних стратегіях та інтеграції відновлюваних джерел енергії, а пологий схил і ґрунтові умови сприяють встановленню ґрунтового теплообмінника та ефективному дренажу. Архітектурний та екологічний контекст у поєднанні з ретельним аналізом сонячних, вітрових та теплових параметрів є основою для вибору оболонки, конструктивних та інженерних рішень.

3.2 Вибір конструктивних рішень та матеріалів

Конструктивна система двоповерхового пасивного котеджу заснована на монолітному залізобетонному перекритті товщиною 300 мм, що спирається на суцільний шар утеплювача з екструдованого полістиролу високої щільності товщиною 200 мм (λ = 0,029 Вт/м·К, міцність на стиск 300 кПа). Така конфігурація забезпечує тепловий бар'єр між будівлею та ґрунтом, зменшуючи тепловтрати через фундамент і забезпечуючи внутрішню температуру підлоги вище 18 °C навіть в екстремальних зимових умовах. Плита армована подвійним шаром сталевої арматури: Ø16 мм у нижньому шарі та Ø12 мм у верхньому шарі, з інтервалом 200 мм як по довжині, так і по ширині, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження по ґрунту. Плита розрахована на статичне та динамічне навантаження до 5 кПа, що цілком достатньо для двоповерхової конструкції, включаючи дах і перегородки[1].

Зовнішні стіни складаються з блоків автоклавного пористого бетону товщиною 300 мм, що забезпечують міцність на стиск 5–6 МПа і теплопровідність 0,12 Вт/м·К. Для досягнення стандарту Passive House Plus в кліматичних умовах Київської області стіни зовні утеплені 400 мм мінеральної вати високої щільності (λ = 0,035 Вт/м·К, ρ = 120 кг/м³). В результаті розрахунковий коефіцієнт теплопередачі стін становить 0,12 Вт/м²·К, що забезпечує мінімальні тепловтрати і стабільну температуру всередині

приміщення під час сильних морозів, коли температура зовні може досягати –28 °C. Критичні ділянки, схильні до утворення теплових мостів, включаючи віконні та дверні отвори, стики стін і даху, а також з'єднання з балконами, посилені ізоляційними панелями з аерогелю товщиною 20–30 мм і теплопровідністю 0,015 Вт/м·К. Включення аерогелю в ці ділянки забезпечує безперервну теплову оболонку та усуває холодні місця, які можуть призвести до конденсації або втрати тепла[8].

Рис. 3.2 Схематичний розріз зовнішньої стіни

Конструкція даху складається з збірного дерев'яного каркаса з кроквами, розташованими на відстані 600 мм одна від одної, покритого 500 мм ізоляції з мінеральної вати високої щільності (λ = 0,035 Вт/м·К, ρ = 120 кг/м³). Дах забезпечує коефіцієнт теплопередачі 0,10 Вт/м²·К. Вентильований повітряний прошарок товщиною 50 мм між ізоляцією та покрівельним покриттям забезпечує контроль вологості та запобігає конденсації всередині дерев'яних крокв, підвищуючи довговічність конструкції даху. Дах покритий гнучкими бітумними черепицями, здатними витримувати вітрові навантаження до 30 м/с і снігові навантаження до 1,5 кПа, з терміном експлуатації 25–30 років. Таке поєднання товстої ізоляції та вентильованої конструкції даху гарантує мінімальні

тепловтрати, комфорт протягом усього року та довговічність дерев'яної конструкції[17].

Рис. 3.3 Схематичний розріз даху

Вікна – це високоефективні потрійні склопакети з низькоемісійним покриттям та заповненими аргоном порожнинами, що забезпечують коефіцієнт теплопередачі 0,80 Вт/м²·К. Віконні рами виготовлені з ізольованого скловолокна з терморозривами, що забезпечує герметичне ущільнення та структурну стабільність. Двері мають аналогічну конструкцію з ізольованими серцевинами, тепловими розривами та поліуретановими прокладками. Всі стики та прорізи оболонки ретельно герметизовані повітронепроникними мембранами, що забезпечує герметичність $n50 \leq 0{,}6\ h^{-1}$, відповідно до стандартів Passive House Plus[3].

