

**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. П.  
Новицький

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**за другим рівнем вищої освіти**

На тему: «Впровадження енергоефективних рішень при будівництві 10-ти поверхового житлового будинку в м. Полтава»

Виконав (ла)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

В. А. Беда

\_\_\_\_\_  
(Прізвище, ініціали)

Група

\_\_\_\_\_  
ЗПЦБ 2301м

(Науковий)  
керівник

\_\_\_\_\_  
(підпис)

М. В. Нагорний

\_\_\_\_\_  
(Прізвище, ініціали)

Суми – 2024 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**

**Бєда Віталій Анатолійович**

**Тема роботи:** Впровадження енергоефективних рішень при будівництві 10-ти поверхового житлового будинку в м. Полтава

Затверджено наказом по університету № 2915/ос від " 30 " 08 2024р.  
Строк здачі студентом закінченої роботи: " 1 " грудня 2024 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, 1.1. Принцип роботи теплових насосів, 1.2. Потенціал застосування низькопотенційного тепла, Розділ 2.

Опис архітектурно-планувального рішення будівлі, 2.1. Ситуаційний план, 2.2. Об'ємно-планувальне рішення, 2.3. Архітектурно-конструктивне рішення, Список використаних джерел

---

---

---

---

---

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

18 слайдів мультимедійного матеріалу

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Керівник :**

(підпис)

М. В. Нагорний  
(Прізвище, ініціали)

**Консультант**

(підпис)

М. В. Нагорний  
(Прізвище, ініціали)

**Завдання прийняв до виконання:**

**Здобувач**

(підпис)

В. А. Беда  
(Прізвище, ініціали)

## Анотація

Бєда Віталій Анатолійович «Впровадження енергоефективних рішень при будівництві 10-ти поверхового житлового будинку в м. Полтава» – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2024.

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.

Теплові насоси є ефективним і екологічним рішенням для забезпечення опалення, вентиляції та гарячого водопостачання в будівлях. Вони працюють за принципом передачі тепла з навколишнього середовища (повітря, вода, ґрунт) до внутрішнього простору, що дозволяє зменшити енергоспоживання і викиди парникових газів. Технологія теплових насосів набуває все більшої популярності завдяки своїй енергоефективності та зменшенню експлуатаційних витрат у порівнянні з традиційними системами опалення.

Однак, ефективність теплових насосів залежить від багатьох факторів, таких як географічне розташування, тип джерела тепла та технічні характеристики обраної системи. Для досягнення оптимальних результатів необхідно правильно підбирати потужність насосів відповідно до теплового навантаження будівлі, що дозволяє мінімізувати витрати електроенергії. Важливим аспектом є також правильний вибір теплоізоляційних матеріалів для фасадів і дахів, що сприяє зменшенню втрат тепла та покращенню загальної енергоефективності будівлі.

Завдяки розвитку технологій, ціна на обладнання для теплових насосів знижується, що робить їх все більш доступними для використання в

будівництві. При цьому період окупності таких систем становить в середньому від 4 до 9 років. У майбутньому, завдяки впровадженню більш ефективних рішень і розвитку відновлюваних джерел енергії, теплові насоси можуть стати основним компонентом в системах опалення, що дозволить значно зменшити залежність від традиційних джерел енергії та знизити викиди в атмосферу.

Ключові слова: тепловий насос, опалення, охолодження.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Нагорний М. В., Бєда В. А. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.39

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 47 сторінках, у тому числі 6 таблиць, 8 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 2 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 19 використаних джерел. Графічна частина складається з 18 слайдів мультимедійної презентації.

## **Abstracts**

Beda Vitalii Anatoliiovych 'Implementation of energy-efficient solutions in the construction of a 10-storey residential building in Poltava' - Master's thesis in the form of a manuscript.

Master's qualification work in the speciality 192 'Construction and Civil Engineering.' - Sumy National Agrarian University, Sumy, 2024.

The work consists of the table of contents, general characteristics of the work and its qualification features, a review of research on the chosen topic, sections of the main part, conclusions on the results of the ICR (in Ukrainian and English).

The aim, objectives, object and subject of the study, methods of scientific research are formulated.

Heat pumps are an efficient and environmentally friendly solution for providing heating, ventilation and hot water supply in buildings. They work on the principle of transferring heat from the environment (air, water, soil) to the interior space, which reduces energy consumption and greenhouse gas emissions. Heat pump technology is becoming increasingly popular due to its energy efficiency and reduced operating costs compared to traditional heating systems.

However, the efficiency of heat pumps depends on many factors, such as geographical location, type of heat source and technical characteristics of the selected system. To achieve optimal results, it is necessary to select the right pump capacity in accordance with the heat load of the building, which minimises energy consumption. Another important aspect is the correct choice of thermal insulation materials for facades and roofs, which helps to reduce heat loss and improve the overall energy efficiency of the building.

Thanks to advances in technology, the price of heat pump equipment is falling, making them increasingly affordable for use in construction. At the same time, the payback period for such systems is on average 4 to 9 years. In the future, thanks to the introduction of more efficient solutions and the development of renewable energy sources, heat pumps may become a major component in heating systems, which will significantly reduce dependence on traditional energy sources and

reduce emissions.

Keywords: heat pump, heating, cooling.

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

1. Nagorny M.V., Beda V.A. TECHNICAL AND ECONOMIC RATIONALE FOR THE USE OF HEAT PUMPS FOR HEATING A RESIDENTIAL BUILDING // Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference, 29 November 2024, KhNADU, Kharkiv, P.39

The appendices contain the abstracts of the conference, the album of slides of the multimedia presentation.

Structure of the work.

The work consists of the main text on 47 pages, including 6 tables, 8 figures. The text of the paper contains a general description of the work, 2 chapters, conclusions and recommendations based on the results of the work, a list of 19 references. The graphic part consists of 18 slides of a multimedia presentation.

## **ЗМІСТ**

<b>Розділ 1. Загальна характеристика роботи.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Принцип роботи теплових насосів.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Потенціал застосування низькопотенційного тепла.....</b>	<b>23</b>
<b>Розділ 2. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі.....</b>	<b>39</b>
<b>2.1. Ситуаційний план.....</b>	<b>39</b>
<b>2.2. Об'ємно-планувальне рішення.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3. Архітектурно-конструктивне рішення.....</b>	<b>41</b>
<b>Список використаних джерел.....</b>	<b>46</b>

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми:** Використання теплових насосів для опалення є дуже актуальною темою в контексті сучасних енергоефективних будівельних технологій. Теплові насоси пропонують стійку альтернативу звичайним системам опалення, використовуючи відновлювані джерела енергії, такі як повітря, вода або тепло землі.

Вони зменшують викиди парникових газів і споживання енергії, сприяючи захисту навколишнього середовища. Інтеграція теплових насосів узгоджується з глобальними зусиллями щодо підвищення енергоефективності, зменшення залежності від викопного палива та дотримання суворіших екологічних норм. Крім того, їх використання може призвести до значної довгострокової економії витрат як у житлових, так і в комерційних системах опалення.

**Мета і завдання дослідження:** Дослідження спрямоване на оцінку ефективності, стійкості та економічної доцільності теплових насосів як сучасного рішення для опалення. Він досліджує, як ці системи зменшують споживання енергії та викиди парникових газів за рахунок використання відновлюваних джерел енергії.

Дослідження вивчає їх ефективність у різних кліматичних умовах, вплив на навколишнє середовище, економічну ефективність і потенційні проблеми, такі як високі витрати на встановлення та обмеження продуктивності. Мета — надати рекомендації щодо оптимізації використання теплового насоса в різних будівлях і кліматичних умовах для максимізації енергоефективності та екологічних переваг.

**Об'єкт дослідження:** Використання теплових насосів для опалення приміщення.

**Предмет дослідження:** 10-ти поверховий житловий будинок в місті Полтава.

**Методи дослідження:** Дослідження використовує комбінацію експериментальних, аналітичних та порівняльних методів. Експериментальний аналіз включає випробування різних типів теплових насосів у контрольованих умовах для вимірювання їх енергоефективності та продуктивності в різних кліматичних умовах. Збираються дані про споживання енергії, потужність нагріву та експлуатаційну поведінку. Аналітичні методи використовуються для оцінки впливу на навколишнє середовище, наприклад, скорочення викидів вуглецю та економія енергії порівняно з традиційними системами опалення.

Дослідження також включає порівняльний аналіз для оцінки економічної доцільності теплових насосів шляхом порівняння витрат на установку та експлуатацію з витратами на звичайні системи опалення. Крім того, вивчаються тематичні дослідження реальних додатків, щоб отримати практичне розуміння їхньої довгострокової ефективності, проблем і переваг.

**Наукова та технічна новизна одержаних результатів:** Наукова новизна роботи полягає в комплексному аналізі ефективності використання різних типів теплових насосів (водяних, повітряних, геотермальних) для забезпечення потреб у опаленні та гарячому водопостачанні в умовах різних географічних і кліматичних факторів. Особливу увагу приділено оптимізації використання низькопотенційних джерел тепла, таких як геотермальна вода, тепло ґрунту та відпрацьоване тепло від промислових процесів. Вперше пропонується інтеграція теплових насосів з додатковими джерелами опалення для покращення ефективності їх роботи при екстремальних зимових умовах.

