

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Факультет автоматизації та енергетики  
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного  
менеджменту

Токар Тетяна Василівна

---

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.577  
(індекс)

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Оцінювання показників якості теплового насосу типу «повітря-вода»

---

(назва роботи)

Інженерія відновлюваної енергетики

---

(назва освітньої програми)

152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

---

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня Т.В. Токар

---

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Ващишак Ірина Романівна, канд. техн. наук, доцент

---

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри

---

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

# Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри** \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## **З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Токар Тетяні Василівній

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Оцінювання показників якості теплового насосу типу «повітря-вода»

керівник роботи Ващишак Ірина Романівна,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від " 29 " квітня 2025 року № 268/7

2. Строк подання студентом роботи 9 червня 2025

3. Вихідні дані до роботи: параметри об'єкта дослідження — приватного житлового будинку загальною площею 140 м<sup>2</sup>; кліматичні умови регіону (середньорічні температури, мінімальні зимові температури згідно з кліматичними зонами України); технічні характеристики теплових насосів типу «повітря–вода» згідно з технічною документацією виробників (номінальна теплова потужність, споживана електрична потужність, коефіцієнти COP, SCOP тощо); нормативні документи, що регламентують методики випробування, оцінки якості та енергоефективності теплових насосів (EN 14511, EN 14825, ДСТУ EN 12102-1, ДСТУ Б В.2.5-67:2013, ДБН В.2.6-31:2021, ISO 13256 / ISO 16818)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- дослідження сучасних стандартів та методик випробувань теплових насосів;
- розробка власної методики оцінювання якості обладнання;
- визначення теплових потреб об'єкта;
- підбір моделі теплового насоса на основі технічних параметрів;
- аналіз енергоефективності обраного рішення.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтролер	Доцент Яворський А.В.		
Перевірка на плагіат	Доцент Миндюк В.Д.		

7. Дата видачі завдання 29 квітня 2025р

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання, уточнення теми та структури роботи	29.04 – 01.05.2025	
2	Збір та аналіз літературних джерел, нормативної бази	01.05 – 05.05.2025	
3	Формування теоретичного розділу (принцип дії ТН, показники якості)	05.05 – 09.05.2025	
4	Аналіз існуючих стандартів та методик випробувань теплових насосів	10.05 – 13.05.2025	
5	Розробка методики випробувань з урахуванням метрологічних аспектів	14.05 – 17.05.2025	
6	Аналіз вихідних даних, розрахунок теплових потреб об'єкта	18.05 – 21.05.2025	
7	Підбір моделі теплового насоса, та оцінка його енергоефективності	22.05-27.05.2025	
8	Остаточне редагування, оформлення згідно вимог	28.05-09.06.2025	

**Студент**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Оцінювання показників якості теплового насосу типу «повітря-вода».

У цій бакалаврській роботі розглянуто теплові насоси типу «повітря–вода» як один із найперспективніших варіантів енергоефективного теплопостачання для житлових будівель. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю зменшення споживання енергоресурсів, підвищення екологічності інженерних систем та поступового переходу на відновлювані джерела енергії.

Основною метою роботи було оцінити якісні показники роботи теплових насосів та на основі розрахунків обґрунтувати вибір конкретної моделі для реального об'єкта. У межах дослідження проаналізовано нормативні документи, зокрема стандарти EN 14511 та EN 14825, виконано розрахунок теплових втрат приватного будинку площею 140 м<sup>2</sup>, розташованого в сільській місцевості, а також підібрано тепловий насос, здатний ефективно працювати в заданих умовах.

Проведено техніко-порівняльний аналіз трьох моделей теплових насосів — виробництва Sinclair, Hisense і LG. Порівняння охоплювало такі параметри, як теплова потужність, сезонна ефективність (SCOP), тип компресора, рівень шуму, функціональні можливості та здатність працювати в різних кліматичних умовах. У результаті вибір зупинено на моделі Hisense Hi-Therma AHW-100HEDS1 / AHM-100HEDSAA як найбільш відповідній до умов експлуатації, завдяки поєднанню енергоефективності, стабільної роботи та зручності у користуванні.

Отримані результати можуть стати у пригоді при проектуванні систем опалення для індивідуального житла, розробленні рекомендацій щодо впровадження теплових насосів у практику житлового будівництва, а також послугувати відправною точкою для подальших досліджень у сфері відновлюваної енергетики.

**Ключові слова:** ТЕПЛОВА ПОТУЖНІСТЬ, ТЕПЛОВИЙ НАСОС, ПОВІТРЯ–ВОДА, SCOP, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ, HISENSE, ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА.

## ABSTRACT

Evaluation of performance indicators of an air-to-water heat pump.

This bachelor's thesis explores air-to-water heat pumps as one of the most promising solutions for energy-efficient heating systems in residential buildings. The relevance of the study lies in the growing demand for reducing energy consumption, improving the environmental performance of engineering systems, and promoting the use of renewable energy sources.

The main objective of the research was to assess the performance indicators of heat pump systems and to justify the choice of a specific model for a real building based on heat load calculations. As part of the study, relevant technical standards — including EN 14511 and EN 14825 — were reviewed. A detailed heat loss calculation was carried out for a single-story private house with a total area of 140 m<sup>2</sup> located in a rural area. Based on the results, a heat pump suitable for the building's operating conditions was selected.

A comparative analysis was performed on three heat pump models — produced by Sinclair, Hisense, and LG. The comparison considered such parameters as heating capacity, seasonal coefficient of performance (SCOP), compressor type, noise levels, control options, and adaptability to climate conditions. Among the models, the Hisense Hi-Therma AHW-100HEDS1 / AHM-100HEDSAA was identified as the most suitable option, due to its high energy efficiency, reliable operation in low outdoor temperatures, and user-friendly interface.

The findings of this work can be applied in the design of heating systems for private homes, in the development of guidelines for integrating heat pumps into residential construction, and as a basis for further technical research in the field of renewable energy.

**Keywords:** HEATING CAPACITY, AIR-TO-WATER, HEAT PUMP, SCOP, ENERGY EFFICIENCY, HEATING SYSTEM, HISENSE, RENEWABLE ENERGY.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1	
ТЕПЛОВІ НАСОСИ: ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ.....	9
1.1. Загальна характеристика теплових насосів.....	10
1.2. Принцип роботи теплового насоса типу «повітря-вода».....	22
1.3. Показники якості теплових насосів.....	29
1.4. Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи.....	32
РОЗДІЛ 2	
РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОВОГО НАСОСА ТИПУ «ПОВІТРЯ-ВОДА».....	33
2.1. Стандартизовані методики випробувань теплових насосів.....	33
2.2. Вимоги до обладнання для випробувань теплових насосів.....	41
2.3. Розробка методики випробувань з урахуванням метрологічних аспектів.....	45
2.4. Аналіз невизначеності вимірювань.....	52
2.5. Висновок.....	55
РОЗДІЛ 3	
ВИБІР ТЕПЛОВОГО НАСОСА НА ОСНОВІ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ.....	57
3.1. Визначення потреб в тепловій енергії (опалення, гаряче водопостачання).....	58
3.2. Вибір оптимальної моделі теплового насоса на основі аналізу показників якості.....	62
3.3. Оцінка енергоефективності обраного теплового насоса.....	75
3.4. Висновок.....	77
ВИСНОВОК.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79
ДОДАТОК А.....	86
ДОДАТОК Б.....	87

## ВСТУП

### Актуальність роботи

У сучасних умовах, коли світова спільнота стикається з енергетичними, екологічними та економічними викликами, впровадження ефективних технологій опалення стає одним із ключових напрямів розвитку житлової та комерційної інфраструктури. Особливої актуальності набувають системи на основі теплових насосів, зокрема типу «повітря–вода», які дозволяють ефективно використовувати відновлювану енергію навколишнього середовища й водночас суттєво скорочують споживання традиційних енергоносіїв.

Тематика цієї роботи є надзвичайно важливою з кількох причин. По-перше, теплові насоси уже зараз активно впроваджуються у житловому та комерційному секторах, і від правильного вибору обладнання залежить як енергоефективність об'єкта, так і комфорт користувачів. По-друге, в умовах зростання вартості електроенергії та потреби у скороченні викидів парникових газів, використання енергоощадних систем набуває не лише економічного, а й екологічного значення. І нарешті, систематизований підхід до підбору теплового насоса із врахуванням показників якості — це практичний інструмент, який дозволяє уникнути технічних та фінансових помилок у проектуванні систем опалення.

**Метою дослідження** є аналіз показників якості теплових насосів типу «повітря–вода» та розробка практичного підходу до вибору оптимальної моделі для конкретного об'єкта житлової забудови. Особлива увага приділяється оцінці енергоефективності, відповідності обладнання до стандартів, а також обґрунтуванню доцільності застосування в реальних умовах експлуатації.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні **задачі**:

- Проаналізувати принцип роботи та основні показники якості теплових насосів;
- Дослідити існуючі методики оцінювання якості обладнання та на їх основі розробити власну;
- здійснити підбір моделі теплового насоса на основі технічних параметрів;
- проаналізувати енергоефективність обраного рішення.

• **Об'єктом дослідження** є процес оцінювання показників якості теплового насоса типу «повітря–вода».

**Предмет дослідження** — технічні та енергетичні характеристики теплових насосів, що впливають на якість і доцільність їх використання у конкретних кліматичних і експлуатаційних умовах.

**Методи дослідження**, застосовані у роботі, включають аналіз нормативної документації (EN 14511, EN 14825), розрахунок теплових потреб будівлі, підбір обладнання із використанням енергетичних показників (COP, SCOP), моделювання ефективності системи опалення, а також метрологічне обґрунтування достовірності результатів.

**Практичне значення** цієї роботи полягає у створенні прикладної методики, що дозволяє інженерам, проектувальникам і споживачам робити обґрунтований вибір теплового насоса з урахуванням технічних, кліматичних та експлуатаційних особливостей. Результати можуть бути використані для підвищення ефективності систем тепlopостачання у приватному секторі, а також слугувати основою для подальших досліджень у сфері відновлюваної енергетики та інформаційно-вимірювальних технологій.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕПЛОВІ НАСОСИ: ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ

На тлі сучасних кліматичних викликів та зростання вартості енергоресурсів питання впровадження енергоефективних технологій набуває особливої актуальності. Серед таких рішень дедалі більшого поширення набувають теплові насоси. Їх популярність пояснюється тим, що вони дозволяють використовувати поновлювану теплову енергію навколишнього середовища для забезпечення опалення та гарячого водопостачання, при цьому значно скорочуючи витрати електроенергії порівняно з традиційними системами.

Актуальність цієї теми зумовлена не лише техніко-економічними перевагами таких установок, але й глобальним переходом до низьковуглецевих джерел енергії. Повітряні теплові насоси можуть ефективно працювати навіть за низьких температур, не потребують складної інфраструктури і все частіше розглядаються як реальна альтернатива газовим котлам та електрообігрівачам — особливо у побутовому секторі.

Дослідження принципу роботи теплового насоса та показників, які визначають його якість, є надзвичайно важливим у контексті подальшого впровадження таких технологій у житловому будівництві. Такий аналіз є корисним, тому що саме від показників ефективності, рівня шуму, екологічності та надійності залежить, яку модель вибере користувач, а також які рішення прийматимуть інженери під час проектування системи.

## 1.1. Загальна характеристика теплових насосів

Тепловий насос – це пристрій, який використовується для забезпечення теплових потреб у приміщеннях різного типу, розміру та призначення. В основному, його встановлюють саме для опалення будівель та забезпечення гарячого водопостачання, проте, також тепловий насос чудово підходить для підігріву води в басейнах і підтримання необхідного мікроклімату в приміщеннях з особливими вимогами до температурних умов, а у реверсному режимі, він здатний працювати ще й для охолодження приміщень, як звичайний кондиціонер. Це тому, що принцип роботи цього пристрою базується на основі оборотного циклу Карно, тобто він призначений передавати теплову енергію від джерела з нижчою температурою до споживача з вищою, використовуючи для цього поновлювані джерела енергії такі як ґрунт, повітря чи вода.

Основною особливістю теплового насосу є його енергоефективність, адже він здатний виробляти теплової енергії в 3-5 разів більше, ніж споживає для цього електричної [44]. Це означає, що на кожен кіловат спожитої електроенергії система генерує до п'яти кіловат тепла, що значно знижує витрати на опалення. Технологія роботи базується на використанні теплової енергії з навколишнього середовища — повітря, води або ґрунту, що в свою чергу знижує споживання викопного палива. У результаті впровадження теплових насосів сприяє скороченню викидів парникових газів та підтримує глобальні тенденції переходу до сталого розвитку в енергетичному секторі.

Схема підключення теплового насоса (ТН) передбачає роботу взаємопов'язаних зовнішнього та внутрішнього модулів системи. Зовнішній блок акумулює теплову енергію з навколишнього середовища та транспортує її до внутрішнього агрегату, де здійснюється нагрів теплоносія для потреб опалення та гарячого водопостачання. Підігрітий теплоносій розподіляється між споживачами тепла, серед яких можуть бути радіаторні системи, теплі підлоги та бойлери непрямого нагріву. Після віддачі тепла вода повертається у зворотний контур для подальшої переробки. (рис. 1.1).

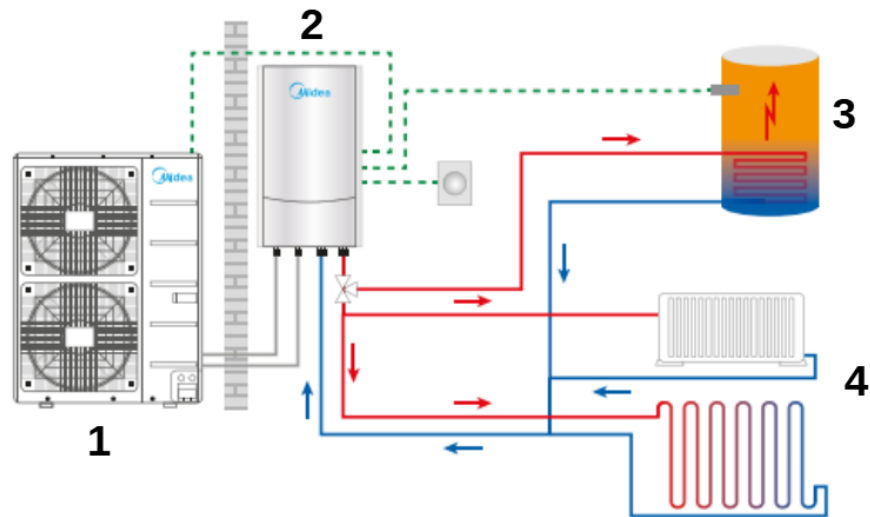


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення теплового насоса «повітря-вода» де: 1- зовнішній блок теплового насоса, 2 - гідромодуль (внутрішній блок), 3 - буферна ємність, 4 - система опалення [70]

### 1.1.1. Класифікація теплових насосів

#### •Класифікація теплових насосів за принципом роботи

За принципом роботи є два типи насосів: компресійні та абсорбційні.

Компресійні ТН - це найпоширеніший тип, який займає більшість ринку, він працює з допомогою електричного компресора, який стискає холодоагент. Процес відбувається наступним чином: спочатку холодоагент випаровується поглинаючи тепло з джерела, після чого цей пар стискається компресором, за рахунок чого підвищується його температура, після цього підігрітий газ віддає тепло в конденсаторі, охолоджується і цикл повторюється.

Абсорбційні ТН замість електричного компресора використовують тепловий, наприклад газовий котел. В цьому випадку буде ось такий процес: Використовується пара холодоагенту (аміак або вода), який поглинається абсорбентом (водою або літій-бромідом), отримана суміш нагрівається зовнішнім джерелом тепла, в результаті чого випаровується холодоагент, після цього відбуваються процеси конденсації розширення і поглинання. Такі теплові насоси можуть працювати на газі, відпрацьованому або сонячному теплі, проте

вони є значно дорожчими, складнішими в монтажі, а також мають повільнішу реакцію.

Порівняльна схема роботи цих двох типів насосів зображено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Порівняльна схема роботи компресійного та абсорбційного ТН

[51]

• *Класифікація теплових насосів залежно від джерела тепла, яке використовується*

Якщо порівнювати теплові насоси залежно від джерела тепла, яке використовується, то виділяють три основні види: повітряні, водяні та геотермальні. [69]

**Повітряні теплові насоси** є одними з найпоширеніших типів обладнання для систем опалення, охолодження та гарячого водопостачання завдяки простоті монтажу, відносно невисокій вартості та універсальності застосування. Основним джерелом теплоти для цих систем виступає зовнішнє атмосферне повітря.

Принцип роботи повітряних теплових насосів ґрунтується на відборі низькопотенційного тепла з повітря навіть за низьких температур навколишнього середовища. За допомогою термодинамічного циклу тепло переноситься до системи опалення або охолодження приміщення. Сучасні

моделі здатні ефективно працювати при температурах до  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  і нижче, що дозволяє їх використовувати в регіонах із помірним і холодним кліматом.[71]

Залежно від способу передачі теплоти, такі насоси бувають двох видів – «повітря-повітря» і «повітря-вода».

Теплові насоси типу «повітря–повітря» передають тепло безпосередньо з зовнішнього повітря до внутрішнього повітря приміщення, забезпечуючи як обігрів, так і охолодження (рис. 1.3.). Ці системи особливо популярні в регіонах з помірним кліматом та в будівлях без централізованої системи опалення. Деякі моделі таких ТН мають вбудовані додаткові функції, які дозволяють підвищити рівень комфорту та забезпечують додатковий захист здоров'я жителів. Наприклад, в деяких моделях теплових насосів ТМ «Hisense» є функція розумного повітряного потоку, яка забезпечує розподіл потоку повітря залежно від рівня активності в приміщенні, а також від режиму - при обігріві повітря спрямовується до низу, а при охолодженні – навпаки. Внутрішні блоки обладнані спеціальними фільтрами, які забезпечують високий рівень очистки зовнішнього повітря, і цим підвищують його безпечність [42].

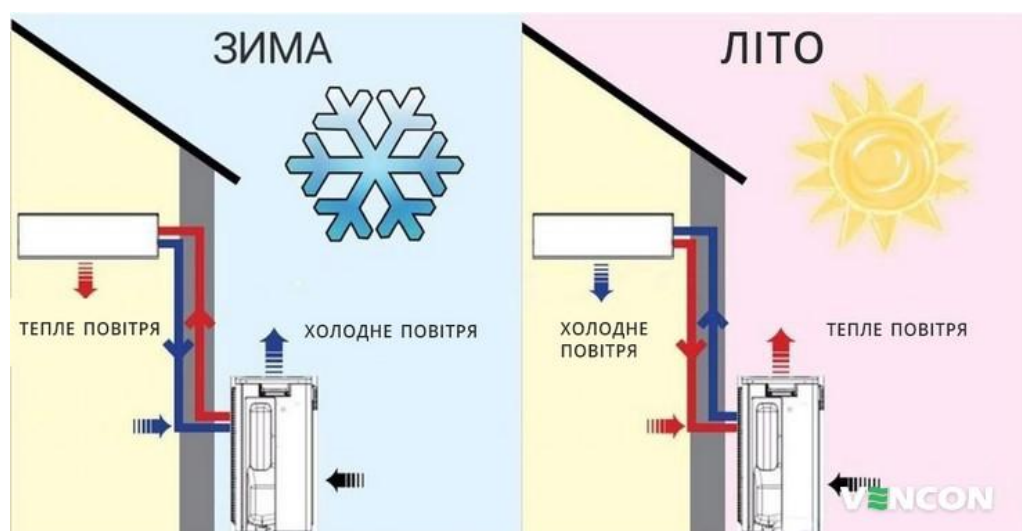


Рисунок 1.3 – Схематичне зображення роботи теплового насоса «повітря-повітря» [59]

Інший тип – «повітря-вода» є одними з найпоширеніших рішень для забезпечення опалення, охолодження та гарячого водопостачання в житлових і комерційних будівлях. Їх популярність зумовлена поєднанням високої

енергоефективності, відносно доступної вартості та можливості інтеграції в існуючі системи опалення. Така система складається з двох основних блоків: зовнішнього та внутрішнього. У зовнішньому блоці розташований випарник, який відбирає теплову енергію з навколишнього повітря, навіть при низьких температурах. Холодоагент, циркулюючи в системі, поглинає це тепло та переходить у газоподібний стан. Далі компресор підвищує тиск і температуру газу, після чого в конденсаторі внутрішнього блоку відбувається передача тепла теплоносію (воді), яка циркулює в системі опалення або гарячого водопостачання (рис 1.4.) [67].

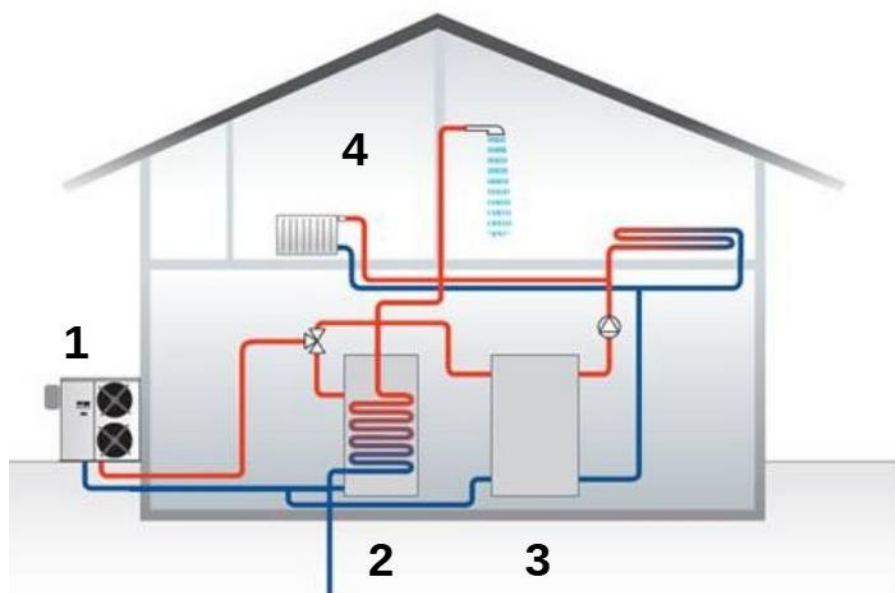


Рисунок 1.4 – Схематичне зображення роботи теплового насоса «повітря-вода» де: 1- зовнішній блок теплового насоса, 2 - буферна ємність (акумулятор тепла), 3 - бойлер непрямого нагріву (для ГВП), 4 - система опалення [45]

Однією з ключових переваг повітряних теплових насосів є порівняно простий і швидкий процес монтажу, що не потребує масштабних земляних робіт або спеціальної підготовки ділянки. Це значно зменшує вартість інсталяції та терміни введення об'єкта в експлуатацію. Крім того, для встановлення повітряного теплового насоса не потрібна велика земельна площа, що робить такі системи ідеальними для міських умов або обмежених територій.