Дана конфігурація підтримує внутрішню температуру в комфортному діапазоні 20–24 °C, навіть коли зовнішня температура опускається нижче –25 °C,

і зменшує річну потребу в опаленні до менше ніж 15 кВт·год/м²·рік. Очікується, що загальне споживання первинної енергії будівлею залишиться нижче 60 кВт·год/м²·рік, що забезпечить майже нульове енергоспоживання та відповідність критеріям Passive House Plus. Вибрані матеріали та будівельні рішення забезпечують не тільки високу енергоефективність, але й довговічність, пожежну безпеку та стійкість до руйнування під впливом вологи, створюючи надійну основу для інтеграції передових інженерних систем[4].

3.3 Інженерні мережі

Двоповерховий пасивний котедж інтегрує передові інженерні системи, розроблені для досягнення майже нульового енергоспоживання, забезпечуючи при цьому повну автономність від зовнішніх мереж комунальних послуг для опалення, охолодження, гарячого водопостачання та електропостачання домогосподарств. Енергетична стратегія будівлі поєднує в собі геотермальний тепловий насос, велику сонячну фотоелектричну генерацію, сонячні теплові колектори, акумуляторні батареї великої ємності та комплексну інтелектуальну систему управління, які розташовані в цокольному приміщенні для оптимізації простору, доступності та обслуговування[11].

Опалення та охолодження в основному забезпечуються вертикальним геотермальним тепловим насосом, підключеним до шести свердловин на глибині 80–100 метрів. Система подає воду низької температури до контурів підлогового опалення на першому та другому поверхах, підтримуючи температуру поверхні підлоги 28–30 °C та температуру повітря в приміщенні 20–24 °C, навіть коли зовнішня температура опускається нижче –25 °C. Пасивне охолодження досягається за допомогою механічної вентиляційної системи з рекуперацією тепла, яка також сприяє підтримці якості повітря в приміщенні, подаючи 35–40 м³/год на кожного мешканця відфільтрованого, осушеного повітря. Блоки досягають ефективності рекуперації тепла 90% і вище, забезпечуючи мінімальне споживання енергії та підтримуючи здорове і комфортне середовище в приміщенні.