**Апробація та публікація результатів роботи:** 1. Нагорний М. В., Беда В. А. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВОЇ БУДІВЛІ // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.39

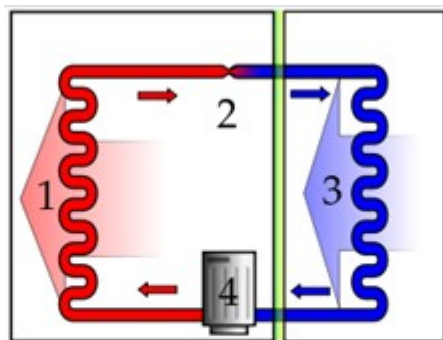
## **1.1. Принцип роботи теплових насосів**

Тепловий насос це термодинамічна система, призначена для передачі теплової енергії від джерела з нижчим тепловим потенціалом (нижчою температурою) до середовища з вищою температурою, яке називають теплоносієм. Цей процес виконується за допомогою циклу, аналогічного циклу охолодження. У холодильнику основною функцією системи є відведення тепла з визначеного простору за допомогою випарника, який поглинає тепло, тоді як конденсатор розсіює цю енергію в навколишнє середовище. І навпаки, у тепловому насосі ролі поміняні місцями: конденсатор стає теплообмінником, який віддає теплову енергію споживачу, а випарник поглинає тепло із зовнішнього середовища або джерела низької температури.

Основною функцією теплового насоса є використання низькопотенційного тепла з вторинних енергетичних ресурсів або нетрадиційних відновлюваних джерел енергії. Таким чином, пристрій сприяє ефективному використанню енергії, використовуючи джерела, які інакше вважалися б термодинамічно непридатними для звичайного опалення. Залежно від принципу роботи теплові насоси можна розділити на два типи: системи стиснення та абсорбції. Компресійні теплові насоси покладаються виключно на механічну енергію, яку найчастіше отримують від електрики, для керування своєю роботою. З іншого боку, абсорбційні теплові насоси можуть отримувати теплову енергію, використовуючи електрику або паливо як джерело енергії. Завдяки механічній простоті та ефективності компресійні теплові насоси є найбільш часто використовуваними системами.

Термодинамічний процес у компресійному тепловому насосі передбачає використання холодоагенту, який зазнає фазових змін у циклі стиснення, конденсації, розширення та випаровування. Цей цикл дозволяє отримати теплову енергію з низькотемпературного джерела, яка потім підвищується до рівня, придатного для опалення. Завдяки цьому процесу теплові насоси здатні значно скоротити споживання енергії порівняно з

традиційними системами опалення, особливо при поєднанні з відновлюваними або низькотемпературними джерелами енергії.



**Рис. 1.1. Принципова схема (1 – конденсатор; 2 – дросель; 3 – випарник; 4 – компресор)**

Тепловий насос працює за допомогою компресора з електричним приводом, який відповідає за циркуляцію холодоагенту в системі. Оскільки компресор споживає електричну енергію, він забезпечує передачу теплової енергії від джерела з нижчою температурою до теплоносія з вищою температурою. Ефективність цього процесу кількісно визначається параметром, відомим як коефіцієнт перетворення або коефіцієнт продуктивності. COP визначається як відношення між кількістю теплової енергії, що подається на теплоносій, і електричної енергії, спожитої компресором.

Математично коефіцієнт корисної дії виражається як відношення корисної теплової потужності до споживаної електроенергії:

$$COP = \frac{Q}{E},$$

де  $Q$  – теплова енергія передана споживачеві, Вт;

$E$  – споживання електричної енергії, Вт.

Теплові насоси класифікуються на основі джерела низькопотенційного тепла, яке вони використовують. Однією з відомих категорій є геотермальний тепловий насос, який використовує теплову енергію землі, включаючи ґрунт і підземні води. Геотермальні системи також поділяються на горизонтальні та вертикальні конфігурації, залежно від способу встановлення системи теплообміну.

Горизонтальний геотермальний тепловий насос використовує теплообмінник, встановлений горизонтально під поверхнею землі. Система включає розміщення труб, розташованих у вигляді петлі, кільцевої або спіральної форми, на глибині нижче межі промерзання більше 1,25 метра. Це забезпечує стабільні теплові умови для оптимальної теплопередачі протягом року. Труби заповнені розчином антифризу, наприклад сумішшю пропіленгліколю, щоб запобігти замерзанню та сприяти ефективному теплообміну між землею та циркулюючою рідиною.

Тепловіддача системи розраховується з урахуванням теплової потужності на метр труби, яка становить від 25 до 35 Вт. Отже, для досягнення потужності 12 кіловат необхідна довжина труби знаходиться в діапазоні від 335 до 520 метрів. Система горизонтальних петель компактна за своєю конструкцією і займає площу приблизно 550 квадратних метрів. Цей спосіб відбору тепла вважається одним з найбільш економічно вигідних рішень для житлових будинків, особливо там, де достатньо земельної ділянки. При правильному плануванні та монтажі горизонтальний контур заземлення має мінімальний вплив на рослинність або озеленення, оскільки він розташований нижче активної кореневої зони.

Перевага цієї системи полягає в її простоті та відносно низькій вартості встановлення порівняно з вертикальними геотермальними системами. Однак його ефективність і здійсненність значною мірою залежать від місцевих ґрунтових умов, наявності земельної ділянки та точності розрахунків теплового навантаження. Правильна конструкція та відстань між трубами встановлюються від 0,45 до 0,75 метрів, є важливими для запобігання тепловим перешкодам і максимізації вилучення енергії з землі. При правильному проектуванні та встановленні горизонтальні геотермальні системи забезпечують надійне та стійке джерело теплової енергії з мінімальним впливом на навколишнє середовище.



**Рис. 1.2. Геотермальний тепловий насос з горизонтальним контуром**

Вертикальна геотермальна система теплового насоса працює за допомогою колекторів тепла, розміщених у глибоких свердловинах, пробурених вертикально в землю, часто проникаючи крізь шари ґрунту та каміння. Система функціонує подібно до свого горизонтального аналога, але відрізняється вертикальною конфігурацією, яка дозволяє ефективно витягувати теплову енергію з більш глибоких геологічних пластів. Кожен метр труби у вертикальному колодязі забезпечує теплову потужність від 45 до 65 Вт. Для системи геотермального теплового насоса з потужністю нагріву 12 кіловат загальна глибина мережі свердловин повинна коливатися від 175 до 210 метрів, щоб задовольнити необхідні потреби в тепловій енергії.

Труби теплообмінника, заповнені розчином антифризу, таким як пропіленгліколь, забезпечують циркуляцію рідини, яка поглинає тепло від навколишньої землі. Ґрунтові води, наявні в свердловині, відіграють вирішальну роль у передачі тепла від навколишнього ґрунту та породи до циркулюючої рідини. Глибина свердловин дозволяє системі отримувати доступ до відносно стабільних і постійних температур протягом усього року, що робить вертикальні геотермальні системи більш надійними в холодному кліматі або регіонах, де температура землі біля поверхні значно змінюється.

Незважаючи на переваги глибшого відведення тепла, продуктивність системи має певні обмеження. Якщо загальна глибина свердловини є недостатньою або якщо система перевантажена в спробі отримати надмірну теплову енергію, температура рідини може впасти занадто низько, що призведе до потенційного замерзання як ґрунтових вод, так і розчину антифризу. Цей ефект замерзання може обмежити максимальну теплоємність системи та поставити під загрозу її довгострокову ефективність.

Вертикальні геотермальні системи є особливо вигідними, коли доступність землі обмежена, оскільки вони потребують набагато меншої площі, ніж горизонтальні системи. Це робить їх ідеальними для встановлення в регіонах, де немає великих земельних ділянок або де ландшафт може бути порушений горизонтальними способами встановлення, наприклад, у гірських чи густонаселених районах. Незважаючи на те, що початкові витрати на буріння та встановлення вищі, ніж у горизонтальних систем, вертикальні системи часто забезпечують більш стійке рішення в середовищах, де простір на поверхні обмежений або де більш глибокі джерела геотермальної енергії пропонують стабільніше тепло.



**Рис. 1.3. Геотермальний тепловий насос з вертикальним контуром**

У системі геотермального теплового насоса з джерелом води теплообмінні колектори занурені у водойми, такі як озера, ставки або річки,

розташовані у формі спіралі або кільця. Ця конструкція використовує термічну стабільність і вищі температури навколишнього середовища у водоймах із мінусовою температурою, що призводить до підвищення продуктивності системи та ефективності роботи. Занурення колекторів у воду забезпечує ідеальне середовище для передачі тепла завдяки відносно високій теплопровідності води порівняно з ґрунтом або повітрям.

У цій конфігурації кожен метр зануреної труби відповідає потужності 35 Вт. Таким чином, щоб отримати теплову потужність 12 кіловат, потрібно приблизно 335 метрів трубопроводу в зануреному контурі. Постійна температура води, яка залишається більш стабільною, ніж температура землі або повітря, сприяє високій ефективності роботи системи. Як результат, занурені водяні теплові насоси можуть працювати з більшою ефективністю, ніж наземні або повітряні системи, особливо в кліматичних умовах, де водойми залишаються відносно теплими протягом року.

Цей спосіб установки також вважається одним із найбільш рентабельних варіантів, оскільки він мінімізує потребу у великій розкопці землі або глибокому бурінні, які потрібні для горизонтальних або вертикальних систем із джерелом землі. Однак для забезпечення ефективності системи необхідно дотримуватися певних екологічних і технічних вимог. Вони включають достатню глибину та об'єм води у вибраному водоймі, щоб забезпечити ефективний теплообмін без надмірного охолодження чи теплових перешкод. Глибина і розмір водойми мають бути достатніми для розміщення загальної довжини мережі труб, забезпечуючи при цьому стабільну температуру води, уникаючи ризику замерзання або перегріву.