Ще однією суттєвою перевагою є висока енергоефективність обладнання: на кожен спожитий кіловат електроенергії тепловий насос може виробляти у 3–5 разів більше теплової енергії. [44] Це дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати у порівнянні з традиційними системами опалення.

Разом із тим важливо враховувати, що ефективність роботи повітряних теплових насосів істотно залежить від температури навколишнього середовища. При зниженні температури повітря зменшується кількість доступної теплоти, яку може бути витягнуто з атмосфери, що призводить до зниження коефіцієнта перетворення енергії (COP). При дуже низьких температурах деякі моделі можуть вимагати використання допоміжних джерел тепла для підтримання необхідного рівня комфорту. Таким чином, при проектуванні системи на базі повітряного теплового насоса доцільно враховувати кліматичні особливості регіону та, за потреби, передбачати комбіновані рішення для забезпечення стабільної роботи навіть в умовах значних морозів.

Завдяки високій гнучкості застосування, енергоефективності та здатності одночасно забезпечувати як опалення, так і охолодження приміщень, повітряні теплові насоси вважаються одними з найбільш перспективних технологій для житлового, комерційного та промислового секторів.

**Водяні теплові насоси** використовують тепло підземних або поверхневих вод для забезпечення теплового комфорту в будівлях. Така система складається з двох основних контурів – первинного та вторинного. В первинному контурі вода з джерела (наприклад, свердловини або водойми) подається до випарника теплового насоса. Тепло від води передається холодоагенту, який випаровується при низькій температурі. Після чого процес переходить у вторинний контур, де після стиснення в компресорі гарячий холодоагент передає тепло через конденсатор до системи опалення або гарячого водопостачання. Після передачі тепла холодоагент охолоджується, конденсується і повертається до випарника для повторення циклу. Використана вода з первинного контуру зазвичай повертається назад у джерело або відводиться в інше місце (рис. 1.5.).

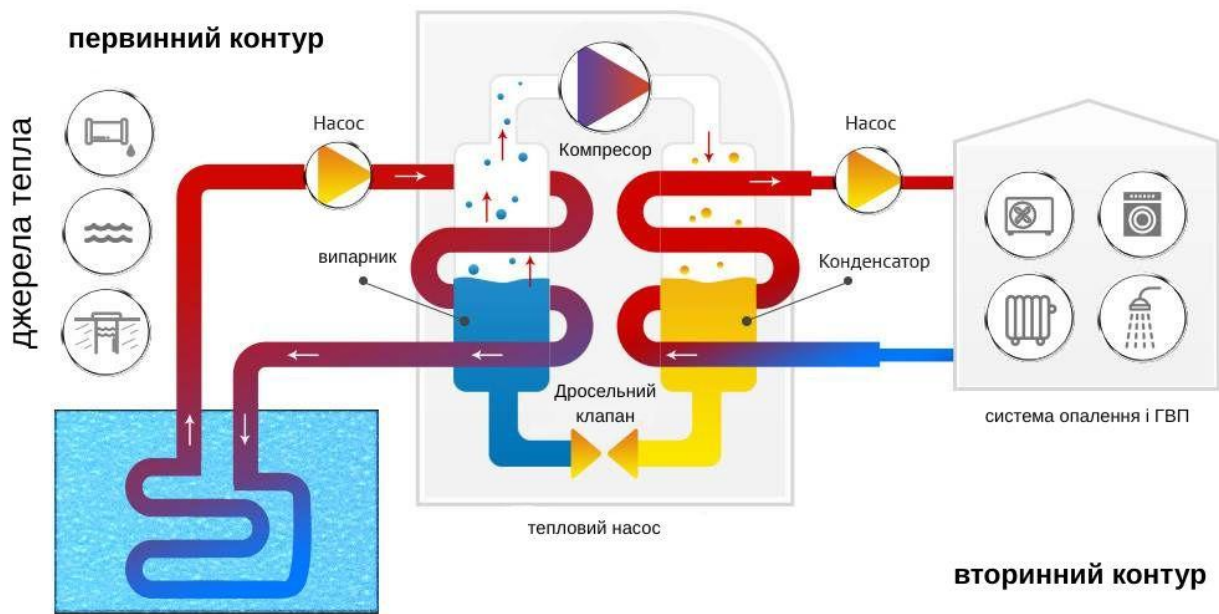


Рисунок 1.5 – Схематичне зображення роботи теплового насоса типу «вода-вода» [28]

Водяні теплові насоси вирізняються надзвичайно високим рівнем енергоефективності, що обумовлено стабільною температурою джерела тепла — підземних або поверхневих вод. На відміну від повітряних систем, температура води менш залежна від сезонних змін, що дозволяє досягати стабільної теплової продуктивності протягом усього року. Саме ця характеристика робить цей тип теплових насосів одним із найоптимальніших рішень для опалення будівель з підвищеними вимогами до комфорту та енергоощадності.

Окрім забезпечення теплом у холодну пору року, більшість сучасних моделей мають функцію реверсивної дії, що дозволяє використовувати систему і для охолодження приміщень у літній період. Це дає змогу замінити одразу два окремі пристрої — котел і кондиціонер, зменшуючи не лише експлуатаційні витрати, а й кількість необхідного обладнання.

Перед впровадженням водяного теплового насоса обов'язковим є проведення гідрогеологічного аналізу місцевості з метою оцінки потенціалу водного джерела. Визначається не тільки об'єм доступної води, а й її температура, хімічний склад та можливість екологічно безпечного повернення у природне середовище після використання. Система має бути спроектована таким чином, щоб не порушувати природного гідробалансу регіону.

З технічного погляду, експлуатація таких установок вимагає відповідального обслуговування: регулярного очищення фільтрів, перевірки теплообмінників на наявність накипу або корозії, а також контролю стану насосного обладнання. Проте за умови дотримання технологічних вимог, водяні теплові насоси демонструють тривалий термін служби — понад два десятиліття без істотного зниження продуктивності.

Такі системи дедалі частіше впроваджуються як у приватному секторі, так і на комерційних чи промислових об'єктах, оскільки поєднують високу енергоефективність, екологічність та довгострокову економічну вигоду. Враховуючи сучасні виклики енергозбереження та зростання вартості традиційних енергоносіїв, інтерес до водяних теплових насосів стабільно зростає.

**Геотермальні теплові насоси** є одними з найефективніших та екологічно безпечних систем для опалення, охолодження та гарячого водопостачання будівель. Ці системи використовують стабільну температуру ґрунту як джерело теплової енергії, що забезпечує їхню високу ефективність незалежно від сезонних коливань температури повітря.

Основним компонентом таких систем є зовнішній контур, який складається з мережі труб, розміщених у ґрунті. У цих трубах циркулює теплоносій — розсіл, зазвичай водний розчин з додаванням екологічно безпечного антифризу, такого як пропіленгліколь. Цей теплоносій поглинає тепло з ґрунту та передає його до внутрішнього контуру системи через теплообмінник [33].

Існують два основні способи розміщення зовнішнього контуру (рис 1.6.): горизонтальний та вертикальний. Горизонтальні колектори укладаються на глибину приблизно 1,2–1,8 метра в траншеї, розташовані на відстані 0,6–0,8 метра один від одного. Цей метод вимагає значної площі земельної ділянки, яка повинна бути вільною від забудови та насаджень, оскільки над колекторами не рекомендується проводити будівництво або висаджувати дерева, щоб не порушити тепловий баланс ґрунту [61].

Вертикальні зонди, або геотермальні свердловини, буряться на глибину до 100 метрів і займають менше площі, що робить їх придатними для ділянок з

обмеженим простором. Цей метод забезпечує більш стабільну температуру теплоносія протягом року, оскільки на глибині температура ґрунту залишається практично незмінною [50].

Вибір між горизонтальним та вертикальним розміщенням залежить від багатьох факторів, включаючи доступну площу, геологічні умови, теплові потреби будівлі та бюджет. Горизонтальні системи зазвичай мають нижчі початкові витрати, але вимагають більше простору, тоді як вертикальні системи є дорожчими у встановленні, але займають менше місця та забезпечують стабільнішу ефективність.

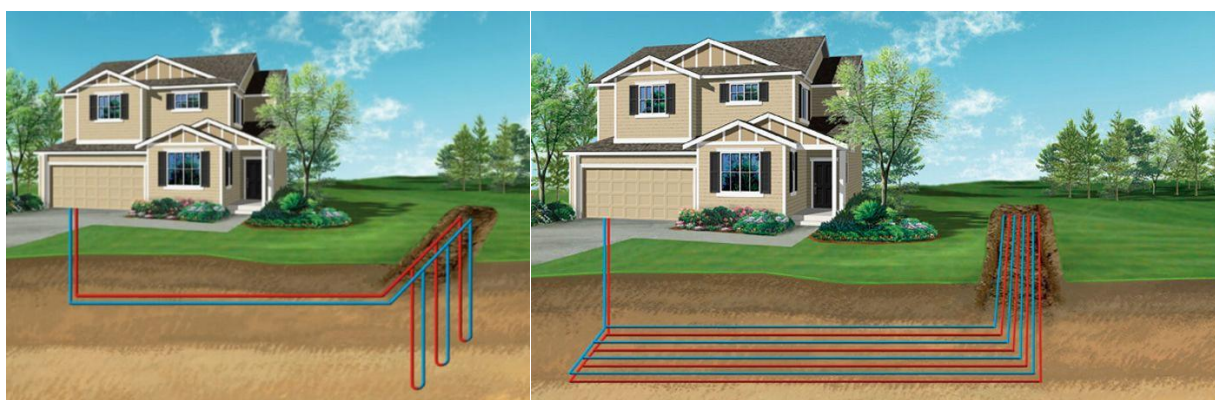


Рисунок 1.6 – Схема розміщення зовнішнього вертикального та горизонтального контуру геотермального теплового насоса [30]

Теплоносій у системах типу «розсіл–вода» повинен мати низьку температуру замерзання та бути безпечним для навколишнього середовища. Пропіленгліколь є найбільш поширеним вибором, оскільки він нетоксичний і має хороші теплопровідні властивості. Однак він має вищу в'язкість порівняно з водою, що може знижувати ефективність системи. Тому важливо правильно розрахувати концентрацію антифризу та забезпечити належне обслуговування системи [33].

Геотермальні теплові насоси типу «розсіл–вода» мають високий коефіцієнт продуктивності (COP), який може досягати 3,0–4,5, що означає, що на кожен спожитий кіловат електроенергії система генерує 3,0–4,5 кіловат теплової енергії [36]. Це дозволяє значно знизити витрати на опалення та охолодження будівель.

Крім того, ці системи можуть забезпечувати пасивне охолодження в літній період, використовуючи низьку температуру ґрунту для відведення тепла з

приміщень. Це дозволяє підтримувати комфортну температуру в будівлі без значних енергетичних витрат (рис. 1.7).

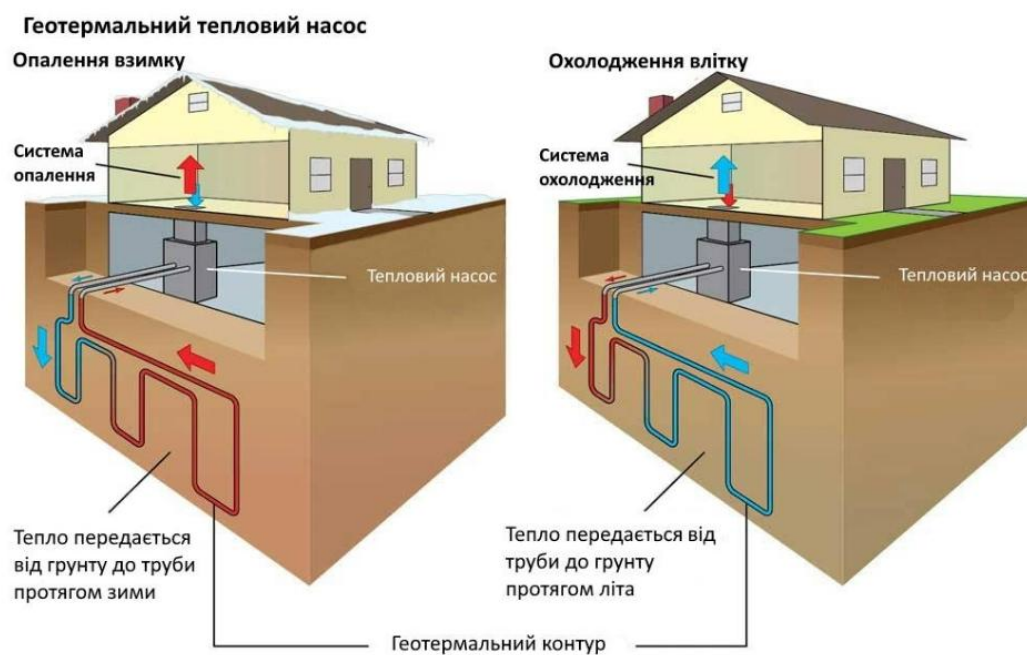


Рисунок 1.7 – Схематичне зображення принципу роботи геотермального теплового насоса [30]

Перед встановленням геотермальної системи необхідно провести детальний аналіз ґрунтових умов, включаючи теплопровідність ґрунту, рівень ґрунтових вод та наявність підземних комунікацій. Також слід враховувати місцеві нормативні вимоги та отримати необхідні дозволи на буріння свердловин або укладання колекторів.

Загалом, геотермальні теплові насоси типу «розсіл–вода» є надійним та ефективним рішенням для забезпечення теплового комфорту в будівлях, сприяючи зниженню енергоспоживання та викидів парникових газів. Правильне проектування, встановлення та обслуговування таких систем забезпечує їхню довговічність та ефективність протягом багатьох років.

Таким чином, класифікація теплових насосів дозволяє обрати оптимальний тип обладнання відповідно до умов експлуатації, доступних ресурсів та технічних вимог конкретного об'єкта. При цьому важливо враховувати не лише принцип роботи системи, а й її енергоефективність, витрати на встановлення,

здатність працювати в умовах низьких температур, а також доцільність інтеграції з наявною системою опалення. Такий підхід дає змогу не лише підвищити комфорт і знизити витрати на енергію, але й забезпечити довготривалу ефективність і екологічність опалювальної системи.

### **1.1.2. Сфери застосування теплових насосів**

Теплові насоси займають провідні позиції серед сучасних технологій сталого теплопостачання та демонструють зростаючу популярність у приватному, комерційному й муніципальному секторах. Їх затребуваність пояснюється універсальністю, енергоефективністю та екологічністю. Використовуючи тепло навколишнього середовища, вони становлять ефективну альтернативу традиційним системам на основі викопного палива.

Сьогодні теплові насоси активно застосовуються для опалення, охолодження та гарячого водопостачання в житловому секторі, промисловості, аграрній сфері та громадських будівлях. У приватних будинках вони забезпечують автономний клімат-контроль, а в багатоквартирних — інтегруються в централізовані системи, модернізуючи або замінюючи застарілі джерела тепла.

У приватному секторі теплові насоси дедалі частіше використовуються як основне джерело теплопостачання завдяки своїй універсальності, економічності та здатності забезпечувати комфорт протягом року. В індивідуальних будинках вони слугують комплексним рішенням для опалення взимку, охолодження влітку та гарячого водопостачання цілий рік. Їх ефективність пояснюється використанням відновлюваної енергії повітря, ґрунту чи води при значно нижчому споживанні електроенергії, ніж у традиційних котлах.

Найкращі результати досягаються при поєднанні теплового насоса з низькотемпературними системами — «теплою підлогою», стіновим або стельовим обігрівом, а також панельними радіаторами з великою площею теплообміну. Це дозволяє знизити температуру подачі до 30–40 °С, підвищуючи ефективність і зменшуючи витрати.

У багатоквартирних будинках теплові насоси можуть застосовуватись як у межах окремих квартир, так загалом для всього будинку. Централізовані рішення особливо ефективні у новобудовах або після термомодернізації. У Німеччині, Швеції вже впроваджено сотні таких проектів із зональним регулюванням опалення [54].

В Україні цей підхід лише розвивається. Є кілька позитивних прикладів в Києві та Львові, де забудовники інтегрують теплові насоси в інженерні мережі будинків [49].

Промисловість та агросектор мають значний потенціал для скорочення енерговитрат і зниження викидів парникових газів, що є актуальним у контексті декарбонізації економіки. У країнах ЄС, зокрема Німеччині, Швеції, Австрії та Данії, теплові насоси активно впроваджуються там, де існує надлишок низькопотенційного тепла або потреба в значному обсязі гарячої води.

У харчовій промисловості теплові насоси застосовуються для пастеризації, сушіння, миття тари, а також утилізації тепла від холодильних систем [39]. У хімічній — для регулювання температурних режимів, у деревообробній — для сушіння деревини. Завдяки реверсивному режиму, вони забезпечують як нагрів, так і охолодження виробничих приміщень, адаптуючись до сезону.

В агросекторі теплові насоси демонструють ефективність у теплицях — як джерело тепла взимку і спосіб охолодження влітку. У Нідерландах вони поєднуються з геотермальними свердловинами, акумуляторами тепла та автоматичними системами клімат-контролю, що дозволяє зменшити енерговитрати і підвищити врожайність [27]. Також їх застосовують у тваринництві — для обігріву, вентиляції та нагріву води.

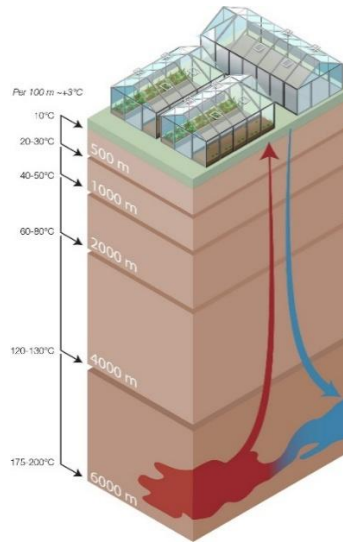


Рисунок 1.8 – Приклад використання геотермального теплового насоса для підтримки теплиць [27]

Отож, в межах сучасних тенденцій енергетичної трансформації теплові насоси демонструють широкий спектр можливостей для ефективного та екологічно безпечного теплопостачання. Їх універсальність дозволяє інтегрувати ці системи у різні сфери — від індивідуального житлового будівництва до складних промислових процесів.

## 1.2. Принцип роботи теплового насоса типу «повітря-вода»

### 1.2.1. Термодинамічні цикли

Тепловий насос — це пристрій, що переносить теплову енергію з області з нижчою температурою до області з вищою, використовуючи зовнішнє джерело енергії, зазвичай електричної. Цей принцип ґрунтуються на фундаментальних законах термодинаміки, зокрема на циклі Карно та реальних циклах, що наближені до нього [58].

Ідеальний цикл Карно

Ідеальна теплова машина, що працює між двома джерелами з різною температурою, не може бути ефективнішою за ту, яка функціонує за так званим циклом Карно. Цей цикл слугує еталонною моделлю, яка встановлює гранично можливу ефективність для теплових пристроїв.

У контексті теплових насосів, які використовуються для опалення, ефективність теоретично описується через відношення температур об'єкта, що обігривається, до різниці між цією температурою і температурою джерела тепла. Формула для обчислення такого коефіцієнта продуктивності (COP) [52]:

$$COP_{\text{Карно}} = \frac{T_{\text{гар}}}{T_{\text{гар}} - T_{\text{хол}}} \quad (1.1)$$

де:  $T_{\text{гар}}$  — температура в зоні, куди передається тепло (наприклад, усередині будівлі),

$T_{\text{хол}}$  — температура зовнішнього середовища або ґрунту, звідки береться теплова енергія.

Важливо, що обидві температури подаються в абсолютних одиницях — Кельвінах. Ця модель ілюструє: чим ближчі між собою температури джерела та приймача тепла, тим вища теоретична ефективність системи. Водночас слід розуміти, що цей цикл є абстрактною концепцією, яка не враховує неминучі втрати енергії та інші необоротні процеси, характерні для реальних теплових установок, тому він не може бути повністю втілений на практиці.

У сучасних теплових насосах замість ідеалізованого циклу Карно застосовуються практичні схеми, зокрема — **парокомпресійний цикл**, що є технічно реалізованим і ефективним для широкого спектра завдань опалення та охолодження.

Цей цикл передбачає поетапне перетворення стану холодоагенту — речовини, що переносить тепло в системі. Основні етапи виглядають так:

### 1. **Випаровування**

Рідкий холодоагент надходить у випарник, де, поглинаючи тепло з навколишнього середовища (повітря, ґрунту чи води), переходить у газоподібний стан. Цей процес супроводжується поглинанням теплової енергії без підвищення температури речовини.

## 2. Компресія (стискання)

Газ, що утворився, подається в компресор, де відбувається його стиснення. Унаслідок цього температура і тиск значно зростають, що підготовлює речовину до наступного етапу — тепловіддачі.

## 3. Конденсація

Після стиснення нагрітий газ надходить до конденсатора. Тут він віддає тепло системі опалення (наприклад, воді в радіаторах або теплій підлозі) і знову переходить у рідкий стан. Це — ключовий момент, коли теплова енергія передається кінцевому споживачу.

## 4. Розширення

Завершальний етап передбачає проходження рідини через дросель або розширювальний клапан. Внаслідок падіння тиску температура холодоагенту знижується, і він повертається в початковий стан, готуючись до нового циклу.

Завдяки цій послідовності змін фаз і параметрів робочого середовища система може багаторазово повторювати цикл, постійно транспортувати тепло від джерела до споживача. Такий підхід є найбільш уживаним у побутових та комерційних теплових насосах і характеризується високою енергоефективністю (рис 1.9) [34].