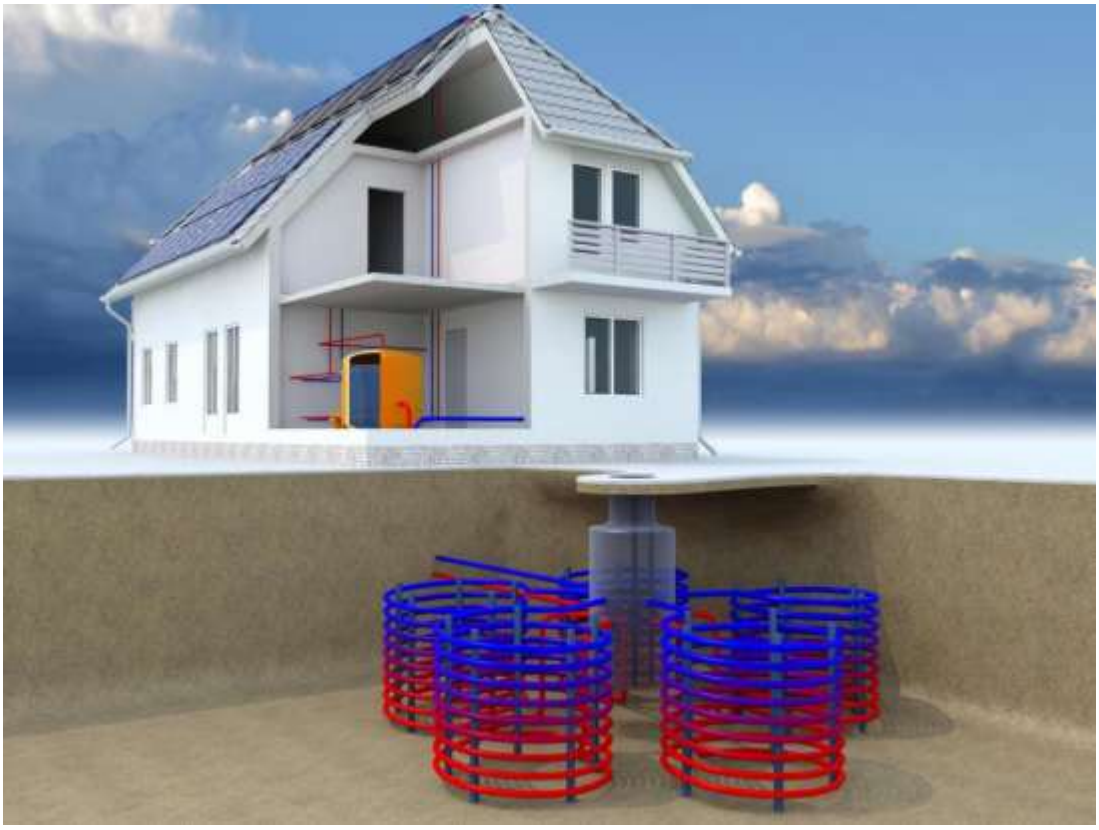

Рис. 3.4 Схема влаштування опалення тепловим насосом

Гаряча вода для побутових потреб забезпечується за допомогою комбінації геотермального теплового насоса та сонячних колекторів на даху, що покриває 50–60 % річної потреби в гарячій воді протягом весняних та літніх місяців. Сонячна теплова система включає 10 м² високоефективних вакуумних трубчастих колекторів з тепловою потужністю 4–5 кВт, інтегрованих з 400-літровим ізольованим накопичувальним баком. Тепловий насос доповнює сонячну енергію в холодні періоди, а компактний електричний занурювальний нагрівач забезпечує підтримку пікового навантаження та стабілізацію температури[15].

Для задоволення значних потреб будівлі в електроенергії, включаючи побутову техніку, приготування їжі, освітлення, електроніку та системи «розумного будинку», на даху, що виходить на південь, та прилеглих відкритих ділянках встановлено фотоелектричну батарею потужністю 20 кВт. Електроенергія, що генерується на місці, управляється за допомогою системи акумуляторних батарей великої ємності 45 кВт·год, що забезпечує безперебійне постачання в періоди низької сонячної інсоляції та створює резерв для критичних

навантажень. Надлишок електроенергії експортується в мережу за угодами про нетто-лічильники, що дозволяє будівлі робити внесок у місцеву електромережу, зберігаючи при цьому енергетичну автономію.

Рис. 3.5 Приклад розміщення сонячних панелей на даху

Всі електричні системи спроектовані з повним заземленням і захистом. Головна розподільна панель, інвертори для фотоелектричних і сонячних теплових систем, контролери акумуляторних батарей і інтерфейс теплового насоса розташовані в технічних приміщеннях, що забезпечує зручний доступ для моніторингу, обслуговування та дотримання вимог безпеки. Вся мережа управління енергією інтегрована з інтелектуальною системою управління будівлею, що дозволяє в режимі реального часу контролювати та моніторити опалення, охолодження, вентиляцію, гаряче водопостачання, освітлення та споживання енергії у всіх системах. Це забезпечує оптимальну енергоефективність, балансування пікових навантажень та прогнозне управління на основі прогнозів погоди та моделей заселеності[20].

Висновок

Проведене дослідження демонструє доцільність та ефективність застосування принципів пасивного будинку при проектуванні та будівництві двоповерхового котеджу. Завдяки інтеграції високоефективної ізоляції, герметичних будівельних конструкцій, усуненню теплових мостів та сучасних

систем скління, будівля досягає мінімальних тепловтрат та стабільного комфорту в приміщенні протягом усього року. Використання відновлюваних джерел енергії, таких як геотермальні теплові насоси та фотоелектричні панелі, дозволяє досягти майже нульового енергоспоживання та зменшити залежність від зовнішніх інженерних мереж.

Дослідження підтверджує, що ретельний підбір матеріалів, конструктивних рішень та технічних систем є необхідною умовою для відповідності стандартам Passive House Plus. Легкі конструктивні елементи в поєднанні з товстою ізоляцією та безперервною герметичністю забезпечують як довговічність, так і енергоефективність. Представлений підхід гарантує повне задоволення вимог до теплового, акустичного та повітряного комфорту в приміщенні, зберігаючи при цьому функціональність та естетичну цілісність житлових приміщень.