Геотермальні системи з джерелами води із зануреними контурами особливо підходять для місць з доступними водоймами, які відповідають цим критеріям. При правильному проектуванні та встановленні цей тип системи пропонує високоефективне та недороге рішення для використання відновлюваної енергії з природних водойм.



**Рис. 1.4. Геотермальний тепловий насос з притопленим контуром**

Грунтові води є надзвичайно ефективним джерелом теплової енергії для систем геотермальних теплових насосів, насамперед завдяки відносно стабільному температурному діапазону, який залишається між +6 і +16 градусами навіть у зимові місяці. Ця характеристика робить ґрунтові води надійним джерелом енергії, оскільки вони не зазнають таких різких температурних коливань, які можуть відбуватися в навколишньому повітрі або на поверхні ґрунту.

Геотермальні теплові насоси, які отримують енергію з підземних вод, відомі своєю високою ефективністю. Коли вода циркулює в системі, вона поглинає теплову енергію з навколишніх геологічних утворень, ефективно передаючи це тепло тепловому насосу для використання в системах опалення. Постійна температура ґрунтових вод підвищує продуктивність теплового насоса, дозволяючи йому працювати з оптимальною ефективністю в різних умовах навколишнього середовища.

Процес передачі тепла в цих системах відбувається, коли ґрунтові води проходять через теплообмінник, де вони віддають тепло холодоагенту, що циркулює в системі. Ефективність теплового насоса додатково посилюється природними тепловими властивостями води, яка має високу питому теплоємність, що дозволяє їй зберігати та передавати значну кількість теплової енергії з мінімальною зміною температури.

Впровадження геотермальних теплових насосів, що використовують підземні води, є стійким і ефективним підходом до використання відновлюваної енергії. Ці системи є особливо вигідними в регіонах з доступними ресурсами підземних вод, оскільки вони максимізують вилучення енергії при мінімізації впливу на навколишнє середовище. Конструкція та принципи роботи таких систем підкреслюють їхній потенціал для забезпечення ефективних рішень опалення в різних сферах застосування.



**Рис. 1.5. Тепловий насос з використанням ґрунтових вод**

Використання повітря як джерела низькопотенційної теплової енергії є поширеним методом у системах геотермальних теплових насосів. Повітря може служити основним джерелом тепла, одержуючи як зовнішні атмосферні умови, так і витягне повітря загальної або локальної систем вентиляції будівлі. Такий підхід усуває необхідність встановлення підземних або підводних контурів теплообміну, що робить його привабливим варіантом для застосувань, де альтернативні методи відведення тепла є непрактичними або нездійсненними.

Повітряні теплові насоси можуть ефективно працювати за низьких температур до  $-17$  градусів, що дозволяє їм використовувати теплову енергію навіть у холодному кліматі. Однак під час екстремальних зимових умов, коли температура падає нижче цього порогу, продуктивність стандартних систем джерела повітря може знизитися, що потребує інтеграції додаткових

опалювальних блоків. Тим не менш, окремі моделі, такі як тепловий насос Heloitem, розроблені для підтримки ефективності роботи в широкому діапазоні температур, від -30 до +40, без необхідності використання додаткових джерел опалення.

Здатність повітряних теплових насосів використовувати доступну теплову енергію навіть за мінусових умов підкреслює їх універсальність і практичність. Ці системи працюють шляхом вилучення тепла з повітря, яке потім передається холодоагенту в тепловому насосі, де воно проходить термодинамічний цикл для забезпечення опалення житлових або комерційних приміщень. Впровадження повітряних теплових насосів є ефективним і стійким рішенням для використання теплової енергії, особливо в сценаріях, коли земельні або водні ресурси обмежені.

Ця технологія не тільки сприяє енергозбереженню, але й підтримує перехід до відновлюваних джерел енергії за рахунок використання тепла навколишнього середовища. Конструкція та робоча структура повітряних теплових насосів є прикладом їхньої ролі в сучасних енергетичних системах, забезпечуючи надійні рішення для опалення та мінімізуючи вплив на навколишнє середовище.



**Рис. 1.6. Повітряний тепловий насос**

Повітряні теплові насоси представляють собою складне технологічне рішення для отримання теплової енергії з низьким потенціалом з

навколишнього повітря через систему повітроводів, яку називають системою повітря-повітря. Ці теплові насоси розроблені для роботи в режимах як опалення, так і охолодження, забезпечуючи контроль клімату для різних типів приміщень, включаючи офісні будівлі, торгові центри, промислові об'єкти та склади.

До однієї з відомих категорій теплових насосів належать ті, які використовують вторинні джерела тепла, такі як відпрацьоване тепло систем центрального опалення, вентиляційні вихлопи або промислові процеси. Такий підхід особливо вигідний для промислових об'єктів, які виробляють надлишок теплової енергії, який потребує управління. Яскравим прикладом ефективного вторинного джерела тепла є відпрацьоване тепло, вироблене повітряними та холодильними компресорами, яке працює при підвищених температурах і може бути ефективно утилізовано для використання в системах опалення.

В останні роки відбулося значне зростання поширення інформації про технології теплових насосів на різних медіа-платформах, включаючи онлайн-видання. Зараз зростає кількість компаній, які пропонують різноманітний асортимент теплових насосів від різних виробників, призначених для систем опалення та гарячого водопостачання, обслуговуючи застосування від окремих будинків до великих житлових комплексів. Крім того, були прийняті різні урядові ініціативи для сприяння впровадженню технологій теплових насосів у державному секторі. Однак, незважаючи на ці досягнення, в Україні все ще бракує широкомасштабного впровадження систем теплових насосів, що підкреслює потенційну область для зростання.

Глобальний енергетичний ландшафт постійно розвивається, з постійним акцентом на розробці енергоефективних технологій. Історично склалося так, що нові будівельні проекти проектувалися із середніми оцінками тепловтрат приблизно 120 Вт на квадратний метр. Навпаки, сучасні інженери-теплотехніки часто очікують, що теплові втрати в будівлях будуть нижчими за 80 Вт на квадратний метр, а деякі конструкції досягають лише 30

Вт на квадратний метр. Це зниження питомих тепловтрат підвищило актуальність низькопотенційних систем опалення.

Цей перехід був зумовлений зниженням розрахункових температурних режимів у системах опалення та, як наслідок, зменшенням розмірів нагрівальних приладів, таких як радіатори.

Універсальність теплових насосів є однією з їхніх головних переваг, що дозволяє плавно переходити від режиму опалення взимку до режиму кондиціонування повітря влітку. Це досягається шляхом інтеграції альтернативних систем доставки, таких як фанкойли або конструкції холодної стелі, замість того, щоб покладатися виключно на традиційні радіатори. Експлуатаційна надійність теплових насосів додатково підвищується за рахунок засобів автоматизації, які вимагають мінімального обслуговування та досвіду користувача, як зазначено в посібниках користувача.

Повітряні теплові насоси мають компактну конструкцію, блоки не перевищують розміри стандартного холодильника, і вони працюють з мінімальним рівнем шуму. Однак існують помітні недоліки, пов'язані з геотермальними тепловими насосами, зокрема щодо вартості установки, яка може коливатися від 320 до 1250 доларів США за кіловат встановленої потужності. Ці системи вимагають створення складних і часто дорогих підземних або підводних контурів теплообміну, що може становити фінансові перешкоди для впровадження.

Термін окупності теплових насосів коливається від чотирьох до дев'яти років, а термін служби продовжується від 20 до 25 років до необхідності капітального ремонту. Економічна доцільність є критично важливим фактором; наприклад, якщо витрати на установку фінансуються за рахунок кредитів, економія, отримана від використання теплових насосів, може бути недостатньою для покриття витрат кредиту. Отже, якщо вартість установки теплового насоса наблизиться до вартості звичайних газових систем

опалення та пов'язаних газових мереж, у майбутньому можна очікувати ширшого впровадження технологій теплових насосів у житловому секторі.

Основне обмеження теплових насосів полягає в їх ефективності, яка демонструє зворотну залежність від різниці температур між джерелом тепла та кінцевим споживачем. Ця характеристика накладає певні обмеження на застосування систем повітря-вода. Емпіричні дані показують, що сучасні теплові насоси демонструють коефіцієнт корисної дії приблизно 2,2, коли температура джерела тепла становить  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . І навпаки, при температурі джерела  $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$  значення COP можуть коливатися від 5,5 до 6,5.

Ця змінність ефективності вимагає використання обладнання зі значно вищою вихідною потужністю для підтримки бажаних температурних умов для споживачів у холодніших середовищах. Такий підхід може призвести до неефективних капітальних витрат, хоча альтернативні джерела теплової енергії не завжди можуть бути здійсненними рішеннями. Крім того, навіть найдосконаліші теплові насоси можуть нагрівати воду в системі опалення лише до  $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Зі збільшенням заданої температури для нагріву води ефективність і надійність теплового насоса відповідно знижуються.

У випадках, коли теплової потужності від зовнішнього контуру недостатньо для задоволення потреб в опаленні під час екстремальних холодів, звичайною практикою є експлуатація теплового насоса в поєднанні з допоміжним теплогенератором. Така конфігурація називається бівалентною схемою опалення. Коли зовнішня температура падає нижче попередньо визначеного порогу, відомого як бівалентна температура, активується генератор вторинного тепла. Таким додатковим джерелом обігріву є електричний обігрівач, хоча рідше можуть використовуватися газові або твердопаливні котли.