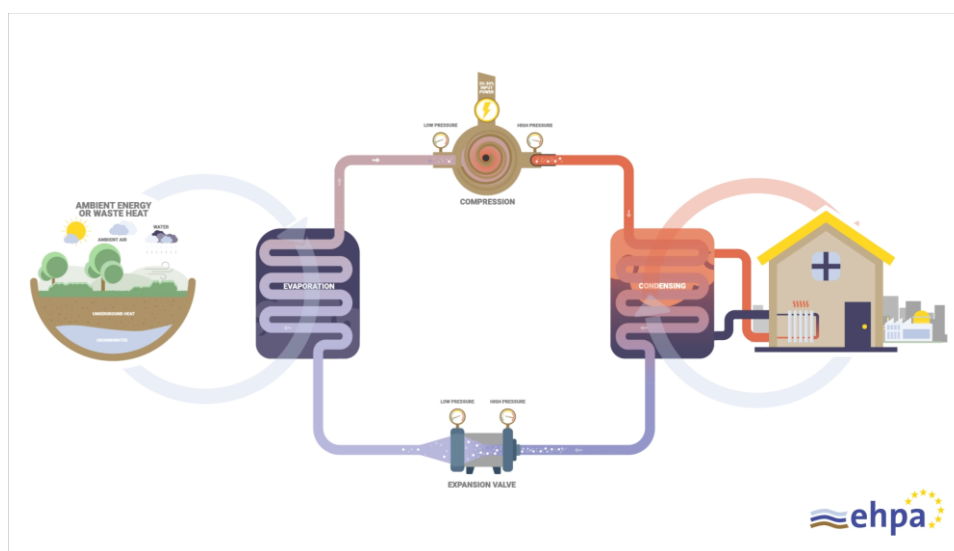


Рисунок 1.9 – Ілюстрація чотирьох циклів роботи теплового насоса [34]

### **1.2.2. Основні компоненти теплового насоса (компресор, конденсатор, випарник, дросельний вентиль). Їх функції при роботі теплового насоса в режимах опалення та охолодження.**

В попередніх підрозділах ми вже дослідили, що таке тепловий насос і в чому полягає суть його роботи, в цьому ж розберемось з чого саме він складається, та за що відповідає кожен елемент системи.

У тепловому насосі основну роль відіграють чотири ключові елементи: зовнішній блок з випарником, компресор, конденсатор та розширювальний вентиль. Вони виконують різні функції залежно від того, в якому режимі працює тепловий насос.

#### *Робота теплового насоса в режимі опалення*

Під час роботи в режимі опалення основна мета системи полягає у тому, щоб відібрати тепло з зовнішнього повітря і передати його в житлове або службове приміщення. Навіть якщо температура на вулиці є відносно низькою, у повітрі все одно міститься певна кількість теплової енергії, яку можна ефективно використати. (рис. 1.10)

Процес починається з того, що рідкий холодоагент проходить через **розширювальний вентиль**, де його тиск і температура різко падають. У результаті цього він частково випаровується і перетворюється на суміш рідини та пари з низьким тиском. Далі ця суміш потрапляє у зовнішній теплообмінник, який у цьому режимі виконує функцію випарника. Саме тут холодоагент поглинає тепло з навколишнього повітря. Під дією цього тепла рідка частина повністю випаровується — утворюється пара з низькою температурою.

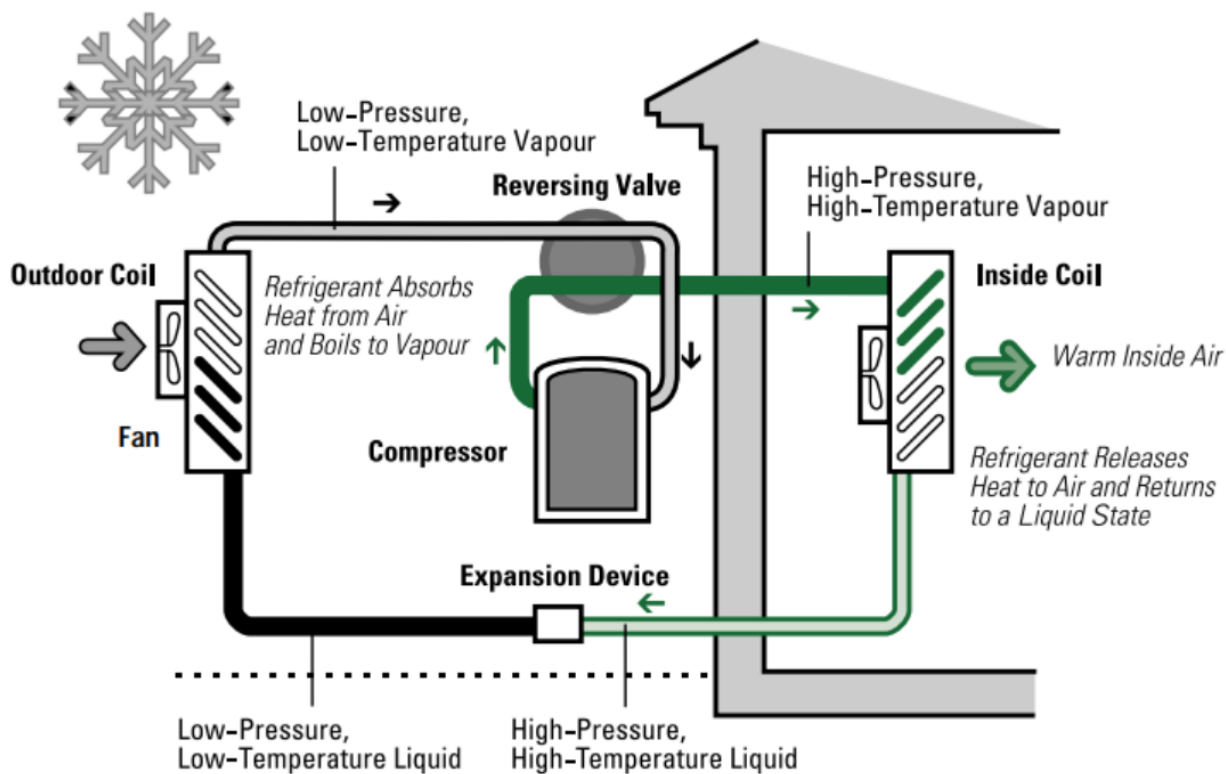


Рисунок 1.10 – Схема роботи теплового насоса в режимі обігріву [48]

Перед тим як пара потрапить до компресора, вона проходить через спеціальний елемент системи — акумулятор, який затримує залишки рідини, аби уникнути потрапляння рідини в компресор (оскільки це може призвести до його пошкодження). Далі пара надходить у **компресор**, де вона стискається — її об'єм зменшується, а температура значно зростає.

Після цього вона спрямовується до внутрішнього теплообмінника, який у цьому випадку виконує функцію **конденсатора**. У цьому теплообміннику тепло, яке несе гарячий газоподібний холодоагент, передається повітрю всередині приміщення (через вентиляційні канали або систему теплої підлоги), а сам холодоагент знову конденсується, тобто переходить у рідкий стан. Після цього він повертається до розширювального вентиля, і цикл повторюється.

Особливістю системи є **реверсивний клапан**, який дозволяє змінювати напрям руху холодоагенту, коли тепловий насос переходить з режиму опалення в режим охолодження або навпаки. У режимі опалення цей клапан спрямовує потік холодоагенту таким чином, щоб тепло переносилося ззовні всередину.

Ефективність теплового насоса значною мірою залежить від температури зовнішнього повітря. За її зниження тепловіддача системи зменшується. Існує поняття «точки теплового балансу» — температури, за якої теплова потужність дорівнює втратам тепла будівлі. Нижче цієї межі насос не покриває всі потреби в теплі, тому вмикається додаткове джерело, наприклад електронагрівач або газовий котел.

Для теплових насосів типу «повітря–вода» гранична робоча температура становить приблизно  $-15...-25^{\circ}\text{C}$ . За нижчих температур автоматично активується резервне джерело обігріву [48].

Таким чином, хоча повітряні теплові насоси ефективні, у дуже холодному кліматі їх можливості обмежені, що слід враховувати при проєктуванні.

#### *Робота теплового насоса в режимі охолодження*

У теплу пору року тепловий насос переходить у режим охолодження, виконуючи зворотну функцію, він навпаки — забирає надлишкове тепло з повітря всередині приміщення і виводить його назовні. Цей процес дозволяє підтримувати комфортну температуру у житловому просторі навіть за значної зовнішньої спеки (рис. 1.11).

Процес починається з того, що холодоагент, який перебуває у рідкому стані під тиском, подається до **розширювального вентиля**. Тут тиск рідини різко знижується, утворюється суміш холодоагенту у вигляді рідини та пари з низьким тиском і температурою, яка надходить у внутрішній теплообмінник, який у режимі охолодження виконує функцію **випарника**.

У випарнику холодоагент поглинає тепло з повітря в приміщенні, остаточно випаровується і перетворюється на холодну пару. Це знижує температуру повітря в кімнаті. Одночасно відбувається осушення: волога конденсується на холодному теплообміннику і відводиться через дренаж у каналізацію.

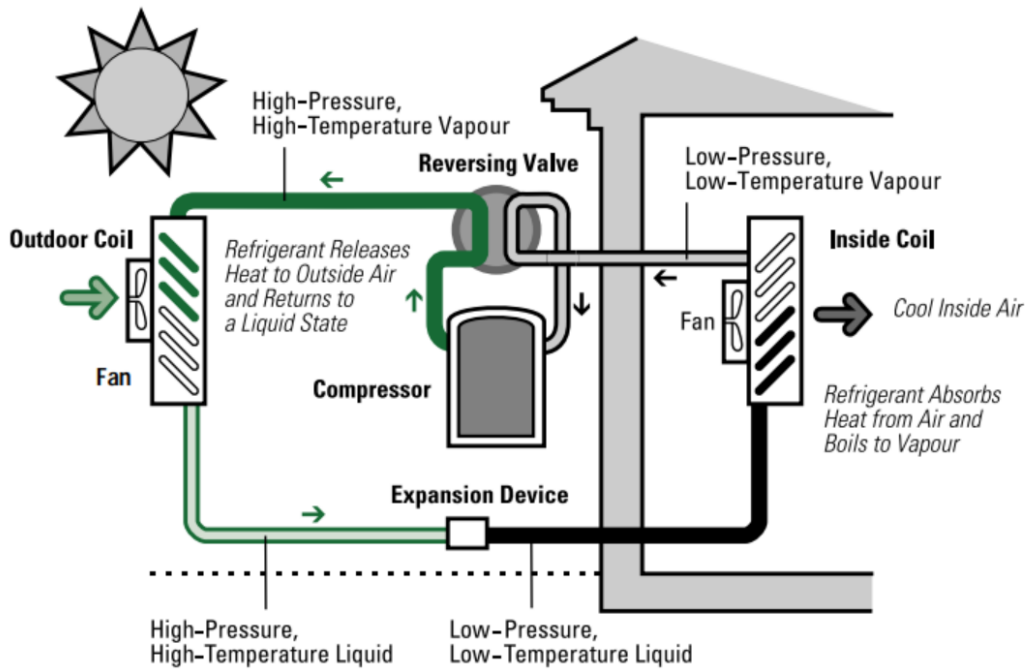


Рисунок 1.11 – Схема роботи теплового насоса в режимі охолодження [48]

Далі холодоагент у вигляді пари проходить через реверсивний клапан, який у цьому режимі перенаправляє потік у зворотному напрямку, та надходить до акумулятора, який затримує залишки рідини й захищає компресор. Після цього пара потрапляє до компресора, де стискається, внаслідок чого різко зростають її тиск і температура.

Стиснута гаряча пара, минаючи той самий реверсивний клапан, прямує до зовнішнього теплообмінника, який у цьому режимі функціонує як конденсатор. Тут холодоагент віддає тепло зовнішньому повітрю за допомогою вентилятора, переходить у рідкий стан і повертається до розширювального пристрою — цикл повторюється[48]

Таким чином, тепловий насос у режимі охолодження працює за тим самим принципом, що й у режимі нагрівання, тільки з інверсією напрямку потоку тепла. Це забезпечується реверсивним клапаном, який перемикає роботу системи залежно від заданого режиму. Така універсальність робить повітряні теплові насоси особливо привабливими для використання у кліматичних зонах з вираженими сезонними коливаннями температур, дозволяючи обігрівати приміщення взимку та охолоджувати його влітку — усе за допомогою однієї системи.

### 1.3. Показники якості теплових насосів

#### *Коефіцієнт перетворення енергії COP та SCOP*

Для того щоб об'єктивно оцінити ефективність роботи теплового насоса, необхідно розуміти, за якими критеріями ця ефективність визначається. Насамперед мова йде про два ключові показники, які найчастіше використовуються в технічній та експлуатаційній оцінці обладнання — це коефіцієнт перетворення енергії (COP) та сезонний коефіцієнт продуктивності (SCOP). Саме вони дозволяють зрозуміти, скільки теплової енергії система здатна забезпечити при певних витратах електроенергії — як у конкретний момент, так і протягом усього опалювального сезону, тобто на скільки енергоефективним є обладнання. Ми вже згадували їх раніше, а тут розберемо детальніше суть цих коефіцієнтів, методику їх розрахунку, а також те, чому вони відіграють важливу роль при виборі теплового насоса.

Показник COP (коефіцієнт перетворення енергії) (від англ. *Coefficient of Performance*) відображає, наскільки ефективно тепловий насос перетворює спожиту електроенергію в корисне тепло або холод. Іншими словами, це співвідношення між кількістю теплової енергії, яку система передає в приміщення, і кількістю електроенергії, яку вона при цьому споживає. Чим вищий цей коефіцієнт — тим ефективнішою вважається система.

У загальному вигляді COP обчислюється як відношення кількості тепла, яке система постачає до об'єкта опалення, до кількості електричної енергії, витраченої на цей процес [41]:

$$COP = \frac{Q_{\text{тепло}}}{W_{\text{електроенергія}}} \quad (1.2)$$

де:

$Q_{\text{тепло}}$  — теплова енергія, передана до системи опалення,

$W_{\text{електроенергія}}$  — спожита електрична енергія (наприклад, на роботу компресора).

Наприклад, якщо тепловий насос має  $COP = 4$ , це означає, що на кожен витрачений 1 кВт·год електроенергії він забезпечує 4 кВт·год тепла. В такий спосіб він значно перевищує ефективність звичайних електричних нагрівачів, де співвідношення становить 1:1.

Проте фактичне значення  $COP$  не є сталим — воно змінюється в залежності від зовнішніх умов, зокрема:

- температури навколишнього середовища (джерела тепла),
- температури системи опалення (споживача тепла),
- типу теплового насоса (повітря–повітря, повітря–вода, ґрунт–вода тощо).

Загалом, **чим менша різниця температур між джерелом тепла та об'єктом опалення**, тим вища ефективність системи. Саме тому геотермальні (ґрунтові) теплові насоси демонструють стабільно високий  $COP$  навіть за низьких зовнішніх температур, оскільки температура ґрунту на глибині змінюється незначно протягом року.

Натомість у повітряних теплових насосах ефективність суттєво знижується за морозної погоди, адже зростає різниця температур між вуличним повітрям і внутрішнім простором, що вимагає більше енергії для компресії холодоагенту.

Для точнішої оцінки ефективності системи протягом усього опалювального періоду застосовують **сезонний коефіцієнт продуктивності (SCOP)**. На відміну від миттєвого  $COP$ ,  $SCOP$  враховує змінність зовнішніх температур протягом кількох місяців, що дає змогу прогнозувати **річну ефективність** системи.

$SCOP$  важливий у проектуванні теплових систем для конкретного клімату, а також є одним з основних параметрів, за якими оцінюють енергоефективність обладнання згідно з європейськими стандартами (наприклад, регламентом ЄС 811/2013) [38].

Такий підхід дозволяє отримати більш реальну картину того, як буде працювати тепла система в умовах реального клімату. Особливо це актуально для країн і регіонів, де зима супроводжується сильними похолоданнями або значними температурними коливаннями. У таких умовах  $SCOP$  є надійним показником того, наскільки економно тепловий насос справлятиметься з опаленням упродовж усього сезону.

Для повноцінного аналізу ефективності теплових насосів важливо не лише розуміти суть показників COP і SCOP, а й володіти базовими знаннями щодо методики їх розрахунку. Значення цих коефіцієнтів дозволяють оцінити, наскільки раціонально система використовує електроенергію для виробництва теплової енергії за різних умов експлуатації. Точний розрахунок SCOP вимагає дотримання певних стандартів та рекомендацій, таких як європейський стандарт EN 14825 [19].

Проте крім цих двох показників є й інші, які теж варто враховувати при підборі обладнання. Наприклад, знаючи теплову потужність теплового насоса ми можемо оцінити його здатність забезпечувати необхідну кількість тепла для опалення приміщення. Вибір відповідної потужності залежить від площі будівлі, рівня теплоізоляції та кліматичних умов регіону. Згідно з дослідженням FIW Institute München, погана теплоізоляція будівлі може призвести до значного зниження ефективності теплового насоса та збільшення витрат на електроенергію [37].

Ефективна система має бути не лише потужною і економною, але й комфортною в експлуатації. Одним із важливих параметрів, що безпосередньо впливає на комфорт користувача, є рівень шуму. Теплові насоси нового покоління працюють практично безшумно — більшість моделей видають 50–65 дБ, що відповідає шуму холодильника або звичайної розмови [60].

Наступним важливим критерієм є екологічність, оскільки в системах використовується відновлювана енергія з повітря, води або ґрунту, спалення викопного палива не відбувається, в результаті чого суттєво знижується рівень викидів CO<sub>2</sub>.

Зрештою, ефективність і користь від теплового насоса значною мірою залежить від його надійності та тривалості служби. За умови регулярного технічного обслуговування більшість моделей служать не менше 10–15 років, а деякі — до 20–25. Виробники, надають офіційні гарантії та сервіси підтримки, що дозволяє зберігати стабільну продуктивність системи протягом усього терміну експлуатації.

Тож розуміємо, що взаємозв'язок між потужністю, ефективністю, комфортом, екологічністю та довговічністю формує комплексне уявлення про якість теплового насоса, і саме на основі цих показників варто здійснювати вибір при впровадженні таких систем у житлові або комерційні об'єкти.

#### **1.4 Постановка задачі на виконання бакалаврської роботи**

З вищезазначеного можна зробити висновок, що теплові насоси типу «повітря-вода» є найбільш ефективними рішеннями для автономного енергозабезпечення житлових будинків, з огляду на їхню енергоефективність, екологічність і універсальність. Саме цей тип є найменш вимогливим до умов встановлення, має відносно невисоку вартість у порівнянні з геотермальними чи водяними рішеннями, і здатний ефективно працювати у більшості кліматичних регіонів України. Можливість встановлення як у новобудовах, так і в модернізованих будинках робить їх універсальним варіантом для приватного сектору. Для обґрунтованої оцінки якості такої системи необхідно вирішити низку взаємопов'язаних технічних і аналітичних завдань.

Для оцінювання показників якості теплового насоса типу «повітря-вода» при енергозабезпеченні житлового будинку необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз існуючих стандартів та методик випробувань теплових насосів;
- розробити методику випробувань теплового насоса типу «повітря-вода»;
- визначити потребу в тепловій енергії для вибраного будинку;
- здійснити підбір необхідного обладнання на основі їх показників якості;
- оцінити енергоефективність запропонованої системи опалення будинку.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛООВОГО НАСОСА ТИПУ «ПОВІТРЯ-ВОДА»

В умовах переходу до низьковуглецевої економіки особливого значення набуває впровадження енергоефективних технологій, зокрема теплових насосів типу «повітря–вода». Їх популярність зумовлена поєднанням екологічності, економічності та гнучкості застосування в різних секторах. Однак для об'єктивної оцінки ефективності таких систем необхідна чітко визначена методика випробувань, що враховує реальні умови експлуатації, а не лише паспортні характеристики.

Наступним етапом є розробка методики випробувань, що включає визначення умов проведення, порядок дій, обробку результатів та критерії оцінки. Окрема увага приділяється аналізу невизначеності вимірювань, що дозволяє оцінити надійність отриманих даних з урахуванням впливу зовнішніх чинників.

Розділ має прикладне значення, оскільки результати можуть бути використані для розробки або вдосконалення випробувальних методик у лабораторіях, сертифікаційних органах і при практичному застосуванні. Це сприятиме об'єктивній оцінці обладнання та підтримці заходів з енергетичної ефективності на національному рівні.

#### **2.1. Стандартизовані методики випробувань теплових насосів**

Для забезпечення надійної, безпечної та ефективної експлуатації теплових насосів важливо мати чітко визначені критерії оцінювання їх технічних характеристик. Саме тому на міжнародному рівні розроблено низку нормативних документів, які регламентують методи випробування, вимоги до умов тестування та порядок обробки результатів. У першу чергу, це стандарти серії EN 14511, які визначають базову методику оцінювання теплових насосів з

електричним компресором, а також EN 14825, що враховує сезонні показники ефективності за часткових навантажень у реальних кліматичних умовах.

Ці документи є загальноприйнятими в країнах Європейського Союзу та широко використовуються в сертифікації та технічному аналізі обладнання. Вони забезпечують уніфікований підхід до тестування продуктивності, дозволяють порівнювати між собою різні моделі та бренди, а також гарантують відповідність мінімальним енергетичним вимогам, які встановлюють регуляторні органи.

В Україні ці стандарти адаптовано через ДСТУ EN 14511, що дозволяє забезпечити гармонізацію національного законодавства з європейським і сприяє розвитку внутрішнього ринку теплових насосів. Аналіз положень згаданих стандартів є необхідним етапом у межах даної роботи, оскільки він дає змогу чітко зрозуміти, за якими критеріями має оцінюватися якість теплового насоса типу «повітря–вода», які параметри слід враховувати під час випробувань та які вимоги ставляться до випробувального обладнання й точності вимірювань.

Таким чином, розгляд змісту EN 14511, EN 14825 та ДСТУ EN 14511 є важливою передумовою для подальшої розробки власної методики випробувань у межах цієї бакалаврської роботи.