РОЗДІЛ 4

ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ БУДІВЛІ

4.1 Об’ємно-планувальне рішення

Об’ємно-планувальне рішення котеджу визначається площею будівлі розмірами 18 340 мм по осях 1–5 та 11 780 мм по осях А–Д. Загальна висота споруди становить 8,9 м. Будівля включає два надземні поверхи висотою 2,9 та 2,7 м і горище висотою 2,0 м, а також цокольний поверх, призначений для технічних потреб, інженерного обладнання та систем обслуговування[5].

Таблиця 4.1 Експлікація приміщень цокольного поверху

Номер приміщення	Найменування	Площа, м²	Кат. приміщення
1	Технічне приміщення	10.08	
2	Технічне приміщення	14.88	
3	Технічне приміщення	20.18	
4	Тамбур	1.38	
5	Тамбур	2.24	
6	Коридор	5.18	
7	Коридор	20.25	
8	Технічне приміщення	6.75	
9	Коридор	11.25	
10	Коридор	9.23	
11	Кладова	1.47	
12	Кладова	0.82	
13	Коридор	4.65	
14	Технічне приміщення	3.41	
15	Технічне приміщення	10.14	
16	Гараж	31.12	

Таблиця 4.2 Експлікація приміщень першого поверху

Номер приміщення	Найменування	Площа, м²	Кат. приміщення
1	Зал	37.96	
2	Тамбур	3.09	
3	Коридор	21.06	
4	Ванна кімната	11.01	
5	Комора	7.39	
6	Кухня	26.63	
7	Тераса	34.40	

Таблиця 4.3 Експлікація приміщень другого поверху

Номер приміщення	Найменування	Площа, м²	Кат. приміщення
1	Спальня	14.70	
2	Спальня	22.65	
3	Коридор	24.73	
4	Ванна кімната	11.01	
5	Спальня	15.63	
6	Спальня	21.51	

Функціональне планування передбачає два окремі входи, що забезпечують незалежний доступ до будівлі з різних сторін. На поверхах розташовані чотири спальні, дві повноцінні ванні кімнати та дві окремі санвузли, розміщені таким чином, щоб мінімізувати довжину внутрішніх інженерних мереж. Вертикальне переміщення між рівнями забезпечується однобічними дерев'яними сходами розрахованими на стандартне навантаження 3,6 кН/м². Конфігурація сходів забезпечує ширину прольоту 1000 мм і висоту сходинки 170 мм.

Планове рішення утворює компактну структуру з ефективним використанням площі поверхів і чітким розділенням житлової та технічної зон, мінімізуючи простір коридорів і забезпечуючи раціональне інженерне обслуговування будівлі.

4.2 Архітектурно-конструктивне рішення

Фундамент та підземна частина будівлі

Будівля спирається на монолітний залізобетонний фундамент, розташований на суцільному шарі пінополістиролу високої щільності товщиною 200 мм з міцністю на стиск 200 кПа[12]. Плита має рівномірну товщину 300 мм. Її армування складається з двох зварених сіток Ø12 мм з кроком 150 × 150 мм в обох напрямках, розміщених у верхній і нижній зонах, з захисним бетонним покриттям 40 мм. По всьому периметру плити має L-подібний теплоізоляційний профіль з пінополістиролу для усунення теплових мостів[16].

Стіни цокольного поверху побудовані з монолітного залізобетону товщиною 300 мм із зовнішнім теплозахисним шаром, що складається з 200 мм утеплювача з пінополістиролу. Стіни повністю покриті двошаровою бітумною гідроізоляційною мембраною і додатково захищені на рівні землі дренажною композитною мембраною. Внутрішні поверхні покриті суцільним паронепроникним покриттям із значенням Sd > 20 м для забезпечення герметичності. Всі стики між стінами і плитою ущільнені розширювальними бутил-гумовими стрічками і двошаровими поліуретановими ущільнювальними валиками. Вимощення по периметру виконане шириною 0,8 м та з'єднане з гідроізоляційною системою через 15-міліметровий еластичний компенсаційний шов, ущільнений стійким до УФ-випромінювання поліуретаном[6].