Для оптимальної продуктивності потужність установки теплового насоса повинна становити від 65% до 75% загальної необхідної потужності тепла. Цей стратегічний розмір впливає на загальну вартість системи теплового насоса, гарантуючи, що тепловий насос зможе задовольнити

щонайменше 90% потреб споживача в опаленні протягом опалювального сезону. За цих умов очікується, що середній сезонний коефіцієнт перетворення енергії для систем теплових насосів у центральноевропейському кліматі становитиме приблизно  $COP = 3,2$ . Ця цифра підкреслює потенціал теплових насосів у створенні ефективних рішень для опалення, особливо якщо вони відповідного розміру та інтегровані з додатковим опаленням системи.

### **1.2. Потенціал застосування низькопотенційного тепла**

Атмосфера служить рясним і практично невичерпним джерелом низькопотенційної теплової енергії. Потенціал використання цієї атмосферної енергії обмежений, головним чином, технічними можливостями та характеристиками конструкції використовуваної системи теплового насоса. У регіонах із помірним кліматом, наприклад в Україні, наявні у продажу теплові насоси розраховані на ефективну роботу в певному діапазоні температур від  $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Цей робочий діапазон гарантує, що теплові насоси можуть вловлювати та перетворювати атмосферну енергію в придатне тепло навіть у холодних умовах. Фактичне використання енергетичного потенціалу атмосфери, однак, невід’ємно пов’язане з географічними та кліматичними відмінностями в різних регіонах України.

Ефективність повітряних теплових насосів у цих областях залежить від взаємодії між температурою навколишнього середовища та здатністю теплового насоса отримувати енергію за таких умов. Чим вище різниця температур між джерелом тепла та цільовою вимогою до опалення, тим складніше стає підтримувати високу ефективність. Тим не менш, прогрес у технології теплових насосів дозволив практично використовувати атмосферну енергію навіть при мінусовій температурі, пропонуючи тим самим багатообіцяюче та стійке рішення для потреб регіонального опалення.

Комплексний аналіз теплового потенціалу атмосфери в різних регіонах України підкреслює географічне розмаїття доступності енергії, демонструючи потенціал систем повітряного теплового насоса, які можна

адаптувати до конкретних місцевих умов. Завдяки цим інноваціям атмосферну енергію можна ефективніше використовувати як відновлюваний ресурс, сприяючи довгостроковій стабільності систем опалення в різних кліматичних зонах.

Основною перевагою теплових насосів типу повітря-повітря є наявність фактично необмеженого джерела теплової енергії з низьким потенціалом, оскільки повітря доступне практично скрізь. Ці системи вимагають відносно низьких початкових капіталовкладень порівняно з іншими типами теплових насосів, і їх установку можна легко адаптувати до різних структур або налаштувань. Повітряні теплові насоси є практичним рішенням для опалення, особливо в місцях, де інші джерела теплової енергії можуть бути неможливими.

Однак ефективність теплових насосів типу повітря-повітря значно знижується, коли температура навколишнього повітря падає нижче нуля, через нижчий коефіцієнт перетворення. У таких умовах продуктивність теплового насоса знижується, що вимагає додаткового обладнання для запобігання замерзанню зовнішнього блоку. Вимога підтримувати працездатність при мінусовій температурі збільшує складність і вартість експлуатації в холодному кліматі, обмежуючи загальну ефективність цих систем у зимові місяці.

Для порівняння, поверхневі води, підземні води і навіть стічні води є альтернативними джерелами низькотемпературної теплової енергії. Середня температура поверхневих вод, наприклад у річках і озерах, становить близько 12°C, але взимку може опускатися до -2°C. Температура підземних вод залишається більш стабільною протягом року, коливаючись від 8°C до 14°C. Така стабільність робить ґрунтові води більш надійним джерелом тепла для теплових насосів. Ґрунтова вода охолоджується приблизно до 7°C у випарнику теплового насоса, і серед різноманітних джерел тепла з низьким потенціалом вона забезпечує найвищий коефіцієнт перетворення завдяки своїй відносній термостійкості.

Для ефективного використання підземних вод необхідно будувати колодязі або свердловини. Щоб запобігти тепловим перешкодам між свердловинами, що відбирають воду, і свердловинами, що повертаються, рекомендована відстань між свердловинами одного типу становить щонайменше 45-75 метрів, з мінімальною відстанню 35-55 метрів. Хоча підземні води забезпечують високу ефективність, їх практичне використання часто обмежене екологічними нормами та значними капіталовкладеннями, необхідними для буріння та обслуговування свердловин.

Річкова та озерна вода, будучи ще одним потенційним джерелом тепла, створює проблеми через низьку температуру води взимку, яка може опускатися до 2°C. Такі умови вимагають ретельного проектування, щоб запобігти замерзанню випарника теплового насоса. Крім того, відбір тепла з цих водойм включає великі теплообмінники, розміщені на дні води, які циркулюють антифриз, наприклад етиленгліколь, через сотні метрів пластикових труб. Цей метод несе екологічні ризики, оскільки будь-який витік етиленгліколю в навколишню воду може спричинити значне забруднення, що додатково ускладнює проектування та роботу таких систем.

Геотермальна вода і шахтна вода із залізної руди та вугільних шахт також можуть бути використані як джерела низькопотенційного тепла. У деяких випадках шахтні водопровідні системи продемонстрували значний потенціал, коли теплові насоси забирають до 25% тепла дренажної води, яка потім використовується для задоволення технічних енергетичних потреб шахтних робіт. Крім того, стічні води промислових підприємств і домогосподарств є значним невикористаним ресурсом тепла. Застосування технології теплового насоса в цих системах може призвести до збільшення рекуперації енергії та підвищення ефективності в різних секторах.

Різноманітність низькопотенційних джерел тепла, включаючи поверхнєве тепло, геотермальне тепло та тепло стічних вод, має значний потенціал у певних регіонах України. Однак кожен варіант пов'язаний із

унікальними технічними та екологічними проблемами, якими потрібно ретельно керувати, щоб максимізувати ефективність і стійкість.

У роботі теплових насосів, які використовують воду як джерело тепла, є ряд переваг і недоліків. Однією з ключових переваг є відносно високий коефіцієнт корисної дії, що свідчить про ефективне перетворення енергії джерела води в корисну теплову енергію. Однак впровадження цих систем часто вимагає значних капіталовкладень. Високі початкові витрати пов'язані з необхідністю створення систем свердловин, включаючи буріння, установку та інфраструктуру, необхідну для доступу до джерел води, які можуть включати озера, річки або підземні води. Крім того, технічне обслуговування систем фільтрації води, які використовуються для запобігання забрудненню або блокуванню випарного блоку, додатково збільшує експлуатаційні витрати.

Свердловини, які використовуються в цих системах, створюють ряд специфічних проблем. Занурювальні насоси, що використовуються для забору води зі свердловини, сприяють зниженню загального коефіцієнта трансформації, який представляє ефективність теплового насоса. Це зменшення відбувається через енергію, необхідну для роботи занурювальних насосів, що знижує ефективність системи. Крім того, стабільність витрати води зі свердловини не завжди є постійною, що може призвести до перебоїв або змін у продуктивності теплового насоса. Необхідність отримання дозволів на видобуток води також ускладнює регулювання, особливо при використанні значної кількості підземних або артезіанських джерел.

З іншого боку, природна теплоакumuлююча здатність ґрунту дає явні переваги для роботи теплового насоса. Ґрунт здатний поглинати та зберігати сонячну енергію протягом тривалого часу, що стабілізує температуру джерела тепла та робить її відносно рівномірною протягом року. Така стабільність температури підвищує ефективність теплових насосів, які використовують ґрунт як основне теплообмінне середовище. На глибині одного метра температура ґрунту коливається від 4°C до 18°C, тоді як у

більш глибоких шарах, до 17 метрів, температура залишається більш стабільною в діапазоні від 7°C до 11°C. Верхні шари ґрунту досягають найнижчих температур через кілька місяців після найхолоднішої частини року, забезпечуючи затримку, яка допомагає пом'якшити прямий вплив сильного морозу на ефективність системи.

Теплові насоси, які використовують тепло ґрунту, мають відкритий або закритий теплообмінний контур. У відкритому контурі тепло отримується безпосередньо з ґрунтових або артезіанських вод, які протікають через систему, а потім повертаються в навколишнє середовище. У замкнутому контурі теплообміну тепло передається від землі за допомогою горизонтальних теплообмінників, відомих як ґрунтові колектори, або вертикальних теплообмінників, відомих як ґрунтові зонди. У цих системах в якості робочої рідини використовується екологічно чиста незамерзаюча рідина, яка циркулює через теплообмінники і зберігає працездатність при температурах до -14°C. Ця рідина, часто сольовий розчин, розроблена так, щоб залишатися рідкою при мінусовій температурі, щоб забезпечити безперервну роботу протягом зимових місяців.

Крім того, холодоагенти, такі як фреон, можна використовувати безпосередньо в контурі теплообміну, де вони киплять у колекторних трубах. Цей метод прямого розширення може збільшити загальну ефективність теплового насоса завдяки більш ефективній передачі тепла. Однак експлуатаційна складність цього підходу більша, вимагає більш точного контролю та моніторингу, щоб уникнути збоїв у роботі системи.