### **Випробування відповідно до EN 14511-3:2022**

Стандарт EN 14511-3:2022 є третім розділом комплексу європейських нормативів, які регламентують вимоги до кондиціонерів повітря, чилерів та теплових насосів із компресорами, що працюють від електромережі. У цій частині викладено методи випробувань, призначені для визначення основних експлуатаційних параметрів обладнання, зокрема теплової та холодильної потужності, а також здатності до рекуперації тепла.

Цей документ застосовується при обов'язковій сертифікації такого обладнання на території країн Європейського Союзу відповідно до діючих нормативних актів ЄС (зокрема регламентів 206/2012, 626/2011, 813/2013, 811/2013, 2015/1095 і 2016/2281), що стосуються вимог до екодизайну й енергоефективності [17].

Розділ 4 даного документа детально описує процедури визначення продуктивності обладнання. Передбачено три основні підходи до оцінки:

- для повітряних систем – вимірювання виконують за допомогою калориметричної камери (рис. 2.1.) або через метод повного ентальпійного балансу (рис 2.2.). У обох випадках важливо дотримуватися стабільності умов на вході/виході повітряних потоків, контролю вологості, температур і швидкості повітря. Для визначення охолоджувальної або теплової потужності враховується також тепла дія вентилятора внутрішнього блоку

- для систем, що працюють з рідиною (вода або розсіл) – використовують метод визначення потужності на основі різниці ентальпії на вході і виході внутрішнього або зовнішнього теплообмінника. Всі значення розраховуються на основі вимірювання температури, витрати теплоносія та питомої теплоємності для рекупераційних пристроїв – окрема методика з урахуванням теплообміну через третій контур.

Виміряна тепла потужність нагріву,  $\phi_{thi}$ , визначається за формулою 2.1 [4]:

$$\phi_{thi} = q_v \times \rho \times (c_{p\_out} \times t_{out} - c_{p\_in} \times t_{in}) \quad (2.1)$$

де:  $\phi_{thi}$  - тепла потужність нагріву (W)

$q_v$  - об'ємна витрата повітря (м<sup>3</sup>/с)

$\rho$  - густина повітря (кг/м<sup>3</sup>)

$c_{p\_out}, c_{p\_in}$  - — питома теплоємність повітря на виході/вході (Дж/(кг·К))

$t_{out}, t_{in}$  - температура повітря на виході/вході (°C або K).

Виміряна тепла потужність рекуперації,  $\phi_{hr}$ , визначається за формулою 2.2 [4]:

$$\phi_{hr} = q_{v\_hr} \times \rho_{hr} \times (c_{p\_hr\_out} \times t_{hr\_out} - c_{p\_hr\_in} \times t_{hr\_in}) \quad (2.2)$$

де:  $\phi_{hr}$  - тепла потужність рекуперації (W)

$q_{v\_hr}$  - об'ємна витрата повітря в контурі рекуперації ( $\text{м}^3/\text{с}$ )

$\rho_{hr}$  - густина повітря в контурі рекуперації ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )

$c_{p\_hr\_out}$ ,  $c_{p\_hr\_in}$  - питома теплоємність повітря в рекуперації на виході/вході ( $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ )

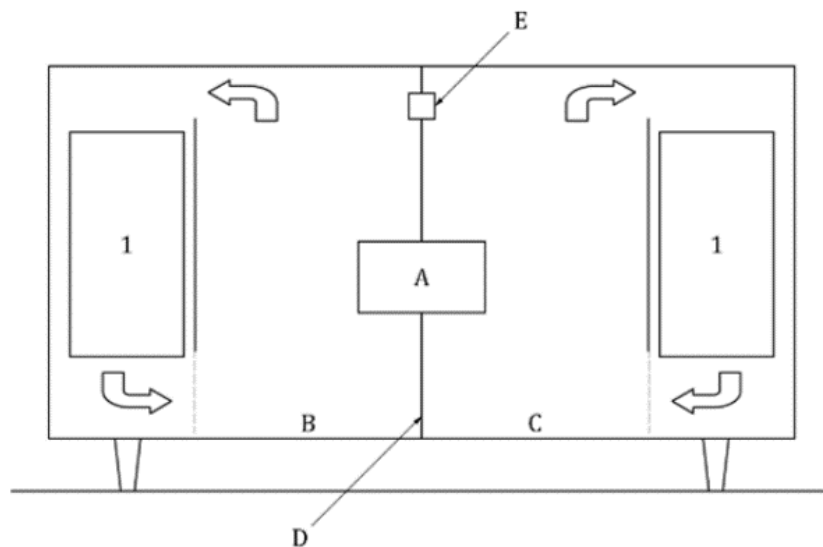
$t_{hr\_out}$ ,  $t_{hr\_in}$  - температура повітря в рекуперації на виході/вході ( $^{\circ}\text{C}$  або  $\text{K}$ )

Примітки:

1. Швидкість масової витрати може бути визначена безпосередньо замість добутку ( $q_{v\_hr} \times \rho$ ).

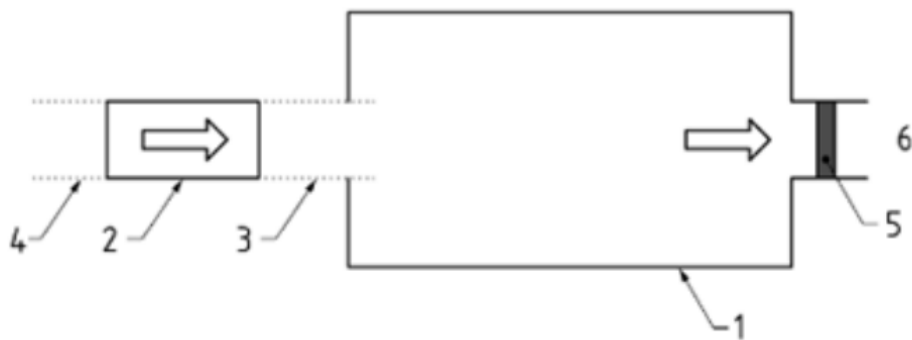
2. Можна безпосередньо використовувати питому ентальпію  $H$  замість добутку ( $c_p \times t$ ) [17].

Окремо регламентовано поправки до результатів, пов'язані з енерговнеском допоміжних компонентів – зокрема, вентиляторів і насосів. Ці поправки необхідно враховувати для отримання точних і репрезентативних даних [6].



- А – обладнання, що випробовується (у цьому прикладі – моноблочний повітря-повітряний агрегат)
- В – внутрішнє приміщення
- С – зовнішнє приміщення
- Д – роздільна перегородка
- Е – система вирівнювання тиску
- 1 – установка для рекуперації повітря

Рисунок 2.1 - Приклад каліброваного амбітного двокімнатного калориметра (установки типу «double room calorimeter», яка використовується для випробувань систем кондиціонування повітря) [17]



- 1 – камера викиду повітря
- 2 – обладнання, що випробовується
- 3 – канал/пленум для подачі повітря
- 4 – вхідний повітропровід
- 5 – змішувач
- 6 – до відбірника проб повітря та приладу вимірювання витрати повітря

Рисунок 2.2 – Схематичне зображення установки для випробування каналних моноблочних та спліт-систем [17]

Щоб забезпечити достовірність результатів, вимірювальні засоби, що використовуються під час випробувань, повинні відповідати встановленим нормам точності. Так, для термодатчиків допускається граничне відхилення не більше ніж  $\pm 0,5$  °C. Витратоміри, які застосовуються для визначення об'ємної або масової витрати повітря чи рідини, повинні мати точність, що не перевищує похибку  $\pm 2$  %. У випадку вимірювання споживаної електроенергії, похибка приладів не має перевищувати  $\pm 1$  % від істинного значення [17].

Після запуску установки перед початком знімання показників необхідно дотриматись стабілізаційного періоду, який становить щонайменше 15 хвилин. Це дозволяє системі вийти на усталений тепловий і динамічний режим, що унеможливує викривлення результатів через перехідні процеси [17].

Крім технічних характеристик засобів вимірювання, обов'язковою умовою є стабільність зовнішніх параметрів. Зокрема, температура повітря в приміщенні, відносна вологість, атмосферний тиск і напруга електроживлення повинні залишатися в межах допусків протягом усього часу випробування. Зміни цих величин можуть суттєво вплинути на роботу системи, тому їх необхідно контролювати та зафіксувати у звіті.

Значення стандарту EN 14511-3:2022 у практичному застосуванні важко переоцінити. Він є базовим документом, на який спираються під час проведення лабораторних випробувань теплонасосного обладнання. Його використання дозволяє забезпечити:

- єдиний і чітко визначений підхід до вимірювання теплової та холодильної потужності пристроїв різних типів;
- можливість коректного зіставлення результатів, отриманих у різних лабораторіях або на підприємствах-виробниках;
- врахування впливу допоміжного обладнання (вентиляторів, насосів тощо) на кінцеві значення продуктивності;
- узгодженість з іншими нормативними документами, зокрема EN 14825, що регламентує оцінку сезонної ефективності.

Завдяки цьому стандарту можна створювати власні методики випробувань, оформлювати технічну документацію для обладнання та проводити фахову оцінку його енергетичних показників у контексті відновлюваних джерел енергії та систем тепlopостачання й кондиціонування.

### **Випробування відповідно до EN 14825**

Стандарт EN 14825:2022 визначає правила проведення випробувань і методику обчислення сезонної енергоефективності обладнання, до якого належать кондиціонери, чилери та теплові насоси з електричним компресором. Таке обладнання застосовується як для опалення й охолодження приміщень, так і для потреб комерційного чи технологічного охолодження. [6]

Для того щоб розрахунок SCOP теплового насоса був максимально точним і відповідав нормативним вимогам, потрібно дотримуватись чіткої послідовності дій, яка передбачена відповідними європейськими стандартами, зокрема EN 14825.

Перш за все, необхідно визначити кліматичну зону, в якій планується встановлення теплового насоса. Кожна зона має свій типовий температурний профіль, що відображає погодні умови протягом опалювального або охолоджувального сезону. Цей профіль слугує основою для подальших розрахунків.

Наступним кроком є збір інформації про технічні характеристики теплового насоса. Йдеться, зокрема, про значення COP (коефіцієнта перетворення енергії) за різних температур навколишнього повітря. Такі дані, як правило, надаються виробником у технічній документації або у звітах про лабораторні випробування.

Далі проводиться серія тестів, які моделюють реальні умови експлуатації теплового насоса. Під час цих випробувань вимірюється теплова потужність пристрою та споживання електроенергії за температур, характерних для конкретної кліматичної зони. Це дозволяє отримати об'єктивну оцінку ефективності роботи системи при різних навантаженнях.

Після цього для кожної температурної точки з профілю обчислюється зважене значення COP: отриманий показник перемножується на коефіцієнт тривалості (тобто частку сезону, протягом якої температура перебуває на відповідному рівні). Підсумувавши всі ці зважені значення, отримуємо сезонний коефіцієнт продуктивності SCOP. [6]

Варто зазначити, що виконання подібних розрахунків потребує спеціального обладнання, практичного досвіду і знання методик стандартизованих випробувань. Тому такі вимірювання, як правило, проводять виробники обладнання або незалежні сертифікаційні організації.

Аналіз стандартів EN 14511-3:2022 та EN 14825:2022 засвідчує високий рівень деталізації та наукової обґрунтованості сучасних методик випробувань теплових насосів. Вони охоплюють як базові параметри продуктивності, так і складні розрахунки сезонної ефективності, враховуючи реальні умови експлуатації. Ці документи не лише уніфікують підходи до вимірювання і розрахунків, але й забезпечують об'єктивність у порівнянні різних моделей обладнання, дозволяючи приймати зважені техніко-економічні рішення. Їх практичне значення полягає в тому, що вони формують базу для сертифікації, визначення відповідності вимогам екодизайну та енергоефективності, а також є підґрунтям для розвитку національних стандартів, таких як ДСТУ EN 14511.

У межах цієї бакалаврської роботи розгляд згаданих стандартів є особливо важливим, адже саме вони дають змогу зрозуміти, які показники необхідно враховувати під час перевірки теплових насосів типу «повітря–вода», за яких

умов мають проводитись випробування та яке обладнання для цього потрібне. Вивчення цих документів створює підґрунтя для розробки власного підходу до оцінювання, що відповідатиме специфіці дослідження.

### **Сертифікація Keuemark**

KEYMARK — це добровільний європейський знак якості для продукції та послуг, що підтверджує відповідність європейським стандартам (EN). Його засновниками є організації стандартизації CEN та CENELEC, а видають його уповноважені сертифікаційні органи.

Система була створена у 1993–1994 роках на рекомендацію Ради Європи з метою посилення захисту споживачів та зменшення плутанини через велику кількість різних маркувань.

Для споживачів KEYMARK — це гарантія перевіреної та сертифікованої якості, підтвердженої незалежною третьою стороною. Він також доповнює обов'язкове маркування CE, підвищуючи рівень довіри до продукції в усій Європі.

Сертифікація KEYMARK відкриває виробникам нові можливості для продажів і виходу на ринок ЄС. Її можна отримати для будь-якої продукції чи послуги, яка відповідає чинному європейському стандарту та пройшла перевірку незалежними експертами. [46]

Добровільна сертифікація KEYMARK є значно простішою, ніж може здатися на перший погляд, і включає лише три основні етапи.

Перший етап — це подання заявки. Виробник, який зацікавлений у тому, щоб його продукція або послуга отримала знак KEYMARK, звертається до уповноваженого сертифікаційного органу. У заявці зазначається, яку саме продукцію планується сертифікувати, а також надається технічна документація, що підтверджує відповідність вимогам європейських стандартів (EN), опис системи контролю якості, характеристика виробництва тощо.

Другий етап передбачає початкову інспекцію та типові випробування (Initial Type Test, ІТТ). На цьому етапі проводиться аудит виробництва, під час якого сертифікаційний орган перевіряє, чи налагоджена на підприємстві система внутрішнього контролю якості (Factory Production Control), з урахуванням

принципів стандарту EN ISO 9001. Під час інспекції відбираються зразки продукції, які потім передаються до незалежної випробувальної лабораторії. Там вони проходять випробування згідно з відповідним європейським стандартом.

На третьому етапі, після того як результати випробувань та інспекції підтвердять відповідність продукції встановленим вимогам, сертифікаційний орган ухвалює рішення про надання сертифіката. Виданий сертифікат є підтвердженням якості продукції та одночасно слугує ліцензією на використання знака KEYMARK. Ця ліцензія є іменною, її не можна передавати третім особам. Таким чином, KEYMARK гарантує, що продукція відповідає стандартам ЄС і пройшла незалежну експертизу. [60]

## **2.2. Вимоги до обладнання для випробувань теплових насосів**

Проведення якісних і достовірних випробувань теплових насосів типу «повітря–вода» можливе лише за умови суворого дотримання технічних та організаційних вимог, визначених у відповідних міжнародних стандартах. Найбільш повні вимоги викладено у стандартах EN 14511-1-4:2022 [5] та EN 14825:2022 [13], що охоплюють методики випробувань, режими роботи, класифікації температурних умов і сезонні показники ефективності. Крім того, контроль якості, простежуваність результатів та лабораторна компетентність регламентуються положеннями ISO/IEC 17025:2017 [14].

### **Кліматичні умови випробувального середовища**

Температурний режим у випробувальному середовищі має бути стабільним і контрольованим у межах діапазону від  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$  із похибкою не більше  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Це забезпечує можливість моделювання роботи теплового насоса у стандартних точках, передбачених у EN 14511-2:2022, розділ 6.2 [17]. Контроль вологості має здійснюватися згідно з додатком С стандарту EN 14825:2022 [6], де зазначено класифікаційні діапазони А, В і С відповідно до реальних кліматичних зон.

Для забезпечення рівномірного розподілу повітряного потоку в зоні забору та викиду необхідно застосовувати направляючі решітки, дефлектори та

контрольні анемометри. Приміщення має бути термічно ізольованим та мати захист від сонячного випромінювання та протягів.

### **Гідравлічні системи та теплообмінне обладнання**

Випробувальні стенди повинні містити гідравлічні контури з точним регулюванням витрати теплоносія. Згідно з EN 14511-3:2022, п. 6.5 [17], витратоміри мають мати клас точності не гірший за 2, а датчики температури – похибку не більше  $\pm 0,2$  °C.

Насосне обладнання повинно дозволяти регулювання гідравлічного режиму, у тому числі шляхом частотного керування обертами. Випробування за стандартом EN 14825 вимагають стабільної температури зворотного теплоносія протягом усього циклу вимірювання. Теплообмінники, що моделюють навантаження споживача, повинні відповідати вимогам ISO 5149 [11] та мати розрахункову площу теплообміну, визначену згідно з теплотехнічними розрахунками.

### **Контрольно-вимірювальні прилади**

До базового комплекту вимірювальної техніки належать:

- Температурні датчики – Pt100 (рис 2.3.) (клас точності 1, згідно з EN 60751), встановлюються у кожній критичній точці випробувального циклу ;
- Витратоміри – електромагнітні або ультразвукові, сертифіковані згідно з MID 2014/32/EU [1];
- Манометри – відповідно до EN 837-1 [8], клас точності не гірше 1.6;
- Лічильники електроенергії – згідно з EN 62053-21 [7], клас точності 1.0;
- Аналізатори мережі – для вимірювання потужності, напруги, гармонік та коефіцієнта потужності;
- Датчики вологості – з класом точності  $\pm 2$  % RH.



Рисунок 2.3 – Зображення датчика температури Pt100 150 мм -50...+200°C [57]

Період вимірювання даних повинен бути не рідше одного разу на 10 секунд відповідно до EN 14511-4:2022, Додаток А.2 [17].

### **Система збору та обробки даних**

Збір усіх показників повинен здійснюватись автоматично через інтегровану систему DAS (Data Acquisition System), яка відповідає вимогам простежуваності, повторюваності та валідації згідно з ISO/IEC 17025:2017 [14]. Усі параметри мають архівуватись і бути доступними для подальшої аналітичної обробки. Платформа повинна підтримувати експорт даних у форматах CSV, XML, XLSX та PDF з цифровими підписами.

### **Калібрування та повірка**

Усі вимірювальні прилади, що застосовуються у процесі випробувань, підлягають обов'язковому регулярному калібруванню згідно з положеннями стандарту ISO 10012:2003 [10]. Це стосується як термометричних датчиків, витратомірів, манометрів, так і засобів обліку електроенергії, аналізаторів мережі та цифрових реєстраторів. Кожен вимірювальний канал повинен мати актуальний сертифікат калібрування, виданий акредитованим метрологічним центром, що підтверджує відповідність приладу встановленим метрологічним характеристикам.

Калібрування має проводитись з використанням еталонного обладнання, яке має безперервну простежуваність до міжнародних або національних еталонів. Результати калібрування повинні фіксуватись у вигляді електронного звіту у форматі PDF з накладенням цифрового підпису відповідальної особи та органу калібрування. Такий формат забезпечує юридичну силу документа та його достовірність при подальших перевірках або аудиторських процедурах.

Частота калібрувань визначається внутрішнім регламентом випробувальної лабораторії відповідно до політики забезпечення якості та типу застосованих засобів вимірювальної техніки, проте не повинна перевищувати 12 місяців. У разі інтенсивного навантаження або виявлення відхилень під час міжвипробувальних перевірок може бути встановлено скорочений інтервал повторного калібрування. Повірка обладнання, що підлягає законодавчому

контролю (наприклад, витратоміри, електролічильники), виконується відповідно до національних вимог у сфері метрології.

### **Захисні та допоміжні системи**

Для забезпечення безпеки персоналу, надійності результатів випробувань та захисту обладнання від небажаних впливів лабораторні установки мають бути обладнані повним комплектом захисних та допоміжних систем. Ці елементи повинні відповідати чинним міжнародним стандартам безпеки й експлуатації. Зокрема:

- Пристрої аварійного вимкнення. Вони повинні бути доступні з робочих зон і дозволяти миттєво припинити роботу обладнання у разі аварійної ситуації.
- Системи виявлення витоків холодоагенту. До складу системи входять чутливі газоаналізатори, які автоматично подають сигнал тривоги та активують аварійні протоколи у разі виявлення концентрацій, що перевищують допустимий поріг.
- Віброізоляційні платформи. Такі елементи мінімізують вплив вібрацій від зовнішніх джерел або самого теплового насоса на точність вимірювань.
- Системи заземлення та фазового контролю, які гарантують стабільну роботу електричних контурів, захист персоналу від ураження струмом, а також запобігання виникненню пошкоджень через помилки у фазуванні або перенапруги. Рекомендується застосування автоматичних індикаторів перекосу фаз, фільтрів імпульсних перешкод та обмежувачів перенапруг.
- Резервні джерела живлення (UPS), що забезпечують безперебійну роботу систем збору даних, контролерів і основного програмного забезпечення. Мінімальний час автономної роботи має покривати принаймні 30 хвилин без живлення мережі для коректного завершення випробування або збереження даних у разі раптового відключення.

У сукупності ці системи є невід'ємною частиною сучасної випробувальної інфраструктури та забезпечують відповідність лабораторії вимогам ISO/IEC 17025:2017 [13], а також безпечне середовище для роботи персоналу й точність експериментальних результатів.

### 2.3. Розробка методики випробувань з урахуванням метрологічних аспектів

Методика випробувань теплового насоса типу «повітря–вода» повинна базуватись на вимогах і принципах, закріплених у міжнародних стандартах EN 14511, EN 14825, ISO/IEC 17025 та ISO 10012. Зокрема, мова йде про створення систематизованої, уніфікованої та відтворюваної процедури, що дозволяє не лише отримувати достовірні значення технічних параметрів обладнання, а й забезпечує їх метрологічну підтвердженість та відповідність загальноприйнятим критеріям якості.

З урахуванням метрологічних аспектів, розроблена методика повинна гарантувати:

- контроль впливу похибок засобів вимірювальної техніки;
- забезпечення безперервного ланцюга калібрувань кожного вимірювання з підтвердженням його відповідності національним або міжнародним еталонам;
- забезпечення єдності та відтворюваності результатів за різних умов тестування;
- застосування стандартизованих процедур збору, обробки та зберігання даних;
- відповідність принципам належної лабораторної практики (GLP).