Підземні технічні системи включають шість вертикальних геотермальних свердловин, пробурених на глибину 95 м кожна. Свердловини розташовані лінійним рядом уздовж північної частини ділянки з інтервалом 6 м. Кожна свердловина обладнана подвійним U-подібним поліетиленовим зондом Ø40 мм, заповненим теплоносієм для забезпечення стабільної теплопровідності та запобігання гідравлічному руху між шарами ґрунту. Зонди прокладені до технічного приміщення цокольного поверху через ізольовані колектори, встановлені всередині захисних рукавів.

Плита містить кілька проходів для комунікацій, утворених жорсткими ПВХ втулками з внутрішнім діаметром від 50 до 160 мм, залежно від відповідної лінії

комунікацій. Ці втулки проходять через всю товщину плити, не порушуючи суцільності армування. Труби та кабелі комунікацій, що проходять через ці проходи, закріплені цементним розчином з боку конструкції та ущільнені на внутрішній поверхні еластичними герметичними мембранами[14]. Всі зовнішні сегменти, що проходять через 200-міліметровий ізоляційний шар, обмотуються додатковим 50-міліметровим поліуретановим ізоляційним шаром для усунення лінійних теплових мостів. Аналогічне герметичне ущільнення виконується на кожному стику, де конструкція цокольного поверху стикається з вертикальними або горизонтальними ізоляційними шарами[21].

Стіни будівлі

Всі стіни будівлі побудовані з автоклавних газобетонних блоків стандартних розмірів 600 × 300 × 200 мм. Несучі стіни мають конструктивну товщину 300 мм, сформовану шляхом укладання блоків з суцільними тонкошаровими клейовими швами 2–3 мм, що забезпечує мінімальні теплові розриви. Внутрішні перегородки побудовані товщиною 200 мм з використанням тієї ж системи тонких швів для збереження рівномірних характеристик герметичності поверхні.

Зовнішня теплова оболонка включає суцільний шар мінеральної вати високої щільності товщиною 400 мм з номінальною теплопровідністю $\lambda = 0{,}034$ Вт/(м·К). Ізоляція встановлюється у два механічно закріплених шари: внутрішній шар товщиною 200 мм із жорстких плит мінеральної вати з підвищеною міцністю на стиск для опору вітровому навантаженню та зовнішній шар товщиною 200 мм із мінеральної вати середньої щільності для сумісності з системою оздоблення. Усі ізоляційні шви встановлюються зі зміщеними стиками, утворюючи однорідний тепловий бар'єр з безперервним покриттям по кутах, віконних отворах, стиках плит та з'єднаннях даху і стін[8].

Над усіма віконними та дверними отворами використовуються збірні залізобетонні перемички. Ці елементи обгорнуті смугами мінеральної вати високої щільності товщиною 50 мм з усіх відкритих сторін для усунення лінійних теплових мостів. Точки кріплення фасадних кронштейнів, кріплень та

механічних з'єднувачів оснащені структурними тепловими розривами для запобігання утворенню холодних мостів.

Всі зовнішні стінові конструкції оброблені паропроникним шаром із значенням Sd 0,02–0,05 м, що запобігає конвективним втратам тепла, одночасно дозволяючи дифузію вологи назовні. Вся фасадна система підтримує безперервну герметичність завдяки застосуванню гнучких ущільнювальних стрічок на акриловій основі на всіх стиках між кладкою, віконними рамами, краями плит і елементами покрівлі[13]. На лініях плит перекриття кладка відокремлена від конструкції за допомогою еластичних герметичних прокладок, щоб уникнути мікротріщин і зберегти герметичність. Всі механічні проникнення через зовнішні стіни — вентиляційні канали, електричні кабелі та лінії теплових насосів — проходять через попередньо встановлені втулки і герметизуються багатоступеневими герметичними манжетами та розширювальними мембранами[21].