Значну роль у виборі джерел тепла для теплонасосних систем відіграють географічні та кліматичні умови різних регіонів. Енергетичний потенціал від поверхневого тепла та тепла стічних вод залежить від регіону, і екологічні норми часто впливають на доцільність використання цих природних ресурсів. В Україні використання тепла поверхні, геотермального тепла та тепла стічних вод має значний потенціал енергозбереження, але практичне застосування має враховувати екологічні обмеження, капітальні

витрати та технічне обслуговування системи, щоб оптимізувати переваги технології теплових насосів.

Період рекуперації тепла в ґрунті після відбору енергії тепловим насосом приблизно дорівнює часу відбору тепла. Це вказує на збалансовану динаміку між використанням геотермальної енергії та її природним поповненням, що робить ґрунт стійким джерелом тепла для довгострокового використання. Використання ґрунту як джерела тепла в системах теплових насосів має як переваги, так і недоліки, які вкрай важливо враховувати для оптимізації продуктивності та ефективності.

Однією з головних переваг є висока ефективність перетворення, яка пояснюється відносно стабільною температурою ґрунту, особливо на великих глибинах. Ця стабільна температура дозволяє тепловим насосам підтримувати високий коефіцієнт продуктивності навіть у холодні місяці, що забезпечує більшу енергоефективність порівняно з іншими джерелами тепла, такими як повітря, яке більше коливається залежно від умов навколишнього середовища. Крім того, робота теплових насосів з використанням тепла ґрунту передбачає відносно низькі експлуатаційні витрати завдяки мінімальному споживанню енергії після встановлення системи. Загальна простота обслуговування ще більше сприяє привабливості систем геотермальних теплових насосів. Горизонтальні геотермальні теплообмінники, зокрема, відрізняються простотою установки та експлуатації, що робить їх придатними для місць з достатньою площею землі.

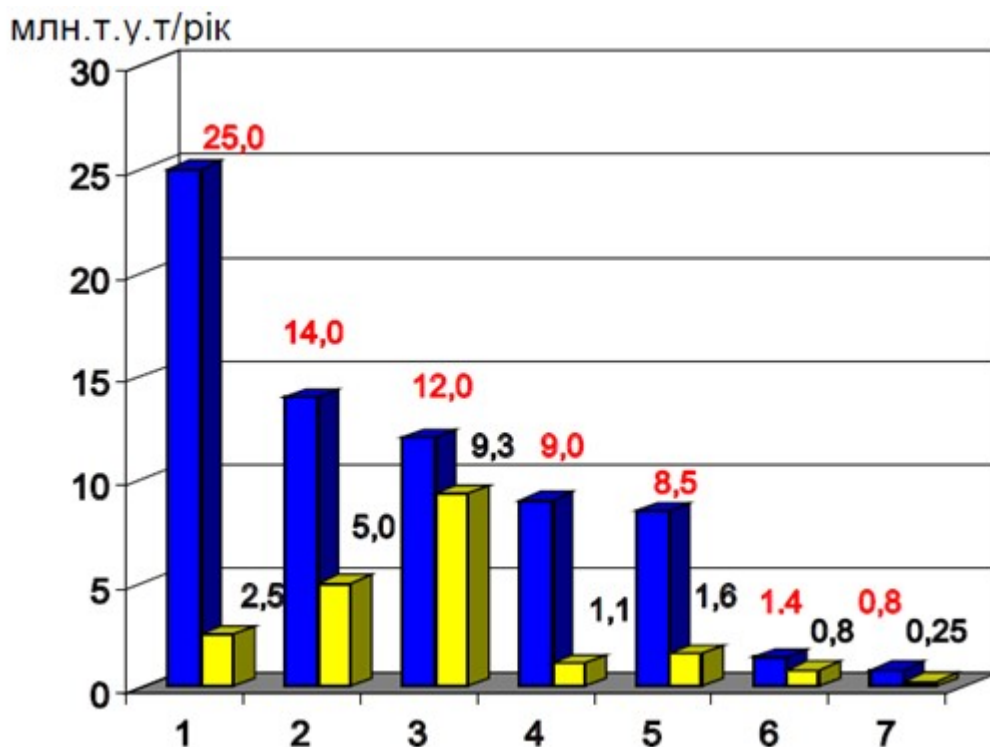
Однак установка вертикальних геотермальних теплообмінників вимагає значних капіталовкладень. Вертикальні системи, які часто використовуються, коли доступна площа поверхні для горизонтальних теплообмінників обмежена, потребують глибшого свердління та складніших процедур встановлення, що призводить до збільшення початкових витрат. Використання горизонтальних теплообмінників, хоч і простіше і дешевше з точки зору буріння, також вимагає значної площі для їх установки, оскільки

труби повинні бути прокладені по великій площі поверхні, щоб уловити достатню кількість тепла. Це обмежує їх застосування в густонаселених районах або в регіонах з обмеженою доступністю землі.

Незважаючи на ці проблеми, переваги використання ґрунту як джерела тепла переважають недоліки, особливо з огляду на довгострокову економію енергії та зменшення впливу на навколишнє середовище. Наявні екологічні ресурси теплової енергії в ґрунті значно перевищують прогнозовані рівні споживання в усіх галузях промисловості України, що підкреслює величезний потенціал геотермальної енергії відігравати центральну роль в енергетичній стратегії країни. В даний час теплові насоси є однією з найбільш перспективних альтернатив традиційним джерелам енергії, особливо в контексті ініціатив з енергозбереження та зменшення залежності від викопного палива.

Перехід до відновлюваних джерел енергії, таких як ті, що використовують теплові насоси, не тільки обмежує споживання традиційного палива, але й значно сприяє зменшенню забруднення навколишнього середовища. Запровадження технології геотермального теплового насоса узгоджується з глобальними зусиллями щодо зменшення викидів вуглецю та сприяння сталим енергетичним практикам. З точки зору потенціалу енергозбереження, інтеграція різних типів теплових насосів пропонує значні переваги.

Діаграма, що ілюструє потенціал енергозбереження, підкреслює зростаючу актуальність теплових насосів у сучасних енергетичних системах, демонструючи їх здатність вирішувати як економічні, так і екологічні проблеми за допомогою єдиного технологічного рішення. Використовуючи відновлювані джерела енергії, такі як геотермальне тепло, теплові насоси забезпечують шлях до більш стійкого та ефективного енергетичного майбутнього.



**Рис. 1.7. Потенціал енергозбереження**

- загальний
- економічно-досяжний до 2025 р.

1 – водооборотні цикли в енергетиці і промисловості; 2 – тепло відкритих водойм; 3 – геотермальна енергія; 4 – верхній шар ґрунту; 5 – стічні води; 6 – шахтні води; 7 – вентиляційні викиди.

Температурні діапазони, пов'язані з основними джерелами тепла, які використовуються в системах на основі теплового насоса для опалення, гарячого водопостачання та вентиляції, описані в наступному аналізі. Ці значення є вирішальними для визначення ефективності та робочої потужності теплових насосів у різних сферах застосування.

Джерела тепла, такі як повітря, вода та земля, мають різні температурні характеристики, які впливають на їх ефективність у системах теплових насосів. У режимі опалення температура джерела тепла безпосередньо впливає на коефіцієнт корисної дії, а більш висока температура джерела призводить до підвищення ефективності системи. Наприклад, геотермальні джерела, які підтримують відносно стабільну температуру протягом року, пропонують більш стабільну та вищу енергію порівняно з повітряними системами, на які впливають сезонні та добові коливання.

У контексті гарячого водопостачання температура джерела має бути достатньою для підвищення температури води до необхідного рівня близько 65 градусів. Грунтові води або геотермальні джерела, що знаходяться в глибині землі, часто більш ефективні в цьому застосуванні через їх здатність забезпечувати відносно вищі базові температури.

Для вентиляції температура джерела також відіграє вирішальну роль у підтримці оптимальних кліматичних умов у приміщенні, одночасно забезпечуючи енергоефективну роботу системи теплового насоса. Коли зовнішнє повітря використовується як основне джерело тепла, його ефективність у системах вентиляції обмежується коливаннями зовнішньої температури, особливо в холодну пору року, коли температура джерела може значно знизитися.

Розуміння цих температурних діапазонів є основоположним для оптимізації конструкції системи теплового насоса та забезпечення максимальної енергоефективності в різних режимах роботи. Зіставляючи характеристики джерела тепла з конкретними вимогами систем опалення, гарячого водопостачання та вентиляції, інженери можуть забезпечити роботу системи в межах своїх оптимальних теплових параметрів.

**Таблиця 1.1. Температурні рівні основних джерел теплоти**

Джерело теплоти	Температурний діапазон
Зовнішнє повітря	-10/+5
Витяжна вентиляція	15/25
Озерна вода	0/10
Річкова вода	0/10
Морська вода	3/8
Ґрунт	0/10
Ґрунтові води	>10
Геотермальна вода	20/50

Теплові насоси пропонують значну перевагу в їх здатності перемикатися між опаленням взимку та охолодженням влітку, що робить їх універсальними системами для цілорічного клімат-контролю. Це досягається підключенням фанкойлів або системи холодна стеля до зовнішнього колектора замість радіаторів. Їх надійність забезпечується автоматизованим

керуванням, а їх робота вимагає мінімального втручання користувача. Обслуговування просте, а всі необхідні процедури викладені в наданих інструкціях, що робить систему доступною для користувачів без спеціальних навичок.

Одним із відомих виробників у цій галузі є HELIOTHERM, австрійська компанія, яка виробляє теплові насоси вже понад 35 років. Їхня продукція завоювала репутацію ефективності, довговічності та екологічності. Він пропонує різноманітні теплові насоси, які використовують енергію з повітря, землі або води, залежно від конкретного застосування та енергетичних вимог.