У рамках процедури випробування перевіряються основні показники ефективності та функціональності теплового насоса. Серед них:

- **теплова потужність (P<sub>heat</sub>)** — визначає кількість тепла, яку система здатна передати у водяний контур за одиницю часу при заданих умовах;
- **електрична потужність споживання (P<sub>el</sub>)** — вказує на рівень енергоспоживання обладнання в процесі роботи;
- **коефіцієнт продуктивності (COP)** — співвідношення між виробленою тепловою потужністю та спожитою електричною енергією, ключовий індикатор енергоефективності;

- **сезонний коефіцієнт продуктивності (SCOP)** — розраховується відповідно до EN 14825 з урахуванням реальних кліматичних умов протягом опалювального періоду;

- **стабільність температурного режиму** — перевіряється здатність насоса підтримувати задану температуру теплоносія без значних коливань;

- **робочий діапазон температур** — тестується відповідність обладнання заявленим межам експлуатаційних температур;

- **швидкодія системи** — визначає, наскільки оперативно тепловий насос реагує на зміну навантаження або вхідних параметрів;

- **рівень шуму** — оцінюється відповідно до нормативних вимог, особливо для обладнання, призначеного для встановлення в житлових зонах;

- **надійність і стабільність роботи в динамічних режимах** — зокрема при частому запуску/зупинці, перемиканні режимів та змінних температурах зовнішнього повітря.

Таким чином, методика є не просто технічною інструкцією з тестування, а інструментом підтвердження відповідності теплового насоса заявленим експлуатаційним характеристикам з урахуванням усіх аспектів метрологічної достовірності результатів.

Нижче подано всі основні етапи методики випробувань з урахуванням метрологічних аспектів (рис2.4).

# Методика випробувань з урахуванням метрологічних аспектів

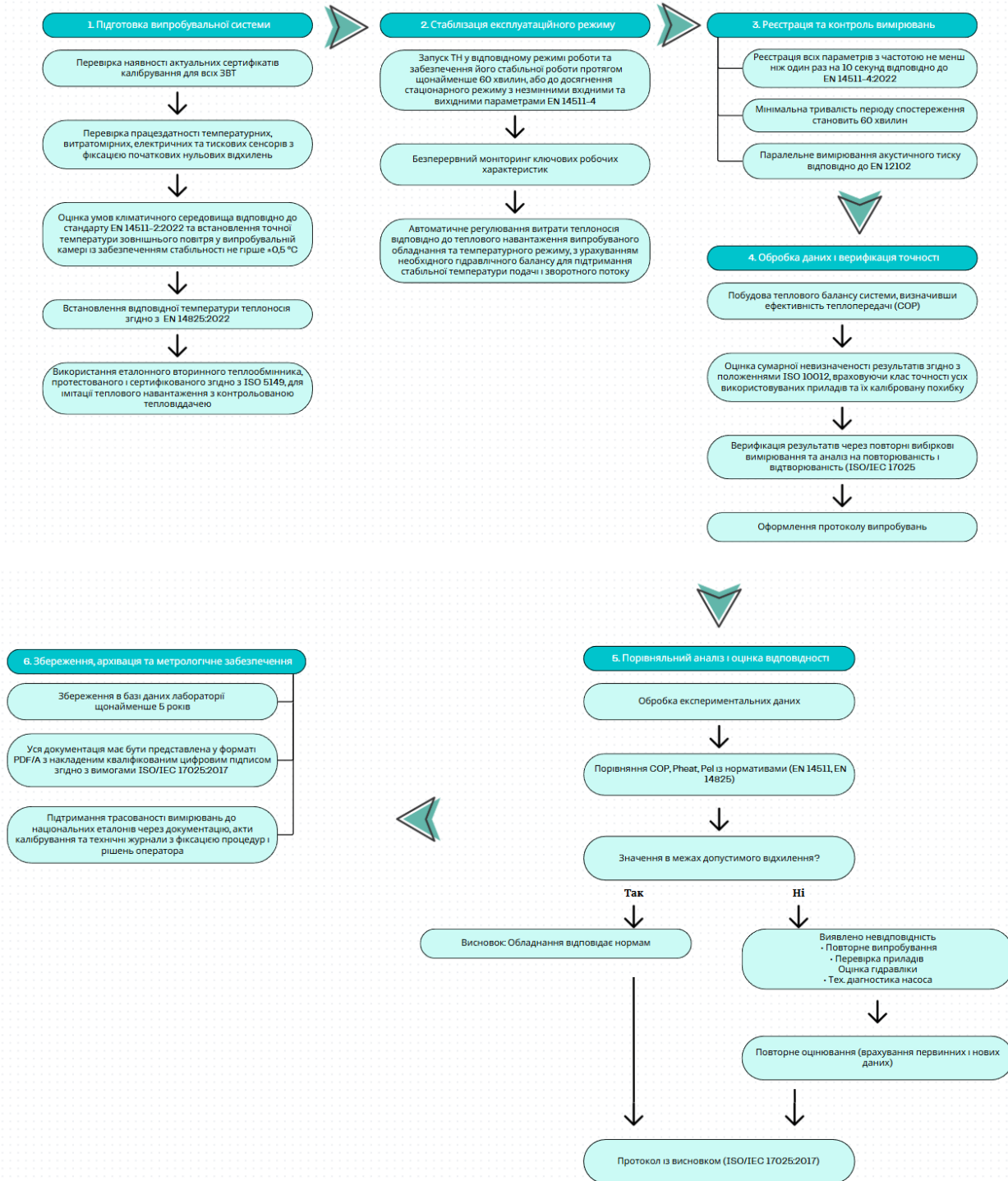


Рисунок 2.4. – Схематичне відображення етапів проведення методики випробувань теплових насосів

## **1. Підготовка випробувальної системи**

Першим етапом є всебічна підготовка випробувального комплексу, що включає в себе підтвердження придатності вимірювального обладнання, перевірку відповідності лабораторного середовища та технічного стану допоміжних систем. Згідно з вимогами стандартів ISO/IEC 17025:2017 [14] та ISO 10012:2003 [10], необхідно:

- Перевірити наявність актуальних сертифікатів калібрування для всіх засобів вимірювальної техніки, з обов'язковим зазначенням похибки вимірювання та простежуваності до національних або міжнародних еталонів;
- Провести функціональні випробування (перевірку працездатності) температурних, витратомірних, електричних та тискових сенсорів з фіксацією початкових нульових відхилень і коригуванням за потреби;
- Провести оцінку умов кліматичного середовища відповідно до розділу 6.2 стандарту EN 14511-2:2022 [3] – встановити точну температуру зовнішнього повітря у випробувальній камері та забезпечити стабільність не гірше  $\pm 0,5$  °C;
- Встановити відповідну температуру теплоносія згідно з методикою часткового навантаження, викладеною у EN 14825:2022 [6], включаючи контроль температури на вході та виході з теплообмінника;
- Використати еталонний вторинний теплообмінник, протестований і сертифікований згідно з ISO 5149 [11], для імітації теплового навантаження з контрольованою тепловіддачею.

## **2. Стабілізація експлуатаційного режиму**

Перед початком реєстрації даних необхідно:

- Запустити тепловий насос у відповідному режимі роботи (наприклад, «опалення») та забезпечити його стабільну роботу протягом щонайменше 60 хвилин, або до досягнення стаціонарного режиму з незмінними вхідними та вихідними параметрами (див. EN 14511-4 [6]);
- Здійснювати безперервний моніторинг ключових робочих характеристик, зокрема: температури подачі й зворотного теплоносія, перепаду тиску, електроспоживання, параметрів навколишнього середовища;

- Забезпечити автоматичне регулювання витрати теплоносія відповідно до теплового навантаження випробуваного обладнання та температурного режиму, з урахуванням необхідного гідравлічного балансу для підтримання стабільної температури подачі і зворотного потоку. Розрахунок витрати теплоносія має здійснюватися виходячи з потужності теплового насоса та різниці температур на вході та виході теплообмінника ( $\Delta T$ ), із дотриманням рекомендованих інженерних практик для водяних контурів.

### **3. Реєстрація та контроль вимірювань**

Після стабілізації режиму розпочинається вимірювальний цикл:

- Всі параметри повинні реєструватися з частотою не менш ніж один раз на 10 секунд відповідно до EN 14511-4:2022, Додаток A.2 [4];
- Мінімальна тривалість періоду спостереження становить 60 хвилин, з подальшим статистичним усередненням параметрів, щоб виключити вплив короткочасних флуктуацій;
- За потреби проводиться паралельне вимірювання акустичного тиску (рівня шуму) відповідно до EN 12102 [2], а також реєстрація температури навколишнього середовища для розрахунку поправок.

### **4. Обробка даних і верифікація точності**

- Побудувати тепловий баланс системи, визначивши ефективність теплопередачі (COP) як відношення теплової потужності до спожитої електричної енергії;
- Провести оцінку сумарної невизначеності результатів згідно з положеннями ISO 10012 [10], враховуючи клас точності усіх використовуваних приладів та їх калібровану похибку;
- Верифікувати результати через повторні вибіркові вимірювання та аналіз на повторюваність і відтворюваність (див. ISO/IEC 17025);
- Оформити протокол випробувань, підписаний відповідальною особою з кваліфікацією, підтвердженою в рамках системи менеджменту якості

лабораторії, із включенням цифрового підпису для забезпечення юридичної сили.

## **5. Порівняльний аналіз і оцінка відповідності**

Після завершення вимірювального циклу та обробки експериментальних даних здійснюється порівняльний аналіз одержаних технічних показників із нормативно встановленими значеннями. Основна мета цього етапу — визначити, наскільки випробуване обладнання відповідає критеріям ефективності, передбаченим чинними міжнародними стандартами.

Згідно з вимогами EN 14511-3:2022 [17], перевірки підлягають такі основні параметри:

- коефіцієнт продуктивності (COP) — відношення теплової потужності до спожитої електричної енергії;
- теплова потужність (P<sub>heat</sub>) — фактична кількість тепла, переданого системою за певний проміжок часу;
- електричне споживання (P<sub>el</sub>) — загальна активна потужність, що споживається обладнанням під час роботи у визначеному режимі.

Одержані значення COP, P<sub>heat</sub> та P<sub>el</sub> зіставляються з нормативними показниками, наведеними у таблицях стандартів EN 14511 (частини 2 і 3) [17], та EN 14825:2022, відповідно до температурного профілю, що застосовувався при випробуванні (наприклад, середній клімат, згідно з Додатком А EN 14825 [6]).

У разі, якщо хоча б один із контрольованих показників виходить за межі допустимих відхилень, встановлених у п. 6.5 стандарту EN 14511-3:2022, це розцінюється як невідповідність, що потребує додаткової технічної оцінки.

У такому випадку ініціюється поглиблене розслідування причин невідповідності. Передусім здійснюється повторний запуск випробування з уточненими параметрами, зокрема коригується температура і витрата повітря або теплоносія відповідно до умов експлуатації. Паралельно проводиться технічна перевірка вимірювального обладнання, з метою виключення похибок у каналах температури, тиску або витрати.

Крім того, виконується оцінка гідравлічного балансу — перевіряється рівномірність циркуляції, відповідність витрат заданим умовам, а також забезпечується стабільність температур подачі та зворотного потоку. За результатами оцінки, у разі потреби, здійснюється коригування конфігурації трубопроводів, насосного обладнання або терморегулювальної арматури.

Обов'язковою складовою є також технічна діагностика теплового насоса: проводиться аналіз роботи компресора, теплообмінників, вентиляторів, автоматики. Визначається, чи є зниження ефективності наслідком внутрішніх дефектів або зносу елементів. У разі виявлення критичних порушень конструктивного або функціонального характеру, обладнання може бути визнане непридатним для експлуатації, про що робиться відповідна помітка у протоколі.

Якщо ж після усіх коригувальних дій обладнання проходить повторну перевірку успішно, його технічні характеристики перераховуються з урахуванням нових вхідних даних, і проводиться остаточне оцінювання відповідності.

Висновок про відповідність або невідповідність формується за результатами повторного випробування, ураховуючи результати первинного тесту, оцінку невизначеності та технічні коригування, проведені в рамках процедури. Усі зміни та додаткові випробування мають бути документовані згідно з вимогами ISO/IEC 17025:2017 у доповненому протоколі випробувань.

## **6. Збереження, архівація та метрологічне забезпечення**

- Всі експериментальні дані, протоколи випробувань, цифрові сертифікати калібрування та графіки результатів повинні зберігатися в базі даних лабораторії щонайменше 5 років;

- Уся документація має бути представлена у форматі **PDF/A** з накладеним **кваліфікованим цифровим підписом** згідно з вимогами **ISO/IEC 17025:2017** [14], що забезпечує достовірність, захищеність та юридичну верифікацію результатів випробувань;

- Підтримання **повної трасованості вимірювань** до еталонів національного рівня через відповідну документацію, супровідні акти калібрування, а також технічні журнали з реєстрацією процедур випробування та інтерпретаційних рішень оператора.

Ця методика забезпечує відповідність процедури випробування міжнародним нормам і дозволяє інтегрувати її до системи управління якістю відповідно до ISO 9001 [12].

Ефективність і об'єктивність оцінки технічних характеристик теплового насоса типу «повітря–вода» безпосередньо залежать від рівня технічного оснащення випробувальної лабораторії, дотримання метрологічної дисципліни та застосування уніфікованої методики, узгодженої з вимогами міжнародних стандартів. Правильна організація кліматичних, гідравлічних і електричних умов, а також відповідний рівень точності вимірювального обладнання, гарантують достовірність отриманих результатів і їхню придатність для подальшого використання у сертифікаційних, наукових чи проєктно-інженерних цілях. Розроблена методика випробувань з урахуванням метрологічних аспектів є важливою основою для стандартизації підходів до оцінки якості теплонасосного обладнання в сучасній практиці енергоефективного будівництва.

#### **2.4. Аналіз невизначеності вимірювань**

Невизначеність вимірювань є невід'ємною характеристикою кожного результату випробувань і відіграє ключову роль у підтвердженні технічної надійності, правомірності та повторюваності результатів. Вона визначає діапазон значень, в якому з високою ймовірністю знаходиться істинне значення вимірюваної величини, з урахуванням усіх джерел впливу — від технічних і методичних до людського фактора. Згідно з положеннями міжнародних стандартів ISO/IEC 17025:2017 (розділи 7.6 і 7.7) [43] та ISO 10012:2003 (розділи 7.3–7.5) [10], будь-яке значення, що подається у протоколі випробувань, повинно бути обґрунтоване відповідною кількісною оцінкою його невизначеності. Це

дозволяє не лише забезпечити достовірність і простежуваність результатів, а й здійснювати їх інтерпретацію в межах установлених технічних допусків, приймати обґрунтовані рішення щодо відповідності обладнання вимогам нормативної документації, а також гарантувати взаємну довіру між лабораторіями, сертифікаційними органами та споживачами технічної інформації.

### **1. Ідентифікація джерел невизначеності**

На цьому етапі визначаються всі можливі чинники, які можуть вплинути на точність вимірювань. До них відносяться:

- технічні характеристики засобів вимірювальної техніки (класи точності, нестабільність, дрейф);
- умови навколишнього середовища (температура, вологість, атмосферний тиск);
- методологія проведення випробувань (алгоритми усереднення, тривалість вимірювального циклу);
- взаємодія елементів системи (теплові втрати, паразитні потоки);
- людський фактор (операторські впливи, суб'єктивність зчитування, неправильна інтерпретація результатів).

### **2. Класифікація типів невизначеності**

Всі складові невизначеності класифікуються на два типи:

- **Тип А** – оцінка на основі статистичного аналізу серії незалежних вимірювань, наприклад, стандартне відхилення середнього значення;
- **Тип В** – оцінка на основі зовнішньої інформації, такої як сертифікати калібрування, технічна документація, досвід оператора, значення з попередніх досліджень або еталонні джерела.

### **3. Кількісна оцінка невизначеності**

Виконується обчислення стандартної невизначеності для кожної складової. Якщо складові незалежні, то об'єднана стандартна невизначеність обчислюється

як корінь квадратний із суми квадратів окремих стандартних невизначеностей.

Після цього обчислюється розширена невизначеність:

$$U = k \times uc, \quad (2.3)$$

де:

$U$  — розширена невизначеність,

$k$  — коефіцієнт охоплення (часто приймається  $k = 2$  для довірчої ймовірності 95 %),

$uc$  — об'єднана стандартна невизначеність. [15]

#### **4. Документування результатів**

Усі результати вимірювань, що фігурують у протоколах випробувань, мають супроводжуватися відповідною кількісною оцінкою невизначеності.

Висвітлення результатів здійснюється у форматі [15]:

$$X = x \pm U [\text{одиниці}, P = 95 \%]. \quad (2.4)$$

Також доцільно складати таблиці невизначеностей, у яких наводяться:

- джерела впливу,
- метод оцінки (тип А чи В),
- значення стандартної невизначеності,
- функція чутливості (у разі потреби),
- внесок у загальну невизначеність.

Формат таких таблиць та підхід до їх побудови регламентовано, зокрема, рекомендаціями ІЛАС-Р14 [9] .

#### **5. Інтерпретація результатів**

Результати вимірювань із розширеною невизначеністю застосовуються для:

- прийняття рішення щодо відповідності обладнання встановленим критеріям;
- проведення сертифікаційних оцінок;

- аналітичної перевірки допусків технічної документації;
- забезпечення достовірної передачі інформації між лабораторіями та замовниками.

У випадку, коли результат вимірювання перебуває близько до межі специфікації, наявність невизначеності потребує застосування принципів керування ризиками (згідно з ISO/IEC Guide 98-4 [15]), що дає змогу уникнути помилок першого та другого роду під час ухвалення технічних рішень.

Ретельний аналіз невизначеності вимірювань відіграє ключову роль у забезпеченні високої достовірності результатів випробувань, їх прийнятності на міжнародному рівні та відповідності критеріям, встановленим акредитаційними структурами. Повноцінне виявлення та документування усіх можливих джерел і типів невизначеності дозволяє надати глибоку оцінку точності вимірювань, сформувати надійну базу для технічних висновків і сприяти стабільній роботі лабораторії в межах сучасної системи технічного регулювання та сертифікації.

## ВИСНОВОК

У цьому розділі було розроблено чітку й послідовну методику випробувань теплового насоса типу «повітря–вода», яка дозволяє об'єктивно оцінити його ефективність, надійність та відповідність сучасним вимогам у сфері енергоощадного будівництва. Робота ґрунтується на аналізі ключових міжнародних стандартів — EN 14511, EN 14825, ISO/IEC 17025 і ISO 10012. Окремо було розглянуто, як ці документи можна практично застосовувати в умовах випробувальних лабораторій.

Визначено перелік основних характеристик, які необхідно перевіряти під час випробувань: це теплова потужність, електроспоживання, COP, SCOP, температурна стабільність, рівень шуму тощо. Велика увага приділена точності вимірювань — адже тільки при дотриманні метрологічних вимог можна довіряти отриманим результатам. Для цього передбачено використання каліброваних приладів, контроль умов навколишнього середовища та правильна обробка даних.

Методика охоплює всі необхідні етапи: від підготовки системи до аналізу результатів і висновків щодо відповідності обладнання нормативам. Важливим є й розділ, присвячений оцінці невизначеності — він допомагає розуміти, наскільки точними є результати, та чи можна на них спиратись у подальших рішеннях. У випадку виявлення відхилень запропоновано чітку послідовність дій — перевірки, корекції, повторні вимірювання.

Загалом, виконана робота не просто узагальнює вимоги стандартів, а й адаптує їх до реальної практики. Запропонована методика може стати основою для подальшого вдосконалення національних підходів до перевірки якості теплонасосного обладнання та підвищення рівня довіри до результатів таких випробувань у сфері відновлюваної енергетики.

## РОЗДІЛ 3

### ВИБІР ТЕПЛОВОГО НАСОСА НА ОСНОВІ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ

Правильний вибір теплового насоса є одним із найважливіших етапів при проектуванні або модернізації системи тепlopостачання будівлі. Саме від того, наскільки точно підібрана модель обладнання, залежить ефективність його роботи, рівень енергоспоживання, комфорт для користувачів і довговічність системи в цілому. Особливо це актуально в умовах зростання цін на енергоносії та переходу до більш екологічних джерел тепла.

Щоб тепловий насос працював не лише стабільно, але й економічно вигідно, він повинен відповідати реальним потребам об'єкта, враховувати кліматичні умови, тип системи опалення, особливості гарячого водopостачання та інші важливі параметри. Тому при виборі слід опиратися не тільки на технічні характеристики з каталогу, а й на результати розрахунків теплового навантаження, а також аналіз енергоефективності, який дозволяє оцінити фактичну продуктивність обладнання в конкретних умовах експлуатації.

У цьому розділі розглядається поетапний підхід до вибору теплового насоса для приватного будинку, що включає визначення потреби у тепловій енергії, аналіз показників якості та енергоефективності обладнання, а також порівняння можливих варіантів з урахуванням нормативних вимог і практичних міркувань. Такий підхід дозволяє не лише обрати найбільш доцільну модель, але й підвищити загальну енергетичну ефективність об'єкта та зменшити його вплив на довкілля.

### 3.1. Визначення потреб в тепловій енергії (опалення, гаряче водопостачання)

У цьому підрозділі ми розглянемо процес визначення теплових потреб для конкретного об'єкта, в нашому випадку це буде одноповерховий приватний житловий будинок, розташований в селі Микитинці Івано-Франківського району. Згідно з наданим планом (див. додаток А), загальна площа будівлі становить 140 м<sup>2</sup>. У будинку передбачено сучасне планування з житловими кімнатами, кухнею-студією, санвузлами, технічними приміщеннями та гаражем. Постійно в будинку проживатимуть двоє дорослих і двоє дітей.

Метою цього підрозділу є визначення необхідної теплової потужності для забезпечення комфортного опалення в холодний період року, а також покриття потреб гарячого водопостачання відповідно до способу життя мешканців та конструктивних особливостей будівлі. Отримані розрахункові значення надалі будуть використані для обґрунтованого вибору моделі теплового насоса.

Вихідні дані про цей об'єкт, необхідні для здійснення підрахунку отримані від замовника та подані в таблиці 3.1.