Перекриття та покрівля будівлі

Конструкція перекриття будівлі реалізована за допомогою інженерних дерев'яних балок у поєднанні з легкою композитною дерев'яною плитою. Дерев'яні балки є ламінованими клеєними елементами з поперечним перерізом 200 × 300 мм, що простягаються на відстань до 6 м без проміжної опори, і розташовані на відстані 600 мм одна від одної. Балки покриті 22-міліметровими панелями з фанери з шпунтовим з'єднанням, які служать основою для підлогової ізоляції та оздоблювальних шарів. Загальна глибина підлогової конструкції становить 300 мм, включаючи 50-міліметрову легку стяжку для підтримки внутрішнього оздоблення. Всі з'єднання балок зі стінами посилені сталевими кутовими кронштейнами та інтегрованими еластичними прокладками, щоб забезпечити повну суцільність герметичної оболонки, запобігти локальному тиску на газобетонні стіни та усунути теплові мости на стиках стін і підлоги. Підлога спроектована для витримування рівномірного динамічного навантаження 2 кПа та концентрованого навантаження 3 кПа в житлових приміщеннях[17].

Дахова система є шатровою конструкцією. Каркас даху побудований з ламінованих дерев'яних крокв перерізом 200 × 250 мм, розташованих з кроком 600 мм. Ізоляція даху складається з суцільного шару мінеральної вати високої щільності товщиною 500 мм. Під шаром ізоляції встановлена пароізоляційна мембрана, а на зовнішній поверхні нанесена вітро- та водостійка мембрана для захисту ізоляції від проникнення та конвективних втрат. Всі стики на конику, карнизах та торцях даху ущільнені еластичними прокладками та суцільними стрічковими мембранами, що забезпечує герметичність нижче $n50 \leq 0,6\ h^{-1}$, відповідно до стандартів пасивного будинку. Всі елементи з дерева оброблені вогнезахисними та протигрибковими покриттями.

Покриття даху складається з гнучкої бітумної черепиці, встановленої над вентильованою системою контррейок, що забезпечує довговічність, стійкість до підйому вітром і сумісність з вбудованими сонячними фотоелектричними панелями. Фотоелектричні панелі інтегровані вздовж південного схилу даху, встановлені врівень з поверхнею черепиці, щоб мінімізувати затінення і зберегти суцільну теплову оболонку. Проходи в даху для вентиляційних отворів і фотоелектричних трубопроводів виконані з ізольованими і герметичними манжетами, що забезпечує герметичність і запобігає утворенню теплових мостів.

Вікна та двері

Всі вікна та двері оснащені високоефективними елементами, розробленими відповідно до вимог Passive House Plus. Зовнішні вікна мають потрійне скління з низькоемісійним покриттям та заповнені аргоном. Середній коефіцієнт сонячного теплоприбутку (g-значення) становить 0,55, що оптимізовано для максимізації пасивного сонячного теплоприбутку взимку та обмеження перегріву влітку. Розміри вікон варіюються залежно від орієнтації та вимог до денного освітлення, при цьому скління південного фасаду збільшено до 2,3 м × 2,2 м, а скління північного фасаду зменшено до 1,2 м × 1,6 м[18]. Всі віконні блоки встановлені з суцільною герметичною стрічкою по периметру і

утеплені 50 мм мінеральною ватою в отворі, щоб запобігти лінійним тепловим мостам[3].

Зовнішні двері, включаючи головний і додатковий входи, є утепленими дерево-алюмінієвими композитними блоками товщиною 100 мм і коефіцієнтом теплопередачі 0,90 Вт/(м²·К). Двері оснащені багатоточковими системами замикання та герметичними прокладками, що забезпечують повну теплову та повітряну герметичність з навколишньою стіновою оболонкою. Пороги мають тепловий розрив з поліуретановими вставками, а всі дверні коробки механічно закріплені вбудованими прокладками для запобігання утворенню холодних мостів.

Всі отвори для вентиляційних каналів, електропроводки та дверної фурнітури попередньо просвердлені та ущільнені розширювальним поліуретаном мембранами для забезпечення безперервної герметичності. Внутрішні двері, включаючи двері спалень, ванних кімнат та коридорів, виготовлені з масиву дерева зі стандартними коефіцієнтами теплопередачі.