Ключовою особливістю теплових насосів є їх екологічність, оскільки вони працюють без негативного впливу на навколишнє середовище. Вони також високоефективні з коефіцієнтом перетворення, який може досягати 8 тобто на кожен одиницю спожитої енергії система забезпечує до семи одиниць тепла. Окрім опалення, ці системи призначені для гарячого водопостачання та охолодження будівлі, що робить їх багатофункціональними рішеннями для різних кліматичних потреб.

Дистанційне керування є ще однією цінною функцією, що дозволяє користувачам керувати системою через функцію веб-контролю, що забезпечує гнучкість і зручність. Ці системи також створені для довговічності, з міцними конструкціями, що забезпечують тривалий термін служби. Незважаючи на потужну продуктивність, теплові насоси працюють тихо, рівень шуму не перевищує 50 децибел, що підвищує комфорт користувача. Крім того, вони пропонують можливість повної енергетичної незалежності в поєднанні з системами сонячної енергії, сприяючи стійкості та зменшуючи залежність від традиційних джерел енергії.

Технологія теплового насоса просунулася до кількох типів систем, зокрема тих, що використовують повітря, воду та землю як джерела тепла. Серед них варіант підземного теплового насоса виділяється своїм

ефективним перетворенням енергії, забезпечуючи стійкі рішення для опалення та гарячого водопостачання в різних типах будівель.

Тепловий насос повітря-вода з тепловою потужністю від 10 до 20 кіловат і коефіцієнтом продуктивності системи від 4,5 до 5,2 спеціально розроблений для використання в житлових приміщеннях. Ця система є високоефективною як для опалення, так і для гарячого водопостачання в приватних будинках, пропонуючи збалансоване поєднання ефективності та функціональності. Подібним чином тепловий насос повітря-вода можна інтегрувати з сонячними системами. Ця комбінація додатково підвищує енергоефективність опалення житлових приміщень, забезпечуючи менше споживання енергії та покращену екологічність для будинків.

Для великих застосувань, таких як багатоквартирні житлові будинки, більше підходить тепловий насос повітря-вода з діапазоном потужності від 35 до 60 кіловат. Завдяки можливості підключення до сонячних панелей ця система досягає співвідношення продуктивності системи від 4,2 до 4,9. Його міцна конструкція забезпечує потреби в опаленні та гарячій воді у більшому масштабі, що робить його універсальним рішенням для великих об'єктів.

У більш великих установках, таких як житлові комплекси та громадські будівлі, теплові насоси вода-вода забезпечують ще вищу ефективність. Тепловий насос, який працює з землею (або водою) як джерелом тепла, пропонує теплову потужність від 34 до 125 кіловат. Коефіцієнт продуктивності системи для цих установок помітно вищий і становить від 6,4 до 7,7. Цей тип системи, який також може бути оснащений сонячними панелями, пропонує життєздатний варіант для енергоємних операцій, значно зменшуючи залежність від традиційних методів опалення.

Подібним чином твердотільні теплові насоси вода-вода, які мають однаковий діапазон теплової потужності та ефективності, використовуються в багатоквартирних будинках і великих об'єктах. Використовуючи як геотермальні джерела, так і водні джерела, ці системи більш ефективно

вловлюють енергію, забезпечуючи таким чином оптимальну теплову потужність для масштабних систем опалення та гарячого водопостачання.

**Таблиця 1.2. Можливості впровадження теплових насосів на прикладі підприємствах та організаціях**

№ п/п	Назва підприємства	Джерело теплопостачання	Паливо	Тип теплових насосів, які можна встановити	Доцільність встановлення
<b>Аграрні активи</b>					
1	ДП «Златодар»	Опалення будівель - електродкотли	-	Горизонтальні або вертикальні ґрунтові, повітряні, водяні при наявності пожежної водойми	Так
2	ДП «Кіровоградський КХП № 2»	Опалення будівель - електродкотли	Кам'яне вугілля	Горизонтальні або вертикальні ґрунтові, повітряні, водяні при наявності пожежної водойми	Так
3	ДП «Куліндорівський КХП»	Газова котельня - опалення будівель	Природний газ	Вертикальні ґрунтові, насоси, що використовують тепло компресорного обладнання, повітряні.	Так
4	ДП «Охтирський КХП»	Газова котельня - опалення будівель	Природний газ	Горизонтальні або вертикальні ґрунтові, повітряні, водяні при наявності пожежної водойми	Так
5	Філія ДП «Охтирський КХП» «Хлібна база 82»	Газова міні-котельня - опалення будівель,	Природний газ	Горизонтальні або вертикальні ґрунтові, повітряні, водяні при наявності пожежної водойми	Так
6	ДП «Стрийський КХП № 1»	Газова котельня - опалення будівель,	Природний газ	Горизонтальні або вертикальні ґрунтові, повітряні, водяні при наявності пожежної водойми	Так
7	ДП «Чортківський КХП»	Газова та твердопаливна міні-котельня - опалення будівель	Природний газ, дрова	Горизонтальні або вертикальні ґрунтові, повітряні, водяні при наявності пожежної водойми	Так
8	ДП «Хлібна база № 73»	Твердопаливна котельня - опалення будівель	Кам'яне вугілля, дрова	Горизонтальні або вертикальні ґрунтові, водяні при наявності пожежної водойми	Так

№ п/п	Назва підприємства	Джерело теплопостачання	Паливо	Тип теплових насосів, які можна встановити	Доцільність встановлення
10	ДП «Хлібна база № 77»	Твердопаливна котельня опалення будівель	Кам'яне вугілля, дрова	Горизонтальні або вертикальні ґрунтові при наявності пожежної водойми	Так
11	ДП «Хлібна база № 85»	Опалення будівель - електрокотли	-	Горизонтальні або вертикальні ґрунтові	Так

**Склади та холодильники**

12	ДО "Комбінат "Прогрес"	Газова котельня - опалення будівель	Природний газ	Вертикальні ґрунтові	Так
13	ДО "Комбінат "Дніпро"	Газова котельня - опалення будівель	Природний газ	Горизонтальні або вертикальні ґрунтові	Так
14	ДО "Комбінат "Салют"	Опалення будівель - електрокотли	-	Вертикальні ґрунтові	Так
15	ДО "Комбінат "Світанок"	Опалення будівель - електрокотли	-	Вертикальні ґрунтові	Так
16	ДО "Комбінат "Трикутник"	Котельні газова та твердопаливна - опалення будівель	Природний газ; вугілля	Вертикальні ґрунтові	Так
17	ДО "Комбінат "Троянда"	Котельня на вугільних брикетах - опалення будівель	Вугільні брикети	Вертикальні ґрунтові	Так
18	ДО "Укрпродконтракт"	Твердопаливна котельня опалення будівель	Кам'яне вугілля, дрова	Вертикальні ґрунтові	Так

**Нафтобази**

19	ДО "Комбінат "Айстра"	Твердопаливна котельня опалення будівель	Дрова	Вертикальні та горизонтальні ґрунтові при наявності пожежної водойми	Ні
20	ДО "Комбінат "Рекорд"	Твердопаливна котельня опалення будівель	Дрова	Вертикальні та горизонтальні ґрунтові при наявності пожежної водойми	Ні
21	ДО "Комбінат "Естафета"	Централізоване	-	Вертикальні та горизонтальні ґрунтові при наявності пожежної водойми	Ні

Для оцінки встановлення водяних теплових насосів випадок комплексу представляє актуальне практичне застосування. До складу закладу входять два опалювані корпуси: адміністративно-побутова споруда загальним опалювальним об'ємом 4635 м.куб., господарсько-технічний корпус опалювальним об'ємом 8365 м.куб. Адмінбудівля також обладнана системою гарячого водопостачання, яка обслуговує 25 чоловік персоналу, в основному душові та умивальники. Щоб визначити вимоги до опалення цих приміщень, необхідні точні розрахунки. Потреба в опаленні становить 75 Вт на кубічний метр для нагрітого об'єму, тоді як для гарячого водопостачання потрібно 820 Вт на людину, виходячи з норми споживання 55 літрів на людину при температурі води 47 градусів.

Результуюче теплове навантаження на адміністративно-побутову будівлю становить 335,28 кіловат, з них 17 кіловат виділено на гаряче водопостачання. Водночас господарсько-технічний корпус має розрахункове теплове навантаження 579,25 кіловат, що відображає його більші потреби в опаленні.

На території підприємства є протипожежний резервуар площею 620 квадратних метрів і середньою глибиною 3.25 метри. Виходячи з цих розмірів, система теплового насоса повинна буде видавати 12 кіловат теплової потужності на кожні 320 метрів встановленого колекторного трубопроводу. Враховуючи конструкцію водосховища та схему колектора, оптимальним рішенням для даного підприємства є встановлення твердотілого водяного теплового насоса (вода-вода) потужністю 17 кіловат. Ця система ефективно забезпечить потреби адміністративної будівлі в гарячій воді. Однак для великих потреб у опаленні ґрунтові теплові насоси вважаються найефективнішим рішенням через обмеження, які накладають резервуар і доступний простір для встановлення колектора.

Другий практичний приклад – встановлення теплового насосу на залізничній станції. Адміністративна будівля станції з опалювальним об'ємом 1420 кубічних метрів використовує гарячу воду переважно для

миття рук. У будівлі постійно працюють 26 чоловік. Загальне теплове навантаження розраховується як 46,5 кіловат для системи опалення та 5,25 кіловат для гарячого водопостачання, для сумарного теплового навантаження 51,15 кіловат.