**Таблиця 3.1.** – Вихідні дані об'єкта

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Загальна площа	140 м <sup>2</sup>	Висота приміщень	2,7 м
Площа підлоги та даху	140 м <sup>2</sup>	Площа зовнішніх стін	129,6 м <sup>2</sup> (48 м × 2,7 м)
Периметр будинку	48 м	Площа вікон	19,4 м <sup>2</sup>
Площа вхідних дверей	4 м <sup>2</sup>		
Стіни	Газоблок товщиною 300 мм з утепленням мінеральною ватою 100мм. коефіцієнт теплопередачі ( $U \approx 0,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ )		
Покрівля	Скатна черепиця, утеплена мінеральною ватою товщиною 200 мм ( $U \approx 0,15 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ )		
Підлога	утеплена пінополістиролом товщиною 100 мм, ( $U \approx 0,3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ )		
Вікна	сучасні трикамерні енергоефективні склопакети ( $U \approx 1,0 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ )		

Продовження таблиці 3.1.

Опалення	система теплих підлог	Площа теплих підлог	120 м <sup>2</sup>
Температура подачі	35 °С	Температура зворотної лінії	30 °С
Бажана температура всередині приміщень	вдень – 22 °С, вночі – 20 °С.	Час перебування мешканців у будинку	переважно вранці, ввечері та вночі.
Вентиляція	ПВУ з рекуперацією тепла	Стандартна кратність повітрообміну	0,5
Об'єм приміщень	140 м <sup>2</sup> × 2,7 м = 378м <sup>3</sup>	Повітрообмін	378 м <sup>3</sup> × 0,5 × 24 год = 4 536 м <sup>3</sup> /добу
Кліматичні умови регіону	розрахункова температура зовнішнього повітря в опалювальний період становить – 16 °С [58]	Тривалість опалювального сезону	210 днів
<b>Потреба в гарячому водопостачанні</b>			
Кількість осіб, що проживатиме в будинку	4	Середнє споживання гарячої води	50 л/особу/добу → 200 л/день
Температура гарячої води	45 °С	Температура холодної води взимку	10 °С
ΔТ	35 °С		
Електрична потужність	15 кВт	Кількість фаз	3

На основі отриманих даних, буде здійснено розрахунок тепловтрат будівлі.

Тепловтрати через огорожувальні конструкції (стіни, дах, підлога, вікна, двері) розраховуються за формулою 3.1. [18]:

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (3.1.)$$

Де:  $Q$  — тепловтрати, Вт;

$U$  — коефіцієнт теплопередачі конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$A$  — площа конструкції, м<sup>2</sup>;

$\Delta T$  — різниця температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем, °С.

Отже, в нашому випадку  $\Delta T = t_{вн} - t_{зовн} = 38$  °С.

Розрахуємо тепловтрати через огорожувальні конструкції та вентиляцію.

### 1. Стіни

Площа ( $A$ ): 129,6 м<sup>2</sup>

Коефіцієнт теплопередачі ( $U$ ): 0,2 Вт/(м<sup>2</sup>·°С)

$$Q_{\text{стін}} = 0,2 \times 129,6 \times 38 \approx 985 \text{ Вт}$$

### 2. Дах

Площа ( $A$ ): 140 м<sup>2</sup>

Коефіцієнт теплопередачі ( $U$ ): 0,15 Вт/(м<sup>2</sup>·°С)

$$Q_{\text{дах}} = 0,15 \times 140 \times 38 \approx 798 \text{ Вт}$$

### 3. Підлога

Площа ( $A$ ): 140 м<sup>2</sup>

Коефіцієнт теплопередачі ( $U$ ): 0,3 Вт/(м<sup>2</sup>·°С)

$$Q_{\text{підлоги}} = 0,3 \times 140 \times 38 \approx 1596 \text{ Вт}$$

### 4. Вікна

Площа ( $A$ ): 19,4 м<sup>2</sup>

Коефіцієнт теплопередачі ( $U$ ): 1,0 Вт/(м<sup>2</sup>·°С)

$$Q_{\text{вікон}} = 1,0 \times 19,4 \times 38 \approx 737 \text{ Вт}$$

### 5. Двері

Площа ( $A$ ): 4 м<sup>2</sup>

Коефіцієнт теплопередачі ( $U$ ): 1,5 Вт/(м<sup>2</sup>·°С)

$$Q_{\text{дверей}} = 1,5 \times 4 \times 38 \approx 228 \text{ Вт}$$

У будинку встановлена припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією тепла. Для розрахунку врахуємо стандартну кратність повітрообміну 0,5.

$$\text{Об'єм будинку (V): } 140 \text{ м}^2 \times 2,7 \text{ м} = 378 \text{ м}^3$$

$$\text{Кратність повітрообміну (n): } 0,5$$

$$\text{Щільність повітря (\rho): } 1,2 \text{ кг/м}^3$$

$$\text{Питома теплоємність повітря (c): } 1\,005 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$$

$$Q_{\text{вент}} = 0,33 \times n \times V \times \Delta T$$

$$Q_{\text{вент}} = 0,33 \times 0,5 \times 378 \times 38 \approx 2\,367 \text{ Вт}$$

Загальні тепловтрати будинку становлять:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{стін}} + Q_{\text{дах}} + Q_{\text{підлоги}} + Q_{\text{вікон}} + Q_{\text{дверей}} + Q_{\text{вент}}$$

$$Q_{\text{заг}} = 984 + 798 + 1\,596 + 737 + 228 + 2\,367 \approx 6\,710 \text{ Вт}$$

Загальна потреба будівлі в тепловій енергії для покриття втрат через огорожувальні конструкції та вентиляцію в умовах розрахункової мінімальної зовнішньої температури становить орієнтовно **6,7 кВт**. Це значення є визначальним при підборі теплового насоса, оскільки саме на таку потужність має бути розраховане обладнання, аби забезпечити стабільне і ефективне опалення приміщень у періоди найбільшого теплового навантаження. Недостатня теплова потужність установки може призвести до зниження температурного комфорту в приміщеннях, а надмірна — до перевитрат енергії та нераціонального використання ресурсу системи. Тому врахування розрахункових тепловтрат є ключовим етапом у процесі технічно обґрунтованого вибору теплогенерувального обладнання.

### **3.2. Вибір оптимальної моделі теплового насоса на основі аналізу показників якості.**

Після проведення розрахунків і встановлення теплових втрат будівлі на рівні орієнтовно 6,7 кВт, наступним логічним етапом є технічно обґрунтований вибір моделі теплового насоса, здатної повністю покривати зазначене теплове навантаження. При цьому необхідно враховувати низку важливих чинників, зокрема — параметри експлуатації обладнання в конкретних кліматичних умовах, особливості проектної схеми системи опалення, яка базується на використанні водяної теплої підлоги з низькотемпературним гідравлічним режимом 35/30 °С, а також відповідність системи сучасним критеріям енергоефективності. Врахування цих аспектів дозволяє забезпечити стабільну та економічно доцільну роботу обладнання впродовж усього опалювального періоду.

Основними критеріями підбору є :

#### **1. *Номінальна теплова потужність (при $-7...-15$ °С)***

Реальна теплова потужність теплового насоса в умовах низьких температур є ключовим критерієм при його виборі. У реальних умовах експлуатації, коли температура зовнішнього повітря знижується до  $-15...-20$  °С, будівля зазнає максимальних теплових втрат. Відповідно, тепловий насос має бути здатний забезпечувати необхідну теплову потужність саме в цей критичний період. У протилежному випадку потужності обладнання буде недостатньо для підтримання комфортного мікроклімату, що може призвести до необхідності використання додаткових джерел тепла або до зниження температури в приміщенні до неприйняттого рівня.

Саме тому під час підбору обладнання необхідно орієнтуватися не на рекламні показники, а на фактичну потужність при розрахункових мінусових температурах. Теплова потужність обраного насоса повинна повністю покривати або дещо перевищувати теплові втрати будівлі — у нашому випадку це орієнтовно 6,7 кВт.

2. **COP (Coefficient of Performance)** — коефіцієнт перетворення теплової енергії

Це один із ключових показників ефективності теплового насоса, його було детально досліджено в розділі 2.

З практичної точки зору, цей показник безпосередньо впливає на рівень експлуатаційних витрат: чим вищий COP, тим нижче споживання електроенергії при однаковій тепловій потужності. Таким чином, насоси з високим коефіцієнтом перетворення є економічно доцільнішими в довгостроковій перспективі.

З огляду на це, доцільно обирати моделі з коефіцієнтом COP **не нижче 3,5** — саме такий рівень вважається мінімально прийнятним для забезпечення належної енергоефективності системи.

3. **SCOP (Seasonal COP)** — сезонна ефективність.

Для нашого будинку оптимальним є тепловий насос із **SCOP не менше 4,0**, щоб забезпечити ефективну й економну роботу впродовж усього опалювального сезону.

4. **Тип управління**

Інверторний тепловий насос автоматично регулює потужність залежно від теплового навантаження, працюючи плавно та без різких запусків. Така робота знижує споживання електроенергії, підвищує комфорт у приміщенні та подовжує ресурс компресора. Тому для нашого будинку нам потрібен саме інвертор.

5. **Наявність ГВП-модуля або можливість підключення бойлера непрямого нагріву;**

Щоденне споживання гарячої води створює додаткове теплове навантаження, яке також має бути враховане під час підбору теплового насоса.

Важливо, щоб обрана модель мала вбудований ГВП-модуль або була сумісна з бойлером непрямого нагріву. Це дозволяє ефективно нагрівати воду без окремого електричного бойлера з ТЕНОм, що зменшує загальні витрати, потребу в додатковому обладнанні та оптимізує простір у котельні.

6. **Рівень шуму, габарити, зручність обслуговування;**

Під час вибору теплового насоса слід враховувати не лише технічні характеристики, а й практичні аспекти експлуатації.

Обладнання працює цілий рік, тому рівень шуму зовнішнього блоку має бути мінімальним — надмірний шум може створити дискомфорт для мешканців. В нашому випадку **оптимальний рівень шуму зовнішнього блоку теплового насоса повинен бути не вищим за 50 дБ (А) на відстані 1 метра, адже це рівень звуку, подібний до спокійної розмови або шуму дощу, який не викликає дискомфорту навіть уночі.**

Габарити системи також мають значення, особливо за обмеженого простору для монтажу, наприклад, у технічному приміщенні. Тут ми не маємо обмежень за розмірами, оскільки місця для монтажу зовнішнього блоку теплового насоса достатньо.

#### **7. Гарантія, сервіс, доступність запчастин на українському ринку.**

Надійність роботи системи залежить не лише від якості обладнання, а й від доступності сервісного обслуговування.

Навіть висококласні теплові насоси потребують періодичного технічного огляду чи ремонту. Якщо в постачальника відсутня сервісна підтримка в Україні або запчастини доводиться чекати тижнями — це створює серйозні ризики для стабільної роботи системи.

Тому обирати бренд із офіційним сервісом у вашому регіоні — це не додаткова зручність, а необхідна умова довготривалої й безперебійної експлуатації.

#### **8. Економічні показники (вартість обладнання, монтажу, експлуатаційні витрати)**

Оцінка економічної доцільності є надзвичайно важливим етапом при виборі теплового насоса. Це питання не обмежується лише ціною самого обладнання — варто враховувати всі витрати, пов'язані з його встановленням, експлуатацією та обслуговуванням протягом усього строку служби.

Передусім потрібно оцінити повну вартість готової до роботи системи, включаючи зовнішні та внутрішні блоки, гідромодуль (якщо він передбачений), бойлер, монтажні матеріали та вартість виконаних робіт. Іноді дорожчий варіант

може виявитися вигіднішим у довгостроковій перспективі завдяки нижчим витратам на експлуатацію.

Також слід звернути увагу на вартість виробництва одного кіловат-год теплової енергії. Пристрої з високими коефіцієнтами COP і SCOP дозволяють суттєво зекономити на опаленні, особливо в регіонах із холодними зимами. Не менш важливо оцінити витрати на технічне обслуговування, регулярні перевірки, можливі ремонти, а також доступність кваліфікованого персоналу.

Отже, вибираючи модель, варто орієнтуватися не лише на стартову вартість, а й на загальну економічну вигоду протягом усього терміну її використання — з урахуванням енергоефективності, надійності та витрат на обслуговування. Це дозволить зробити обґрунтовану інвестицію та забезпечить стабільні витрати в майбутньому.

Опираючись на вище описані характеристики, розглянемо три моделі теплових насосів різних виробників та виберемо той варіант, який найбільш повно відповідає потребам конкретного об'єкта. При цьому в першу чергу ми орієнтуємося на обладнання, яке працює від **трифазної електричної мережі**. Такий підхід обумовлений кількома важливими факторами. По-перше, трифазне підключення забезпечує більш стабільну роботу компресора, особливо в умовах пікового навантаження в зимовий період. По-друге, воно дозволяє уникнути надмірного навантаження на одну фазу, що є критично важливим у приватному секторі, де можуть виникати коливання напруги. Крім того, обладнання з трифазним живленням зазвичай має більший робочий ресурс і кращу сумісність з додатковими елементами системи (бойлерами, буферними ємностями, модулями управління тощо).

З огляду на це, а також враховуючи той факт, що **найменші моделі теплових насосів з трифазним живленням мають номінальну потужність на рівні 10 кВт**, ми обмежимо розгляд саме моделями потужністю **10 кВт**. Це дозволить залишити технічний запас по потужності, що забезпечить комфортну роботу системи навіть за умов понижених температур, а також покриття потреб не лише в опаленні, а й у гарячому водопостачанні.

Нижче наведено обрані моделі виробників Sinclair, Hisense та LG. Їхні технічні характеристики подано в додатку Б.

1. Тепловий насос Sinclair Ontario SMH-100IRB2-3 (рис. 3.1) [56]



Рисунок 3.1. – Зображення теплового насоса Sinclair Ontario SMH-100IRB2-3 [59]

Це моноблочне трифазне обладнання з номінальною тепловою потужністю 10 кВт, що дає достатній запас для покриття розрахованого теплового навантаження будинку навіть у найхолодніші періоди. Такий вибір виправданий не лише з точки зору потужності, а й через високу енергоефективність: показник COP становить 4,65, а SCOP — 4,50, що гарантує низьке енергоспоживання протягом усього опалювального сезону [56].

Тепловий насос обладнаний інверторним компресором із проміжним впорскуванням, що дозволяє йому ефективно працювати при температурі зовнішнього повітря до  $-25^{\circ}\text{C}$  [56]. Це важливий фактор для регіонів з помірно холодним кліматом, зокрема Івано-Франківської області. Крім того, завдяки низькотемпературному режиму подачі води (від  $20$  до  $60^{\circ}\text{C}$ ) [56], ця модель ідеально підходить для експлуатації з системою "тепла підлога", якою оснащений будинок. Моноблочна конструкція спрощує процес монтажу, не потребує встановлення внутрішнього гідромодуля, знижує витрати на інсталяцію та зменшує ймовірність монтажних помилок.

Обладнання працює на холодоагенті R32 [56], який має знижений потенціал глобального потепління, що робить систему більш екологічною. З огляду на трифазне підключення, насос працює стабільно навіть за підвищених навантажень, що зменшує ризики збоїв і перепадів напруги, характерних для

однофазних систем. Незважаючи на те, що рівень шуму складає 61 дБ, це значення залишається прийнятним за умови правильного розміщення зовнішнього блоку на ділянці.

У результаті ця модель забезпечує необхідний баланс між потужністю, економічністю, стабільністю роботи при низьких температурах і простотою експлуатації. Саме тому **Sinclair Ontario SMH-100IRB2-3** є обґрунтованим кандидатом для впровадження в систему опалення та гарячого водопостачання розглядуваного приватного будинку.

Вартість такої моделі стартує від 6000\$ [24]. Враховуючи, що це моноблочна система, то відповідно, витрати на її монтаж будуть нижчими, ніж при монтажі спліт системи. І загалом, становитимуть орієнтовно 450\$ [21]. Розраховувати вартість додаткових матеріалів на цьому етапі не зовсім доцільно, адже неможливо порахувати точну кількість матеріалів, які знадобляться, тому здебільшого їх вартість виводиться вже по факту виконаних робіт.

Для оцінки економічної ефективності системи береться річне теплове навантаження. Для його точного розрахунку, потрібно проводити енергетичний аудит будинку за методиками, наведеними в нормативних документах, таких як ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель» [18]. За даними «Покрокового плану енергоефективної відбудови в Україні» Міжнародного фонду відродження – «середнє питоме енергоспоживання житлових будинків в Україні становить 163 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік» [65]. Тобто, для нашого будинку, площею 140 м<sup>2</sup> навантаження становитиме майже 23 000 кВт\*год. Завдяки високому показнику сезонної ефективності (SCOP) насос споживатиме лише близько 5111 кВт-год електроенергії на рік (23 000/4,5). Подальші витрати залежать від умов тарифікації:

– при звичайному тарифі: 5111 кВт·год помножено на 4,32 грн [62] дає близько 22 100 гривень на рік;

– за умови встановлення двозонного лічильника (половина споживання припадає на ніч, та оплачується вдвічі дешевше):  $2555 \cdot 4,32 = 11037,6$  грн і  $2555 \cdot 2,16 = 5518,8$ , загальні витрати складуть близько 16 600 гривень щорічно.

2. Тепловий насос Hisense Split AHW-100HEDS1/ AHM-100HEDSAA (рис 3.2.) [16]

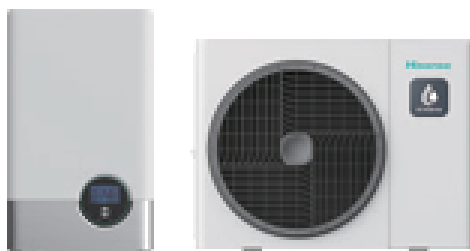


Рисунок 3.2. – Зображення теплового насоса Hisense Split AHW-100HEDS1/ AHM-100HEDSAA [16]

Це спліт-система типу «повітря–вода» з номінальною тепловою потужністю **10 кВт**, що повністю перекриває розрахункове навантаження будинку (~6,7 кВт), залишаючи при цьому технічний запас для покриття пікових втрат у найхолодніші дні, а також забезпечення ГВП.

Система розрахована на **трифазне підключення**, що є важливою перевагою для стабільної роботи компресора та зменшення навантаження на електромережу приватного будинку, особливо в умовах зимової експлуатації.

Тепловий насос демонструє високу енергоефективність — **COP (при +7/35°C) становить 5,1**, а **SCOP — 4,8**, що підтверджує економну витрату електроенергії при збереженні стабільного теплового комфорту. Важливо, що Ні-Therma може працювати в **широкому температурному діапазоні — від –25 °C до +43 °C**, що робить її адаптованою до кліматичних умов Івано-Франківщини.

Особливістю цієї моделі є наявність **двоокружної системи управління температурою**, яка дозволяє незалежно обігрівати, наприклад, теплу підлогу в одних зонах та радіатори в інших. Це особливо зручно у будинках зі змішаними типами систем або з різними тепловими навантаженнями в різних приміщеннях.

Модель обладнана **інверторним компресором**, що дозволяє плавно регулювати потужність залежно від потреб, підвищуючи ККД та знижуючи пускові навантаження на мережу. Тепловий насос також підтримує **температуру подачі до 60°C** — цього достатньо як для теплої підлоги, так і для підігріву води

в бойлері. Для ГВП передбачене підключення бойлера непрямого нагріву, а сам блок забезпечує ефективну інтеграцію з водонагрівачем і має функцію антибактеріального нагріву до 75 °С.

Додаткові переваги: сучасний сенсорний контролер з інтуїтивним інтерфейсом, можливість керування зі смартфона через додаток, режим нічної тиші, енергооблік у реальному часі та функція швидкого конфігурування системи.

Щодо рівня шуму — **звичайний режим: 50 дБ, нічний: 43 дБ**, що є прийнятним для розміщення поблизу житлових приміщень, особливо враховуючи функцію нічного зниження шуму.

Вартість цієї моделі становить також біля 6 000\$, [22] враховуючи, що це спліт-система, то її монтаж буде дещо дорожчим, за прайсом, наданим компанією «Єврокомфорт-ІФ», вартість монтажу теплового насосу такого типу становитиме 600\$ [61].

Економічну ефективність розрачуємо так як і для попередньої моделі. Лише в цьому випадку показник сезонної ефективності (SCOP) становить 4,8, при такому значенні насос споживатиме лише близько 4792 кВт-год електроенергії на рік (23 000/4,8). Далі при звичайному тарифі витрата становитиме близько 20 700 грн на рік, а при встановленні двозонного лічильника – 15 500 грн на рік.

3. Тепловий насос LG Гідроспліт з компресором R1 HU123MA.U33RU / HN1636M.NK5RU (рис. 3.3.) [47].



Рисунок 3.3. - Зображення теплового насоса LG Гідроспліт з компресором R1 HU123MA.U33RU / HN1636M.NK5RU [47]

Це сучасний гідроспліт, побудований на базі інверторного компресора типу R1, розрахований на трифазне живлення, що вже робить його технічно придатним до умов нашого об'єкта. Його номінальна теплова потужність становить 12 кВт [47], що повністю перекриває розраховане теплове навантаження будинку (приблизно 6,7 кВт), залишаючи необхідний запас для стабільної роботи навіть за мінімальних температур.

Окрему увагу варто звернути на енергоефективність обладнання: коефіцієнт продуктивності COP сягає 4,55, а сезонний SCOP становить 4,50 — ці показники свідчать про низьке споживання електроенергії за умови збереження високої теплової віддачі, що дуже важливо для тривалого опалювального сезону. Тепловий насос стабільно працює в діапазоні зовнішніх температур до  $-25^{\circ}\text{C}$  [47], що дозволяє впевнено використовувати його в кліматичних умовах Прикарпаття. Максимальна температура подачі до  $57^{\circ}\text{C}$  забезпечує повну сумісність як із системами теплої підлоги, так і з бойлером непрямого нагріву для гарячого водопостачання.

Конструкція системи є зручною з погляду інсталяції — зовнішній блок компактний, а внутрішній гідромодуль обладнаний всім необхідним для керування роботою системи. Крім того, передбачене інтелектуальне управління, зокрема віддалений контроль за допомогою Wi-Fi та адаптивні режими роботи, що дозволяють оптимізувати споживання залежно від режиму дня та температури. Щодо акустичного комфорту, рівень шуму зовнішнього блоку становить до 59 дБ, що є допустимим для житлової забудови, особливо за умови правильного розміщення на ділянці [47].

Враховуючи надійність бренду, технічну досконалість компресора R1, високу сезонну ефективність та повну відповідність умовам експлуатації, дана модель є аргументованим і обґрунтованим вибором для реалізації системи опалення й гарячого водопостачання у нашому будинку.