Зовнішнє та внутрішнє оздоблення

Зовнішнє оздоблення будівлі розроблено з урахуванням міцності, стійкості до атмосферних впливів та сумісності з тепловою оболонкою пасивного будинку. Фасад оздоблено армованою акриловою штукатуркою товщиною 15 мм, яка забезпечує ударостійкість і водовідштовхуваність, зберігаючи при цьому паропроникність. Всі кути, віконні та дверні отвори, а також парапети армовані скловолокнистою сіткою, вбудованою в штукатурку, для запобігання утворенню тріщин. Фінішний шар наноситься за допомогою мінеральних пігментів стійких до УФ-випромінювання. Основа стін на рівні вимощення захищена декоративним і вологостійким цоколем з клінкерної плитки висотою 200 мм, механічно закріпленим до ізоляції і відокремленим від шару штукатурки компенсаційним швом для запобігання утворенню тріщин.

Всередині всі стіни оброблені тонким шаром гіпсової штукатурки, що забезпечує гладку, рівну поверхню для подальшого фарбування або декоративного оздоблення. Вітальні та спальні оброблені двома шарами

водорозчинної акрилової фарби з низьким вмістом летких органічних сполук, що забезпечує якість повітря в приміщенні. Вологі приміщення, такі як ванні кімнати та кухні, додатково облицьовані керамічною плиткою розміром 200 × 300 мм на стінах, а підлоги в цих приміщеннях оброблені керамічною плиткою товщиною 12 мм на армованій стяжці[10]. Решта підлог покриті 22-міліметровими інженерними дерев'яними панелями, закріпленими на конструктивній дерев'яній плиті з еластичною підкладкою для забезпечення звукоізоляції та мінімізації передачі вібрації. Стелі виконані з гіпсокартону та пофарбовані в білий колір[9]. Сходи облицьовані ламінованими дерев'яними сходинками, що відповідають оздобленню підлоги, а всі поручні виготовлені з дерева висотою 900 мм і діаметром 40 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009 [Чинний від 2011-01-01]. – К: Мінрегіонбуд України, 2011. – 45 с. (Національні стандарти України).

2. Благоустрій територій (зі Змінами): ДБН Б.2.2-5:2011 [Чинний від 2012-09-01]. – К: Мінрегіонбуд України, 2019. – 44 с. (Національні стандарти України).

3. Вікна та двері: ДСТУ EN 14351-1:2020.

4. Довідково-інформаційний збірник ресурсів та одиничних розцінок на будівельно-монтажні роботи. – Суми : СНАУ, 2011.

5. Житлові будинки. Основні положення: ДБН В.2.2-15:2019 [Чинний від 2019-12-01]. – К: Мінрегіонбуд України, 2019. – 54 с. (Національні стандарти України).

6. Кам’яні та армокам’яні конструкції: ДБН В.2.6-162:2010.

7. Климчук М. М. Енергоефективні будівлі як складова сталого розвитку будівельної галузі. – Рівне : НУВГП, 2015. – 112–118 с.

8. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією: ДБН В.2.6-33:2018.

9. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи.

10. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Підлоги.

11. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва» [Чинний від 2021-11-09]. – К: Мінрегіонбуд України, 2021. – 44–46 с. (Національні стандарти України).

12. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2-2:2016 [Чинний від 2017-10-01]. – К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 13–16 с. (Національні стандарти України).

13. Охорона праці і промислова безпека в будівництві: ДБН А.3.2-2-2009 [Чинний від 2012-04-01]. – К: Мінрегіонбуд України, 2012. – 53–54 с. (Національні стандарти України).

14. Організація будівельного виробництва (посібник для розробки курсових та дипломних проектів). – Суми : СНАУ, 2011. – 125 с.

15. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5:2016 [Чинний від 2016-01-01]. – К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 44–46 с. (Національні стандарти України).

16. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018.

17. Покриття будівель і споруд: ДБН В.2.6-220:2017.

18. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018 [Чинний від 2019-02-28]. – К: Мінрегіонбуд України, 2018. – 7 с. (Національні стандарти України).

19. Сердюк О. В. Пасивний будинок. Будинок нульової енергії : навчальні матеріали. – Львів, 2020. – 45 с.

20. Склад та зміст проектної документації на будівництво: ДБН А.2.2-3-2014 [Чинний від 2014-10-01]. – К: Мінрегіонбуд України, 2014. – 10 с. (Національні стандарти України).

21. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 [Чинний від 2016-10-01]. – К: Мінрегіонбуд України, 2017. – 15 с. (Національні стандарти України).