Враховуючи географічне розташування станції та такі фактори, як особливості ландшафту та правила протипожежної безпеки, найбільш підходящою системою для покриття цього теплового навантаження є повітряний тепловий насос повітря-вода потужністю 60 кіловат. Ця система забезпечить достатньо теплової енергії для ефективного задоволення потреб будівлі в опаленні та гарячій воді.

Ці випадки підкреслюють гнучкість та ефективність систем теплових насосів із джерелом води та повітрям у вирішенні низки потреб у опаленні та гарячій воді в різних типах будівель. Вибір відповідної системи залежить від кількох факторів, характерних для конкретного місця, включаючи наявність природних ресурсів, таких як водні об'єкти, адекватна земля для геотермальних колекторів і специфічні вимоги до опалення конструкції.

### **Висновок**

Робота теплового насоса в першу чергу передбачає витрати електроенергії, необхідної для його функціонування та обслуговування. Ця вартість є конкурентоспроможною з експлуатаційними витратами, пов'язаними з системами центрального опалення та газовими або електричними котлами еквівалентної потужності, тим самим підкреслюючи економічні переваги теплових насосів з точки зору споживання енергії.

Запровадження технології теплового насоса є багатообіцяючою стратегією використання альтернативних джерел енергії для задоволення потреб у опаленні, вентиляції та гарячому водопостачанні будівель. Однак на успішність впровадження цієї технології суттєво впливають географічні особливості місця встановлення та доступ до оптимальних джерел низькопотенційної теплової енергії.

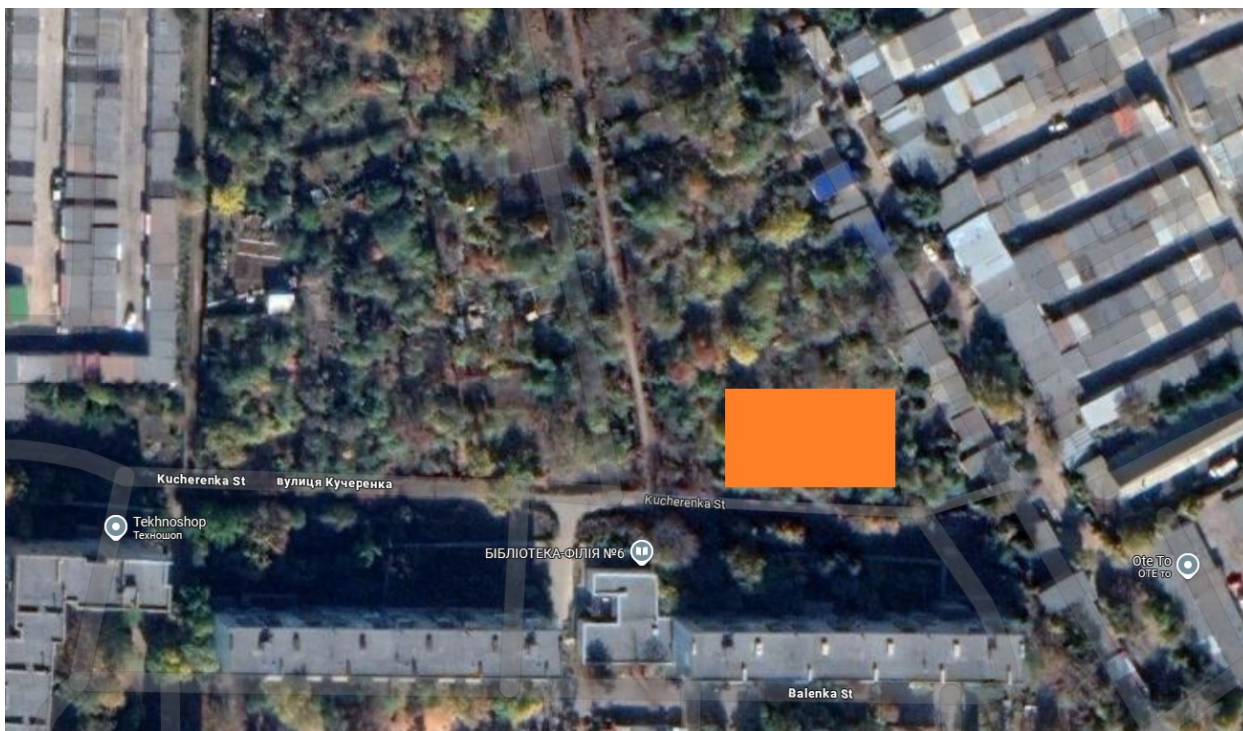
Початкові капіталовкладення для установки теплового насоса можуть бути значними, коливаючись від 350 до 1250 доларів США за кіловат потужності. Крім того, процес встановлення може спричинити складності, пов'язані із зовнішніми підземними або підводними контурами теплообміну. Тим не менш, період окупності цих систем оцінюється від чотирьох до дев'яти років. Надихає те, що спостерігається помітна тенденція до зниження як вартості обладнання, так і витрат на встановлення, що потенційно підвищує привабливість теплових насосів у майбутніх застосуваннях.

Важливо також визнати, що, незважаючи на їх загальну ефективність, теплові насоси, особливо ті, що використовують повітря як джерело тепла, можуть важко задовольнити теплові потреби будівель під час суворих зимових умов. Щоб пом'якшити цей недолік, часто необхідно інтегрувати роботу теплових насосів з допоміжними джерелами опалення, такими як електричні, газові або твердопаливні котли.

Серед різних джерел теплової енергії з низьким потенціалом геотермальна вода визнана найефективнішим варіантом, враховуючи діапазон її температур від 25 до 55 градусів, що дозволяє тепловим насосам досягти оптимальної ефективності перетворення. Крім того, інші ефективні низькопотенційні джерела тепла включають відпрацьоване тепло, що утворюється в процесі циркуляції води в енергетичному та промисловому секторах, а також відпрацьоване тепло від систем вентиляції та холодильних компресорів.

## РОЗДІЛ 2. ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ БУДІВЛІ

### 2.1. Ситуаційний план



**Рис. 2.1. Ситуаційний план**

Будівництво житлового будинку в місті Полтава передбачається на вулиці Кучеренка на ділянці позначеній на ситуаційному плані помаранчевим кольором.

### 2.2. Об'ємно-планувальне рішення

10-поверхова безкаркасна конструкція характеризується несучими цегляними стінами товщиною 640 мм, які утворюють основну несучу систему. Загальна висота будівлі становить 34 метри. Кожен житловий поверх має висоту 2,5 метри. Цокольний поверх висотою 2,4 метра призначений для розміщення необхідних інженерних комунікацій. Горище висотою 2,1 метра слугує для зберігання та доступу до технічного обслуговування.

З точки зору розмірів, будівля простягається на 18,95 метрів вздовж осі А-3 і на 25,8 метрів вздовж осі 1-10. Вибір цегляних стін сприяє як несучій здатності, так і теплоізоляції. При такій товщині стіни забезпечують

надійний опір бічним і вертикальним силам, що підходить для споруди такої висоти.

Дані про внутрішні приміщення описані в таблиці експлікації приміщень.

**Таблиця 2.1. Експлікація приміщень**

Номер приміщення	Найменування	Площа, м <sup>2</sup>	Кат. приміщення
1	Кухня	8.40	
2	Зал	17.22	
3	Туалет	1.30	
4	Ванна кімната	2.62	
5	Спальня	12.70	
6	Комора	1.50	
7	Коридор	7.70	
8	Спальня	17.76	
9	Ванна кімната	2.62	
10	Туалет	1.30	
11	Кухня	8.40	
12	Зал	17.22	
13	Кухня	8.40	
14	Туалет	1.30	
15	Ванна кімната	2.62	
16	Ванна кімната	2.62	
17	Туалет	1.30	
18	Кухня	8.42	
19	Коридор	7.72	
20	Коридор	7.70	
21	Комора	1.50	
22	Спальня	17.76	
23	Спальня	12.70	
24	Кухня	8.40	
25	Туалет	1.30	
26	Ванна кімната	2.62	
27	Спальня	12.70	

## 2.3. Архітектурно-конструктивне рішення

### Фундаменти та основи

Пальові фундаменти це надійне фундаментне рішення для передачі будівельних навантажень на більш глибокі, стабільні шари ґрунту. Ці фундаменти складаються із забивних залізобетонних паль, які вертикально занурюються в ґрунт і перекриваються монолітним ростверком.

Підготовка майданчика починається з ретельного геотехнічного аналізу для визначення несучої здатності ґрунту, рівня ґрунтових вод та глибини залягання стабільних шарів. Точне розташування та вирівнювання позицій паль позначається відповідно до структурного плану будівлі.

Залізобетонні палі виготовляються за межами будівельного майданчика з типовим діаметром 500 мм і довжиною 15 метрів. Палі забиваються в ґрунт за допомогою обладнання для забивання паль, яке змушує їх опускатися, поки вони не досягнуть заданого несучого шару. Цей процес ущільнює навколишній ґрунт, збільшуючи бічний опір навколо палі.

Після того, як палі занурені на необхідну глибину, зверху будується ростверк. Сталева арматура з межею текучості 400 МПа, укладається поперек головок паль. Арматура розташовується у вигляді сітки, що забезпечує рівномірний розподіл зусиль. Потім бетон з класом міцності C25/30 або вище, заливається в опалубку, що оточує арматуру, створюючи безперервну і жорстку сітку, яка надійно зв'язує головки паль.