Вартість цієї системи гідроспліт стартує від 10 000\$ [23]. Вона є складнішою в порівнянні з двома попередніми, відповідно вартість монтажу такого

обладнання за прайсом, наданим компанією «Єврокомфорт-ІФ», значно дорожча, як для попередніх, і становить близько 1000\$ [21].

Економічну ефективність розрахуємо так як і для попередніх випадках. Тут показник сезонної ефективності (SCOP) становить 4,5, при такому значенні насос споживатиме лише близько 5111 кВт-год електроенергії на рік (23 000/4,5). Далі при звичайному тарифі витрата становитиме близько 22 100 грн на рік, а при встановленні двозонного лічильника – 16 600 грн на рік.

Для зручності порівняння зведемо всі найважливіші дані обраних моделей в таблицю 3.2.

**Таблиця 3.2.** – Порівняння технічних характеристик обраних моделей теплових насосів.

№	Характеристика	Sinclair Ontario SMH-100IRB2-3	Hisense Split AHW-100HEDS1/100HEDSAA AHM-	LG Гідроспліт з компресором R1 / HU123MA.U33RU HN1636M.NK5RU
1	Тип системи	Моноблок	Спліт	Гідроспліт
2	Живлення	3 фази	3 фази	3 фази
3	Номинальна потужність, кВт	10	10	12
4	COP	4.65	5.1	4.55
5	SCOP	4.5	4.8	4.5
6	Макс. температура подачі води, °C	60	60	57
7	Мін. температура зовнішнього повітря, °C	-25	-25	-25
8	Тип компресора	Інверторний з проміжним впорскуванням	Інверторний	Інверторний R1
9	Тип холодоагенту	R32	R32	R410A
10	Рівень шуму, дБ	61	50(звичайний), 43 (нічний)	59
11	Інтеграція з ГВП	так	Так (до 75 °C)	так
12	Інтелектуальне керування	Немає даних	так	так
13	Особливості	Простий монтаж, екологічність, стабільна робота при низьких температурах	Зональне керування, режим тиші, енергооблік	Надійність бренду, гнучке керування, готове рішення
14	Вартість	6 450\$	6 600\$	11 000\$
15	Річна вартість споживання, грн	22 100 16 600	20 700 15 500	22 100 16 600

Порівняємо ще використання теплового насоса та опалення газовим котлом. Для добре утепленого будинку площею 140 м<sup>2</sup> в Івано-Франківську, за реальними даними споживання, на опалення та підігрів води протягом року

зазвичай витрачається від 3500 до 3750 кубометрів природного газу — це в межах помірною бюджету для такої площі[66]. Вартість 1 м<sup>3</sup> газу разом з доставкою станом на 2025 рік становить близько 10 грн. З цього маємо, що забезпечення наших потреб з використанням газового котла, нам обійдеться в 3750\*10=37 500 грн. При цьому для будинку такого типу, як наш нам знадобиться котел потужністю орієнтовно 12 кВт, середня ціна якого становить 50 000 грн, і вартість монтажу за прайсом компанії «Єврокомфорт-ІФ» 6500 грн.

Виходячи з цього ми можемо розрахувати термін окупності кожної з обраних моделей.

1. Sinclair Ontario SMH-100IRB2-3

Річна економія: 37 500 – 22 100 = 15 400грн

Різниця у вартості встановлення: 6450\*41,1=267 030 грн, 267 030 – 56 500 = 210 530 грн.

Термін окупності розраховуємо за формулою (3.2) [66]

$$\text{Термін окупності} = \frac{\text{Інвестиційні витрати (\Delta Ціна)}}{\text{Щорічна економія}} \quad (3.2.)$$

Отже, для цієї моделі термін окупності становить 210 530/15 400 = 13,7, тобто це 13 років і 8 місяців.

2. Hisense Split ANW-100HEDS1/ ANM-100HEDSAA

Річна економія: 37 500 – 20 700= 16 800 грн

Різниця у вартості встановлення: 6600\*41,4=273 240 грн, 273 240 – 56 500 = 216 740 грн.

Термін окупності розраховуємо за формулою (3.2) [66]

$$\text{Термін окупності} = \frac{\text{Інвестиційні витрати (\Delta Ціна)}}{\text{Щорічна економія}} \quad (3.2.)$$

Отже, для цієї моделі термін окупності становить 216 740 / 16 800 = 12,9, тобто це 12 років і 11 місяців.

3. LG Гідроспліт з компресором R1 HU123MA.U33RU / HN1636M.NK5RU

Річна економія:  $37\,500 - 22\,100 = 15\,400$  грн

Різниця у вартості встановлення:  $11000 \cdot 41,4 = 455\,400$  грн,  $455\,400 - 56\,500 = 398\,900$  грн.

Термін окупності розраховуємо за формулою (3.2) [66]

$$\text{Термін окупності} = \frac{\text{Інвестиційні витрати (\Delta\text{Ціна})}{\text{Щорічна економія}} \quad (3.2.)$$

Отже, для цієї моделі термін окупності становить  $398\,900 / 15\,400 = 25,9$ , тобто це 25 років і 11 місяців, що є доволі великим значенням, і відповідає загальному рекомендованому терміну експлуатації теплового насоса.

З огляду на технічні характеристики, умови експлуатації та потреби конкретного об'єкта, було проведено аналіз трьох моделей теплових насосів типу «повітря–вода», кожна з яких потенційно може бути використана для опалення та гарячого водопостачання житлового будинку площею  $140 \text{ м}^2$ . У будинку передбачена система теплої підлоги з низькотемпературним режимом роботи ( $35/30 \text{ }^\circ\text{C}$ ), а живлення здійснюється від трифазної електромережі, що дозволяє розглядати ширший спектр обладнання.

Одним із кандидатів стала модель **Sinclair Ontario SMH-100IRB2-3**, що є моноблоком потужністю  $10 \text{ кВт}$ . Цей варіант має стабільні базові характеристики: сезонний коефіцієнт ефективності SCOP  $4,5$ , можливість роботи за температур до  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ , простий монтаж. Водночас варто зважити на відсутність ряду сучасних функцій, таких як дистанційне керування або нічний режим роботи. Також рівень шуму  $61 \text{ дБ}$  може бути недоліком, якщо зовнішній блок розміщується поблизу вікон житлових кімнат. Тим не менш, це практичне рішення для тих, хто шукає просту й надійну техніку за доступною ціною.

Іншим варіантом стала модель **Hisense AHW-100HEDS1 / AHW-100HEDSAA**, яка за сукупністю параметрів виявилася найбільш збалансованою. При тій же номінальній потужності  $10 \text{ кВт}$ , вона демонструє високі показники ефективності: COP  $5,1$ , SCOP  $4,8$ . Серед її переваг — стабільна робота до  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ , можливість нагріву води до  $75 \text{ }^\circ\text{C}$ , підтримка зонального опалення (дві

температурні зони), керування через Wi-Fi, сенсорний пульт управління, а також наявність нічного режиму зі зниженим шумом до 43 дБ. Це рішення поєднує ефективність, комфорт і технологічність, забезпечуючи зручність у щоденному користуванні, при цьому зберігаючи доступну вартість та економічну доцільність. Також в порівнянні з опаленням газovým котлом, ця модель дозволяє зекономити близько 17 тисяч гривень на рік, за такої економії термін окупності системи становить близько 13 років, що теж є нормальним показником.

Також розглянуто модель **LG Therma V HU123MA.U33RU / HN1636M.NK5RU** із дещо більшою тепловою потужністю — 12 кВт. Насос оснащено сучасним інверторним компресором типу R1, він показує добрі результати за ефективністю (COP 4,55; SCOP 4,5) та працює при температурах до  $-25^{\circ}\text{C}$ . Система підтримує Wi-Fi-керування, сумісна з теплою підлогою й бойлером ГВП, та має продуману архітектуру для зручного монтажу. Водночас використання холодоагенту R410A, підвищений рівень шуму (до 59 дБ) і відсутність режиму нічного зниження шуму можуть вважатися недоліками для житлових умов. Проте ця модель є значно дорожчою в порівнянні з іншими, та має надто довгий термін окупності.

У результаті аналізу найбільш відповідним варіантом для конкретного будинку стала модель **Hisense**, яка поєднує сучасні функції, високу енергоефективність, низький рівень шуму, зручність у користуванні та повну відповідність технічним умовам експлуатації. Такий вибір дозволить забезпечити надійне опалення, ефективну роботу системи гарячого водопостачання та комфортне середовище у будь-яку пору року.

### 3.3. Оцінка енергоефективності обраного теплового насоса

При виборі теплового насоса для системи опалення житлового будинку ключове значення має оцінка його енергоефективності, яка визначає не лише економічність експлуатації, а й загальну доцільність впровадження системи у довгостроковій перспективі. Показники, що найкраще характеризують енергоефективність теплового насоса, включають: COP (коефіцієнт перетворення енергії в моменті), SCOP (сезонний коефіцієнт ефективності), енергетичний клас згідно з європейськими регламентами та здатність стабільно працювати за низьких температур зовнішнього повітря, характерних для зимового періоду в кліматичних умовах України.

Обраний тепловий насос Hisense Split AHW-100HEDS1 / AHM-100HEDSAA належить до сучасної серії обладнання Hi-Therma, призначеної для використання в житловому секторі. Згідно з технічною документацією виробника, номінальне значення COP становить 5,1 (при температурі зовнішнього повітря  $+7^{\circ}\text{C}$  та температурі води на виході  $35^{\circ}\text{C}$ ) [16]. Такий показник означає, що при споживанні 1 кВт електроенергії тепла енергія, яку генерує система, становить 5,1 кВт. Це вказує на надзвичайно високий рівень миттєвої ефективності, що значно перевищує середньостатистичні показники аналогічного обладнання. Таким чином, у стандартних умовах експлуатації насос забезпечує мінімальні витрати електроенергії при високій тепловіддачі.

Ще більш важливим з точки зору довгострокової експлуатації є SCOP — сезонний коефіцієнт ефективності, який у даній моделі становить 4,8 [16] (відповідно до вимог EN 14825 для кліматичної зони "середня"). На відміну від COP, який відображає ефективність в одному заданому режимі, SCOP враховує зміну кліматичних умов протягом усього опалювального періоду. Він є інтегральним показником ефективності системи у реальних умовах, і саме за ним визначається енергетичний клас пристрою згідно з вимогами Регламенту ЄС № 811/2013. Значення  $\text{SCOP} > 4,0$  свідчить про найвищий клас енергоефективності — A+++ , що також підтверджується маркуванням на етикетці

енергоефективності моделі. Це дозволяє користувачеві розраховувати на суттєве зниження витрат на опалення протягом усього року.

Крім високої ефективності у стандартних режимах, Hisense ANW-100HEDS1 / ANM-100HEDSAA забезпечує стабільну роботу при зовнішніх температурах до  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  [61], що критично важливо для регіонів з холодною зимою, зокрема Івано-Франківської області. Така здатність до низькотемпературної експлуатації означає, що насос не потребує частого включення додаткового електричного нагріву, що своєю чергою мінімізує витрати енергії в пікові періоди.

Модель підтримує максимальну температуру подачі до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в режимі приготування гарячої води — до  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  [16] (при використанні вбудованого електронагрівача). Це дозволяє ефективно використовувати систему як для опалення, так і для гарячого водопостачання, включаючи антибактеріальні режими нагріву води. Наявність функції двозонного регулювання температури робить можливим незалежне управління, наприклад, теплою підлогою та радіаторним контуром, що значно підвищує енергоефективність завдяки оптимізації температури в кожному контурі.

Система також підтримує розширене інтелектуальне керування, включаючи віддалений доступ через мобільний додаток, інтерфейс з сенсорним дисплеєм, енергомоніторинг у реальному часі та можливість конфігурування сценаріїв роботи відповідно до індивідуального графіку користувача. Такі функції сприяють не тільки зручності користування, а й усвідомленому контролю за споживанням енергії, що дозволяє подальше зниження витрат.

Таким чином, за результатами аналізу, можна впевнено стверджувати, що тепловий насос Hisense Split ANW-100HEDS1 / ANM-100HEDSAA відповідає найвищим вимогам до енергоефективності та економічної доцільності. Він забезпечує поєднання високої сезонної продуктивності, низького енергоспоживання, стабільності роботи в умовах низьких температур і сучасного функціоналу управління. Враховуючи вищезазначене, дана модель є технічно обґрунтованим вибором для забезпечення опалення та гарячого водопостачання об'єкта з високими вимогами до комфорту й енергоощадності.

### Висновок до Розділу 3

У цьому розділі було виконано комплексний техніко-економічний аналіз, який дозволив обґрунтовано підійти до вибору теплового насоса для конкретного приватного будинку площею 140 м<sup>2</sup>. Насамперед було визначено фактичні теплові потреби об'єкта, що враховували особливості огорожувальних конструкцій, тип системи опалення, параметри вентиляції та гарячого водопостачання. Розрахункове теплове навантаження становило близько 6,7 кВт, що стало вихідною точкою для подальшого добору обладнання.

На основі отриманих даних було розглянуто три моделі теплових насосів: **Sinclair Ontario SMH-100IRB2-3**, **Hisense Split AHW-100HEDS1 / AHM-100HEDSAA** та **LG HU123MA.U33RU / HN1636M.NK5RU**. Кожен з варіантів було проаналізовано з погляду технічних характеристик, енергоефективності, функціональності, умов експлуатації, рівня шуму, простоти монтажу, а також вартості та терміну окупності.

Порівняльний аналіз показав, що всі три моделі забезпечують достатній тепловий резерв для стабільної роботи системи навіть за мінімальних температур. Проте за сукупністю показників **оптимальним вибором** виявився саме тепловий насос **Hisense**, який демонструє найкраще співвідношення між енергоефективністю (SCOP 4,8), комфортом використання (наявність нічного режиму, інтелектуальне управління, зональне регулювання температури) та вартістю інвестиції. Ця модель дозволяє не лише ефективно забезпечити потреби в опаленні та ГВП, а й мінімізувати експлуатаційні витрати, що підтверджується найбільш прийнятним терміном окупності серед розглянутих варіантів.

Таким чином, розділ 3 підтвердив, що грамотний підхід до вибору теплогенерувального обладнання — це не просто вибір за каталогом, а результат глибокого аналізу реальних потреб, технічних особливостей об'єкта, умов експлуатації та економічної доцільності. Обраний тепловий насос відповідає сучасним вимогам до енергоощадності, надійності та комфорту, що робить його ефективним рішенням для реалізації системи опалення і гарячого водопостачання в умовах українського клімату

## ВИСНОВОК

У процесі виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було проведено глибокий аналіз теплових насосів типу «повітря–вода» як одного з ефективних варіантів організації сучасного теплопостачання. Основна мета — дослідити показники якості теплового насоса та обґрунтувати вибір конкретної моделі на основі розрахунків — реалізована у повному обсязі.

Опираючись на чинну нормативну базу, зокрема європейські стандарти EN 14511 та EN 14825, були визначені ключові технічні критерії, за якими оцінюється обладнання: теплова потужність, споживання електроенергії, коефіцієнти ефективності (COP, SCOP), робочі температурні діапазони, рівень шуму тощо. Окрему увагу приділено методиці розрахунку теплових втрат об'єкта — одноповерхового приватного житлового будинку — з урахуванням архітектурних характеристик і кліматичних умов. На основі цього розрахунку було встановлено необхідну потужність теплогенеруючого обладнання.

У подальшому було проведено порівняння трьох моделей теплових насосів — виробництва Sinclair, Hisense та LG. Оцінка здійснювалася за технічними характеристиками, функціональністю, умовами встановлення та енергоефективністю. В результаті найбільш придатною для конкретного об'єкта виявилася модель **Hisense Hi-Therma AHW-100HEDS1 / AHM-100HEDSAA**, яка поєднує високі показники ефективності (SCOP 4,8), стабільну роботу в умовах низьких температур, підтримку дистанційного керування та сумісність із низькотемпературними системами опалення, зокрема з теплою підлогою. Технічне обґрунтування вибору цієї моделі наведено у третьому розділі роботи, де показано її відповідність розрахованим тепловим потребам об'єкта.

Загалом, дослідження підтвердило доцільність застосування повітряних теплових насосів у приватному будівництві. Це рішення вирізняється енергоощадністю, екологічною безпекою та можливістю адаптації до різних умов. Отримані висновки можуть бути використані на практиці при підборі обладнання для схожих об'єктів, а також слугувати базою для подальших проєктних чи технічних розробок.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Directive 2014/32/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of measuring instruments. Official Journal of the European Union 46
2. EN 12102-1:2017. Air conditioners, liquid chilling packages, heat pumps and dehumidifiers with electrically driven compressors for space heating and cooling – Measurement of airborne noise – Determination of the sound power level. Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2017 53
3. EN 14511-2:2022. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling – Part 2: Test conditions. Brussels: European Committee for Standardization (CEN) 51
4. EN 14511-4:2022. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling – Part 4: Operating requirements, marking and instructions. Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2022 52
5. EN 14825:2022. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling – Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance. Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2022 54
6. EN 14825:2022. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling. Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance [European Standard]. Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2022. 42
7. EN 62053-21:2003. Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements – Part 21: Static meters for active energy (classes 1 and 2). Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), 2003. 48

8. EN 837-1:1996. Pressure gauges – Part 1: Bourdon tube pressure gauges – Dimensions, metrology, requirements and testing. Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 1996 47
9. ILAC-P14:12/2010. ILAC Policy for Uncertainty in Calibration. International Laboratory Accreditation Cooperation, 2010 57
10. ISO 10012:2003. Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment. Geneva: International Organization for Standardization, 2003. 49
11. ISO 5149-1:2014. Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements 44
12. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements. Geneva: International Organization for Standardization, 2015. 55
13. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: International Organization for Standardization, 2017 50
14. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: International Organization for Standardization, 2017. 43
15. ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). Geneva: International Organization for Standardization, 2008 56
16. Qingdao Hisense HVAC Equipment Co., Ltd. Hi-Therma на R32: каталог продукції повітря–вода теплових насосів. – [Qingdao]: Hisense, 2023 61
17. SIST EN 14511-3:2022 - Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps for space heating and cooling and process chillers, with electrically driven compressors - Part 3: Test methods 41
18. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель. Основні положення. — [Чинний від 2021-07-01]. — Київ: Мінрегіон України, 2021. 58
19. ДСТУ Б EN 14511:2021. Кондиціонери, охолоджувальні установки та теплові насоси для опалення та охолодження приміщень і процесів. Частина 1–4. 36

20. ДСТУ Б Д.1.1-7:2013. Правила визначення вартості енергоефективних заходів. – [Чинний від 2013-07-01]. – Київ: Мінрегіон України, 2013. 70
21. Прайс-лист монтажних робіт компанії «Єврокомфорт-ІФ», наданий офіційним представником компанії. Внутрішній документ. 2025 67
22. Прайс-лист теплових насосів Hisense, наданий офіційним представником компанії в Україні. Внутрішній документ. 2025. 64
23. Прайс-лист теплових насосів LG, наданий офіційним представником компанії в Україні. Внутрішній документ. 2025. 66
24. Прайс-лист теплових насосів Sinclair, наданий офіційним представником компанії в Україні. Внутрішній документ. 2025. 65
25. Air Stream. Фанкойли [Електронний ресурс]. – URL: <https://air-stream.com.ua/fankoily/> – Дата звернення: 08.06.2025. 26
26. Air-conditioner.ua. Тепловий насос LG HU123MA/U33RU + HN1636M/NK5RU [Електронний ресурс]. – URL: <https://air-conditioner.ua/uk/teplovyi-nasos-lg-hu123mau33ru-hn1636mnk5ru.html> – Дата звернення: 08.06.2025. 63
27. Alfa Laval. Digging deep to heat Dutch greenhouses [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.alfalaval.com/media/stories/district-heating/digging-deep-to-heat-dutch-greenhouses/> – Дата звернення: 08.06.2025. 25
28. Alter Air. Теплові насоси "вода–вода" під ключ [Електронний ресурс]. – URL: <https://alterair.ua/otoplenie/teplovye-nasosy-voda-pod-kluch/> – Дата звернення: 08.06.2025. 9
29. Alternetica. Повітряні теплові насоси [Електронний ресурс]. – URL: <https://alternetica.com.ua/blog/blog-stattia/201-povitryani-teplovi-nasosi> – Дата звернення: 08.06.2025. 20
30. Alternetica. Ціна на ґрунтовий тепловий насос [Електронний ресурс]. – URL: [https://alternetica.com.ua/blog/blog-stattia/107-tsina-na-gruntovij?utm\\_source](https://alternetica.com.ua/blog/blog-stattia/107-tsina-na-gruntovij?utm_source) – Дата звернення: 08.06.2025. 14
31. Budclimat. Монтаж теплових насосів [Електронний ресурс]. – URL: <https://budclimat.com.ua/montazh-teplovyx-nasosiv/> – Дата звернення: 08.06.2025. 19
32. Carrier. What is a heat pump and how does it work? [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.carrier.com/residential/en/us/products/heat-pumps/what-is-a-heat-pump-how-does-it-work/> – Дата звернення: 08.06.2025. 33

33. Earth Loop Antifreeze for Geothermal Heat Pump Systems [Електронний ресурс]. – URL: [https://geojerry.com/earthloopantifreeze.html?utm\\_source](https://geojerry.com/earthloopantifreeze.html?utm_source) – Дата звернення: 08.06.2025. 10
34. ЕНРА. About heat pumps [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.ehpa.org/about-heat-pumps/> – Дата звернення: 08.06.2025. 29
35. Energy Saving Trust. Four heat pump questions clarified [Електронний ресурс]. – URL: <https://energysavingtrust.org.uk/four-heat-pump-questions-clarified/> – Дата звернення: 08.06.2025. 18
36. EnergySage. Geothermal heat pumps: costs and benefits [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.energysage.com/heat-pumps/costs-benefits-geothermal-heat-pumps/> – Дата звернення: 08.06.2025. 17
37. EUMEPS. Thermal insulation and heat pumps: Why the two belong together [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.eumeps.eu/eumeps-newsroom/publications/publications-smart-insulation/thermal-insulation-and-heat-pumps-why-the-two-belong-together> – Дата звернення: 08.06.2025. 37
38. EUR-Lex. Commission Regulation (EU) No 811/2013 [Електронний ресурс]. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013R0811> – Дата звернення: 08.06.2025. 32
39. GEA Group. Industrial heat recovery [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.gea.com/en/heating-refrigeration/industrial-heat-recovery/> – Дата звернення: 08.06.2025. 24
40. H2X Engineering. Heat pump COP and SCOP: What they mean and why they matter [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.h2xengineering.com/blogs/heat-pump-cop-and-scop-what-they-mean-and-why-they-matter/> – Дата звернення: 08.06.2025. 35
41. Heat pump [Електронний ресурс]. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Heat\\_pump](https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pump) – Дата звернення: 08.06.2025. 31
42. Hisense. Теплові насоси [Електронний ресурс]. – URL: <https://hisense.com.ua/heat-pumps/> – Дата звернення: 08.06.2025. 5
43. Hitachi. Енергоефективність кондиціонерів: що таке COP, EER, SCOP, SEER і ESEER [Електронний ресурс]. – URL: [https://hitachi.in.ua/ua/news/novosti/energoeffektivnost\\_kondicioneral\\_cho\\_takoe\\_cop\\_eer\\_scop\\_seer\\_i\\_eseer.html](https://hitachi.in.ua/ua/news/novosti/energoeffektivnost_kondicioneral_cho_takoe_cop_eer_scop_seer_i_eseer.html) – Дата звернення: 08.06.2025. 15
44. International Energy Agency. Heat pumps [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.iea.org/energy-system/buildings/heat-pumps> . – Дата звернення: 08.06.2025. 2

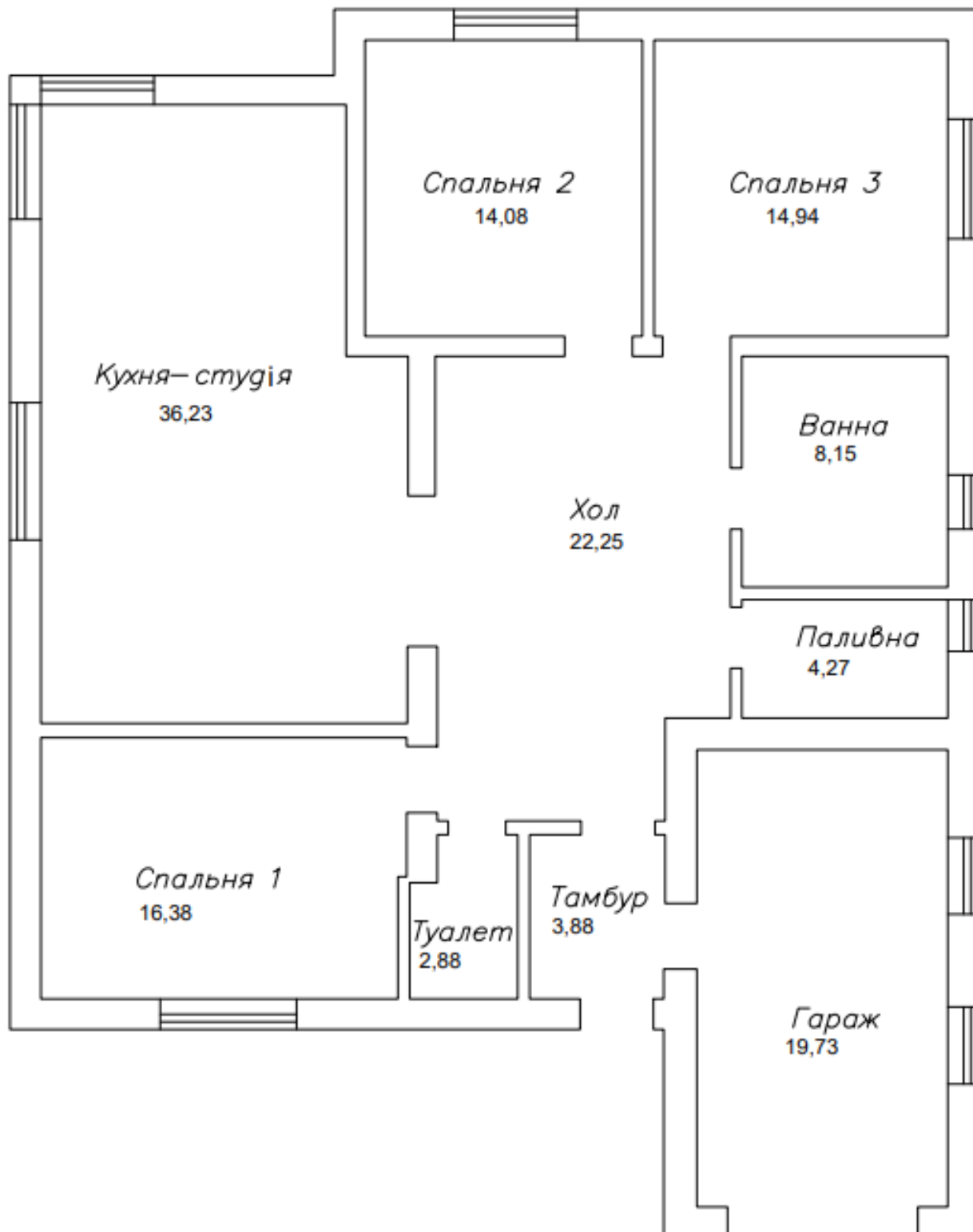
45. Карно. Теплові насоси "повітря–вода" [Електронний ресурс]. – URL: <https://karno.ua/ua/teplovye-nasosy/teplovye-nasosy-vozdukh-voda/> – Дата звернення: 08.06.2025. 8
46. Keymark. General Keymark certification [Електронний ресурс]. – URL: <https://keymark.eu/en/about-keymark/general-keymark-certification> – Дата звернення: 08.06.2025. 60
47. LG Artcool. Тепловий насос LG HU123MA/U33RU + HN1636M/NK5RU 12 кВт, 3ф [Електронний ресурс]. – URL: <https://lg-artcool.com.ua/lg-hu123ma-u33ru-hn1636m-nk5ru-12kvt-3f-p2078/?srsltid=AfmBOopX2xuuUrmnjxaqx9rdW8W3Fn-kWUvKJs4sFbYeTks5QLgZ8ZKo> – Дата звернення: 08.06.2025. 62
48. Natural Resources Canada. Heating and cooling with heat pumps [Електронний ресурс]. – URL: <http://natural-resources.canada.ca/energy-efficiency/energy-star/heating-cooling-heat-pump> – Дата звернення: 08.06.2025. 34
49. NIBE. Квартира: приклад впровадження теплового насоса [Електронний ресурс]. – URL: <https://nibe.ua/example/kvartira?srsltid=AfmBOopdyhp5SVe9-K7BVRz5l3ZnmXEGqjCQWGjhRZ5akKTv7wjnUhSZ&utm> – Дата звернення: 08.06.2025. 23
50. Novelan. Function of a ground source heat pump [Електронний ресурс]. – URL: [https://www.novelan.com/en/media-library/heat-pump-guide/heat-pump-operation-principle/function-ground-source-heat-pump?utm\\_source](https://www.novelan.com/en/media-library/heat-pump-guide/heat-pump-operation-principle/function-ground-source-heat-pump?utm_source) – Дата звернення: 08.06.2025. 13
51. OpenAI. (2025). *Згенероване зображення для ілюстрації бакалаврської роботи, створене за запитом користувача в ChatGPT.* <https://chat.openai.com> 40
52. Pressbooks BCcampus. 6.4 Carnot Cycles [Електронний ресурс]. – URL: <https://pressbooks.bccampus.ca/thermo1/chapter/6-4-carnot-cycles/> – Дата звернення: 08.06.2025. 30
53. PV Magazine. Viessmann presents air-source heat pump for residential, commercial applications [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.pv-magazine.com/2024/02/12/viessmann-presents-air-source-heat-pump-for-residential-commercial-applications> – Дата звернення: 08.06.2025. 21
54. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Article: S0360544224000355 [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544224000355> – Дата звернення: 08.06.2025. 22

55. Renewable heat [Електронний ресурс]. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable\\_heat?utm\\_source](https://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_heat?utm_source) – Дата звернення: 08.06.2025. 16
56. Sinclair. Моноблок S-Therm Ontario SMH-100IRB2 [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.sinclair-solutions.com/ua/produkti/teplov-nasosi/monobloki-s-therm-ontario/15305-smh-100irb2-3.html> – Дата звернення: 08.06.2025. 59
57. Somi. Датчик температури Pt100 [Електронний ресурс]. – URL: <https://surl.li/bfzzwe> – Дата звернення: 08.06.2025. 45
58. Teplosoft. Що таке тепловий насос [Електронний ресурс]. – URL: <https://teplosoft.com.ua/blog/shho-take-teplovij-nasos> – Дата звернення: 08.06.2025. 28
59. Vencon. Як вибрати тепловий насос [Електронний ресурс]. – URL: <https://vencon.ua/ua/articles/kak-vybrat-teplovoj-nasos> – Дата звернення: 08.06.2025. 6
60. Viessmann Україна. Теплові насоси: поради та підказки [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.viessmann.ua/uk/porady/pidkazky/teplovi-nasosy.html> – Дата звернення: 08.06.2025. 38
61. Viessmann. Geothermal collectors – how they work [Електронний ресурс]. – URL: [https://www.viessmann.com.au/en/knowledge/technology-and-systems/brinewater-heat-pump/geothermal-collectors.html?utm\\_source](https://www.viessmann.com.au/en/knowledge/technology-and-systems/brinewater-heat-pump/geothermal-collectors.html?utm_source) – Дата звернення: 08.06.2025. 11
62. YASNO. Тарифи для побутових клієнтів [Електронний ресурс]. – URL: <https://yasno.com.ua/b2c-tariffs> – Дата звернення: 08.06.2025. 69
63. Геотермальний тепловий насос: принцип роботи [Електронний ресурс]. – URL: <https://xn--e1aamjfh.com.ua/geotermalnyj-teplovij-nasos-pryncyp-roboty> – Дата звернення: 08.06.2025. 12
64. Екодія. Що таке енергоефективність? [Електронний ресурс]. – URL: <https://ecoaction.org.ua/shcho-take-ee.html> – Дата звернення: 08.06.2025. 27
65. Міжнародний фонд «Відродження». Покроковий план енергоефективної відбудови в Україні [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.irf.ua/pokrokovyj-plan-energoefektyvnoyi-vidbudovy-v-ukrayini> – Дата звернення: 08.06.2025. 68
66. Окупність і вартість теплового насоса / Ventbazar. – [Електронний ресурс]. – URL: <https://ventbazar.ua/uk/blog/okupaemost-i-stoimost-teplovogo-nasosa>

67. Принцип роботи теплового насоса "повітря–вода" [Електронний ресурс]. – URL: [https://dbuy.ua/stati/printsip-raboty-teplovogo-nasosa-vozdukh-voda/?utm\\_source=chatgpt.com](https://dbuy.ua/stati/printsip-raboty-teplovogo-nasosa-vozdukh-voda/?utm_source=chatgpt.com) – Дата звернення: 08.06.2025. 7
68. Принцип роботи теплового насоса: як працює і його будова [Електронний ресурс]. – URL: <https://xn--e1aamjfh.com.ua/pryntsyyp-roboty-teplovoho-nasosa-i-yak-pratsyuue> . – Дата звернення: 08.06.2025. 1
69. Різновиди теплових насосів [Електронний ресурс]. – URL: <https://xn--e1aamjfh.com.ua/riznovydy-teplovyyh-nasosiv>. – Дата звернення: 08.06.2025. 3
70. Тепловий насос Midea серії M-Thermal [Електронний ресурс]. – URL: <https://teplonasos.kiev.ua/ua/teplovij-nasos-midea-ser-m-thermal/> – Дата звернення: 08.06.2025. 39
71. Що таке тепловий насос і як він працює? [Електронний ресурс]. – URL: <https://ventbazar.ua/uk/blog/chto-takoe-teplovoj-nasos-i-kak-on-rabotaet/> – Дата звернення: 08.06.2025. 4

ДОДАТОК А

План приватного будинку



## ДОДАТОК Б

### Технічні характеристики теплових насосів

#### 1. Sinclair Ontario SMH-100IRB2-3 [59]

Продуктивність 1	Опалення Підлогове опалення	10,0	kW
Продуктивність 1	Охолодження Підлогове охолодження	8,8	kW
Споживна потужність 1	Опалення теплої підлоги	2,15	kW
Споживна потужність 1	Охолодження Охолодження підлоги	1,96	kW
COP 1	Опалення теплою підлогою	4,65	-
EER 1	Охолодження підлогового охолодження	4,5	-
Продуктивність 2	Нагрівання фанкойла або радіатора	10,0	kW
Продуктивність 2	охолодження для фанкойла	7,8	kW
Споживна потужність 2	Нагрівання фанкойла або радіатора	2,67	kW
Споживна потужність 2	Охолодження фанкойла	2,48	kW
COP 2	Опалювальний фанкойл або радіатор	3,75	-
EER 2	Охолодження для фанкойлів	3,15	-
Клас енергоспоживання	-	A+++	-
SCOP	Нагрівання (55 °C / 35 °C)	3,30 / 4,50	-
Електроживлення	-	380 - 415 / 3 / 50	V / Ph / Hz
Номінальна споживана потужність	-	2,90	kW
Номінальний струм	-	12,00	A
Холодоагент / Заправка / Екв. CO2	-	R32 / 2,20 / 1,49	type / kg / t
Водопровідні труби	Вхід	DN25	mm
Водопровідні труби	Вихід	DN25	mm
Діапазон температур води	Нагрівання	20 ~ 60	°C
Діапазон температур води	Охолодження	7 ~ 25	°C
Водяний насос	Макс. потік	3,5	m <sup>3</sup> / h
Водяний насос	Споживана потужність	75	W
Перемикач потоку води	Мінімальний потік	0,6	m <sup>3</sup> / h
Розширювальний бак	Об'єм	2	l
Розширювальний бак	Максимальний тиск	3	Bar
Розширювальний бак	Попередній тиск	1	Bar

<b>Розширювальний бак</b>	Об'єм	2	l
<b>Розширювальний бак</b>	Максимальний тиск	3	Bar
<b>Розширювальний бак</b>	Попередній тиск	1	Bar
<b>Електричний нагрівач</b>	Режим	-	
<b>Електричний нагрівач</b>	Ступені	-	-
<b>Електричний нагрівач</b>	Потужність	-	kW
<b>Електричний нагрівач</b>	Комбінований	-	-
<b>Електричний нагрівач</b>	Напруга / Фаза / Частота	-	V / f / Hz
<b>Теплообмінник</b>	Тип	Пластинчастий	-
<b>Теплообмінник</b>	Кількість	1	-
<b>Запобіжний клапан</b>	-	3	Bar
<b>Рівень звукового тиску L<sub>ра</sub> на відстані 1 м</b>	Опалення	61	dB
<b>Рівень звукового тиску L<sub>ра</sub> на відстані 1 м</b>	Охолодження	59	dB
<b>Розмір</b>	(ш × в × г)	1200 × 878 × 460	mm
<b>Розмір упаковки</b>	(ш × в × г)	1288 × 1020 × 588	mm
<b>Вага Нетто</b>	-	151	kg
<b>Повна маса</b>	-	166	kg
<b>Діапазон робочих температур</b>	Охолодження	10 ~ 48	°C
<b>Діапазон робочих температур</b>	Опалення	- 25 ~ 35	°C
<b>Діапазон робочих температур</b>	Нагрів Води	- 25 ~ 45	°C

## 2. Hisense Split AHW-100HEDS1/ AHM-100HEDSAA [61]

Outdoor Unit	Power Supply	AC 1 $\phi$ , 220-240V/50Hz		—	AHW-100HCDS1	AHW-120HCDS1	AHW-140HCDS1		
		AC 3 $\phi$ , 380-415V/50Hz		—	AHW-100HEDS1	AHW-120HEDS1	AHW-140HEDS1		
Nominal Heating Operation*1	OAT (DB/WB) 7/6°C	IWT/OWT 30 / 35°C	Capacity	kW	10	12	14		
			COP	—	5.10	4.95	4.80		
		IWT/OWT 47 / 55°C	Capacity	kW	10.0	10.0	14.0		
			COP	—	3.10	3.05	3.05		
	OAT (DB/WB) -7 / -8°C	IWT/OWT 30 / 35°C	Capacity	kW	9.50	10.80	13.50		
			COP	—	3.10	3.00	2.85		
Nominal Cooling Operation*1	OAT (DB) 35°C	IWT/OWT 12 / 7°C	Capacity (Nom./Max.)	kW	8.5 / 9.9	10.0 / 11.5	11.0 / 13.0		
			EER (Nom.)	—	3.00	2.85	2.85		
		IWT/OWT 23 / 18°C	Capacity (Nom./Max.)	kW	9.0 / 10.8	11.0 / 13.0	14.0 / 14.8		
			EER (Nom.)	—	4.5	4.1	4.2		
		Seasonal Performance*2	Water Outlet 35°C	SCOP		—	4.8	4.7	4.6
				Seasonal Heating Efficiency ( $\eta_s$ )		%	188	185	180
Energy Rating				—	A+++	A+++	A+++		
Water Outlet 55°C	SCOP		—	3.4	3.35	3.3			
	Seasonal Heating Efficiency ( $\eta_s$ )		%	133	130	128			
	Energy Rating		—	A++	A++	A++			
Sound Pressure*3	Normal Mode		dB(A)	47	50	50			
	Low Noise Mode		dB(A)	43	46	46			
	Night Shift Mode		dB(A)	42	42	44			
Sound Power	Normal Mode		dB(A)	61	64	64			
Fan	Condenser Fan Quantity		—	1	1	1			
	Air Flow Rate		m <sup>3</sup> /h	5200	5200	4700			
Outer Dimensions	Height × Width × Depth		mm	840 × 1100 × 390					
Packing Dimensions	Height × Width × Depth		mm	1000 × 1185 × 532					
Weight(Net/Gross )			kg	73.5/88.0	73.5/88.0	91.5/105.5			
Refrigerant System	Compressor	Type		—	Rotary				
	Refrigerant Charge	Type		—	R32				
		Before Shipment		kg	1.8	1.8	2.7		
	Piping	Gas Pipe		mm(in.)	15.88 (5/8)	15.88 (5/8)	15.88 (5/8)		
		Liquid Pipe		mm	9.53 (3/8)	9.53 (3/8)	9.53 (3/8)		
	Min. Piping Length		m	4					
	Max. Chargeless Piping Length		m	15					
	Max. Piping Length		m	50					
Height Difference between ODU and IDU	ODU is Higher		m	30	30	30			
	IDU is Higher		m	20	20	20			
Operation Range	Heating	Outdoor Ambient Temperature		°C (DB)	-25-35				
		Outlet Water Temperature		°C	20-65				
	DHW	Outdoor Ambient Temperature		°C (DB)	-25-43				
		Tank Water Temperature		°C	30-60 ( 75*4 )				
	Cooling	Outdoor Ambient Temperature		°C (DB)	5-46				
		Outlet Water Temperature		°C	5-22				
Indoor Unit	Power Supply	AC 1 $\phi$ , 220-240V/50Hz,		—	AHM-100HCDSAA	AHM-120HCDSAA	AHM-140HCDSAA		
		AC 3 $\phi$ , 380-415V/50Hz		—	AHM-100HEDSAA	AHM-120HEDSAA	AHM-140HEDSAA		
Water Flow Rate	IWT: 30°C / OWT: 35°C $\Delta$ T: 5°C		m <sup>3</sup> /h	1.72	2.06	2.40			
	IWT: 47°C / OWT: 55°C $\Delta$ T: 8°C		m <sup>3</sup> /h	1.07	1.29	1.50			
	Min. Water Flow Rate		m <sup>3</sup> /h	0.8	0.9	1.1			
DC Water Pump	Max. Lift Pressure		m	12					
	Max. Water Flow Rate		m <sup>3</sup> /h	5.6					
	Speed		—	Inverter					
	Max. Power Input		W	180					
Water Electric Heater (3 Steps)			kW	2/4/6					
Shut-off Valve with Filter	Diameter		in.	G1"					
	Mesh Filter		—	50					
Safety Valve			bar	3					
Shut-off Valve			—	2 pcs Supplied					
Sound Pressure			dB(A)	30	30	30			
Sound Power			dB(A)	44	44	44			
Outer Dimensions(with connections)	Height × Width × Depth		mm	890 × 520 × 320					
Packing Dimensions	Height × Width × Depth		mm	419 × 1160 × 650					
Weight(Net/Gross )			kg	47/52	47/52	49/54			
Refrigerating Installation	Connection Type		—	Flare Nut					
	Gas Pipe		mm(in.)	15.88 (5/8)	15.88 (5/8)	15.88 (5/8)			
	Liquid Pipe		mm(in.)	9.53 (3/8)	9.53 (3/8)	9.53 (3/8)			
Water Installation	Connection type		—	Screwed Connection					
	Shutdown valves		in.	G1"– G1"(femal)					
	Inlet pipe diameter		in.	G1"(male)					
	Outlet pipe diameter		in.	G1"(male)					

### 3. LG Гідроспліт з компресором R1 HU123MA.U33RU / HN1636M.NK5RU [63]

Робота на обігрів :	до -25°C
Бренд :	LG
Тип теплового насосу :	Повітря-вода
Вид насосу (моноблок/спліт) :	Спліт
Площа приміщення, м2 :	101 – 120
Клас енергоефективності :	A+++
Потужність, кВт :	13
Холод, кВт :	11,0
Тепло, кВт :	12,0
Тип компресору :	інверторний
Споживана потужність при охолодженні, кВт :	2,6
Споживана потужність при обігріві, кВт :	2,647
Напруга, В :	380 (3ф, 50Гц)
Вага внутрішнього блоку, кг :	42
Вага зовнішнього блоку, кг :	89
Рівень шуму внутрішнього блоку, дБА :	34
Рівень шуму зовнішнього блоку, дБА :	59
Тип фреону :	R410A
Застосування :	Опалення
Застосування :	Охолодження
Застосування :	Гаряче водопостачання (ГВП)
Діаметр труб для підключення води, дюйм :	1
Wi-Fi :	Є

Колір внутрішнього блоку :	Білий
Країна виробник :	Південна Корея
Гарантія :	36 місяців