Бетонна сітка проходить процес затвердіння, який триває щонайменше 14 днів, забезпечуючи досягнення проектної міцності та довговічності. Під час затвердіння контролюється рівень вологості, щоб запобігти розтріскуванню або усадці.

Після затвердіння сітки наноситься гідроізоляційний шар для захисту від проникнення ґрунтових вод. Типовим гідроізоляційним матеріалом є мембранні бітумні покриття, що наносяться рідким способом. Ці матеріали наносяться в кілька шарів, кожен товщиною 2-3 мм, щоб створити

безперервний і безшовний бар'єр. У випадках високого тиску ґрунтових вод можна нанести додаткові шари, щоб досягти загальної товщини 6-10 мм.

Екструдований полістирол з товщиною 100 мм, приклеюються до поверхні ростверку. Його вибирають через його низьке водопоглинання і високу міцність на стиск, що забезпечує його ефективність при контакті з ґрунтом.

Шар геотекстилю укладається поверх ізоляції, щоб захистити ізоляцію та гідроізоляцію від механічних пошкоджень під час засипання. Цей шар діє як буфер, запобігаючи проколу ізоляції гострими предметами в ґрунті. На заключному етапі виконується зворотна засипка навколо ростверку. Добре ущільнений ґрунт укладається шарами навколо фундаменту, зменшуючи ризики осідання.

### **Зовнішні, внутрішні стіни та перегородки**

Зовнішні несучі стіни побудовані з повнотілої глиняної цегли з щільністю 1800-2000 кг/м<sup>3</sup> і міцністю на стиск 10-15 МПа. При товщині 640 мм ці стіни здатні витримати вагу поверхів без додаткового каркасу. Така товщина також забезпечує відмінну теплопровідність, що допомагає стабілізувати температуру в приміщенні, мінімізуючи теплові потоки.

Цегла укладається в шаховому порядку, часто з використанням багат шарового зв'язку для підвищення стабільності та розподілу навантаження. Розчинні шви товщиною 10 мм, заповнюються між цеглинами цементно-вапняним розчином, який забезпечує міцну адгезію і гнучкість, що сприяє рівномірному розподілу навантажень по всій товщині стіни. У деяких секціях у стіну інтегрована вертикальна і горизонтальна арматура.

Внутрішні перегородки, товщиною 250 мм, також виготовлені з обпаленої глиняної цегли високої щільності, хоча вони несуть лише власну вагу і мінімальне навантаження на перегородки. Така товщина дозволяє забезпечити достатнє розділення приміщень і звукоізоляцію, зберігаючи при цьому невелику вагу. Після зведення стіни готують до фінішної обробки та нанесенню теплоізоляції.

## Покрівля

Будівля має плоский дах, який складається з декількох шарів для забезпечення належного розподілу навантаження, водовідведення та стійкості до температурних коливань.

Конструктивна основа даху складається із залізобетонної плити, яка забезпечує міцну і стабільну платформу. Ця плита армується сталеву арматурою з межею плинності 400 МПа, щоб витримати будь-які навантаження. Товщина плити становить 220 мм.

Зверху на плиту наноситься шар пароізоляції. Цей бар'єр виготовлений з бітумних матеріалів запобігає підняттю вологи через конструкцію. Поверх пароізоляції встановлюються теплоізоляційні плити товщиною 100 мм. Поверх утеплювача накладається багатошаровий бітумний лист. Для управління відведенням води плоский дах має невеликий нахил, що спрямовує воду до водостоків розташованих по краях даху.

## Вікна та двері

**Таблиця 2.2. Специфікація дверних отворів**

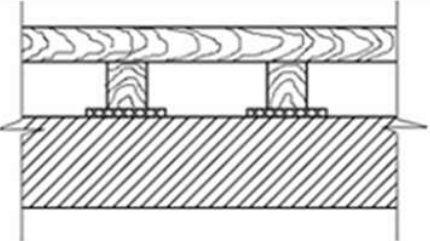
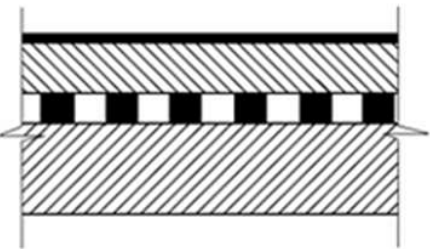
Елемент	Розміри (м)	Кількість стулок	Матеріал	Характеристики	Додаткова інформація
Міжкімнатні двері	2.0 x 1.2	1	МДФ з покриттям екошпоном	Стойкі до механічних пошкоджень, вологостійкі, звукоізоляція до 20 дБ. Двері мають ламіновану поверхню, що легко чиститься і не вимагає спеціального догляду.	Включають сучасні замки з високим ступенем безпеки та естетичні ручки з нержавіючої сталі.
Вхідні двері	2.0 x 2.4	2	Сталь з утепленням	Подвійні, з теплоізоляційним наповнювачем, коефіцієнт теплопередачі $U = 1.3$ Вт/м <sup>2</sup> ·К. Висока зламостійкість, стійкість до вандалізму.	Оснащені двома замками та броньованими петлями, забезпечують високий рівень безпеки та теплоізоляції.

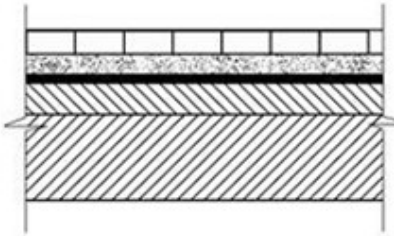
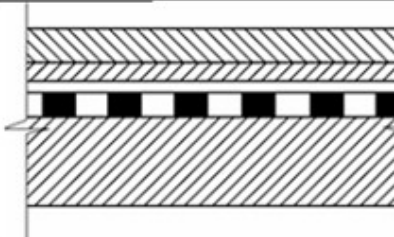
**Таблиця 2.3. Специфікація віконних отворів**

Елемент	Розміри (м)	Кількість стулок	Матеріал	Характеристики	Додаткова інформація
Вікна 1.5 x 1.2	1.5 x 1.2	2	ПВХ з двокамерним склопакетом	Стойкі до ультрафіолетового випромінювання, знижена теплопровідність, коефіцієнт теплопередачі $U = 1.1 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ . Склопакет з аргонем для підвищеної теплоізоляції.	Додаткові елементи: пластикові підвіконня, водовідведення, монтажна піна.
Вікна 1.5 x 2.4	1.5 x 2.4	3	ПВХ з двокамерним склопакетом	Підвищена енергоефективність, зручна система відкривання для вентиляції, шумопоглинання до 32 дБ. Водонепроникна конструкція та стійкість до корозії.	Включає захисні решітки, що запобігають несанкціонованому доступу.

## Покриття підлог

**Таблиця 2.4. Експлікація покриття підлог**

Найменування приміщень	Тип підлоги по проекту	Схема підлоги	Елементи підлоги та їх товщина
1	2	3	4
Житлові приміщення	ламінат		-з/б плита; -Прокладка з ДВП; -лага; -дошка.
Кухні та коридори	лінолеум		-з/б плита; -звукоізоляція; -гіпсобетонаплита; -лінолеум

Санвузли	керамічні		-з/б плита; -шлакобетон; -шар реберіду або тольо на бітумній мастиці; -цементний розчин; -керамічна плитка.
Сходова клітка, лоджії	мозаїчні		-з/б плита; -звукоізоляція, -водонепроникний папір; -бетон В7.5-40;

### Зовнішнє і внутрішнє опорядження

Теплоізоляція фасадних стін будівлі спроектована таким чином, щоб працювати в синергії з тепловими насосами, оптимізуючи температуру в приміщенні взимку та підвищуючи енергоефективність. Система ізоляції складається з жорстких панелей пінополістиролу прикріплених безпосередньо до цегляної стіни. Панелі мають товщину 150 мм. Ізоляційні панелі кріпляться за допомогою клею і механічних кріплень, потім покриваються базовим шаром зі скловолокнистою сіткою для довговічності і стійкості до тріщин. На цей базовий шар наноситься атмосферостійкий шар.

Стіни покриваються шаром штукатурки для створення рівної поверхні. Штукатурка наноситься безпосередньо на цегляну кладку і розрівнюється для усунення будь-яких нерівностей. Після штукатурки стіни ґрунтують і фарбують інтер'єрними фарбами на водній основі з низьким вмістом летких органічних сполук. У передпокоях та вітальнях поверх штукатурки наклеїли шпалери.

У таких приміщеннях, як кухні та ванні кімнати, де необхідна підвищена стійкість до вологи і плям, керамічну плитку встановлюють уздовж стін до висоти 1.5 метра. Стелі також обробляються шаром штукатурки, створюючи рівномірну, гладку поверхню. Після штукатурки стелі фарбують матовою фарбою, яка мінімізує відблиски і додає приміщенню елегантності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2016 [Чинний від 2017-06-01]. -К: Держбуд України, 2017. – 84 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. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018 [Чинний від 2019-02-28]. -К: Мінрегіонбуд України, 2018. – 7 с. (Національні стандарти України).
4. 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).
5. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 [Чинний від 2016-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2017. – 15 с. (Національні стандарти України).
6. 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).
7. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018.
8. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією: ДБН В.2.6-33:2018.
9. Кам'яні та армокам'яні конструкції: ДБН В.2.6-162:2010.
10. Покриття будівель і споруд: ДБН В.2.6-220:2017
11. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Підлоги.
12. Вікна та двері: ДСТУ EN 14351-1:2020.
13. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи

14. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013.

15. 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).

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

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

18. 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).

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