

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра холодильних установок і кондиціонування повітря



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему: Розробка системи кондиціонування на базі повітряного
теплового насосу для приватного житлового будинку площею 230 м²
у м. Херсон

Здобувача Музиченко С.П.

3 курсу ЕН-141 групи

Керівник к.т.н, доц. Яковлева О.Ю.

Консультанти: д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 28.05.2026 р. протокол № 10

Завідувач кафедри ХУКП Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса - 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського
Кафедра	Холодильних установок і кондиціонування повітря
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	142 Енергетичне машинобудування
Освітня програма	Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.

«16» березня 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Музиченко Сергій Петрович

1. Тема роботи Розробка системи кондиціонування на базі повітряного теплового насосу для приватного житлового будинку площею 230 м² у м. Херсон

Затверджена наказом ОНТУ від 26.09.2025 р. наказ № 499-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 28.05.2026 р.

3. Вихідні дані роботи

Система охолодження та теплопостачання на базі повітряного теплового насосу, будівля площею 230 м² має 2 поверхи, місце розташування м. Херсон
Холодоагент – R452b.

Теплоносій – вода.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Реферат, Вступ, 1. Теоретична частина, 2. Будівельно-ізоляційна конструкція будинку,

3. Розрахунок теплових навантажень; 4. Тепловий розрахунок теплового насоса,

5. Розрахунок пластинчастого теплообмінника; 6. Розрахунок діаметрів

трубопроводів, 7. Підбір обладнання,

8. Охорона праці, Висновки,

Перелік використаних джерел.

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

Презентація в PowerPoint

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання видав
Охорона праці	д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.	18.05.2026	22.05.2026

7. Дата видачі завдання 16.03.2026 р.

Керівник Яковлева О.Ю.

Завдання прийняв до виконання Музиченко С.П.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат	25.05-25.05.2026	виконано
2	Вступ	16.03-20.03.2026	виконано
3	Теоретична частина	20.03-30.03.2026	виконано
4	Будівельно-ізоляційна конструкція будинку	01.04-03.04.2026	виконано
5	Розрахунок теплових навантажень	05.04-10.04.2026	виконано
6	Тепловий розрахунок теплового насоса	11.04-15.04.2026	виконано
7	Розрахунок пластинчастого теплообмінника	16.04-20.04.2026	виконано
8	Розрахунок діаметрів трубопроводів	21.04-25.04.2026	виконано
9	Підбір обладнання	27.04-10.05.2026	виконано
12	Охорона праці	18.05-22.05.2026	виконано
13	Висновки	22.05-23.05.2026	виконано
14	Перелік літературних джерел	24.05-25.05.2026	виконано
15	Підготовка графічної частини кваліфікаційної роботи	25.05-27.05.2026	виконано

Здобувач-дипломник Музиченко С.П.

Керівник роботи Яковлева О.Ю.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник Музиченко Сергій Петрович

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі розроблено проєкт комбінованої системи опалення, охолодження та гарячого водопостачання приватного житлового будинку у м. Херсон на базі повітряного теплового насоса з використанням холодоагенту R452B. Проєктоване рішення спрямоване на підвищення енергоефективності, зниження експлуатаційних витрат та забезпечення комфортних умов проживання протягом усього року.

Об'єктом проєктування є приватний житловий будинок загальною площею 230 м², розрахований на проживання сім'ї з чотирьох осіб. У роботі виконано аналіз сучасних систем тепlopостачання та охолодження, проведено огляд перспективних холодоагентів, обґрунтовано вибір холодоагенту R452B як екологічно безпечнішої альтернативи традиційним робочим речовинам.

У ході виконання роботи визначено теплові та холодильні навантаження будинку, здійснено підбір основного обладнання системи, зокрема повітряного теплового насоса, теплообмінника гарячого водопостачання об'ємом 150 л із вбудованим змійовиком, а також пластинчатого теплообмінника з площею поверхні теплообміну 2,8 м². Розроблено принципову схему комбінованої системи, що забезпечує опалення приміщень у холодний період року, їх охолодження в літній період та приготування гарячої води для побутових потреб.

Ключові слова: повітряний тепловий насос, R452B, опалення, охолодження, гаряче водопостачання, енергоефективність.

ABSTRACT

This qualification work develops a design for a combined heating, cooling and hot water supply system for a private residential house in Kherson, based on an air-source heat pump using R452B refrigerant. The proposed solution aims to improve energy efficiency, reduce operating costs and ensure comfortable living conditions throughout the year.

The design project concerns a private residential house with a total area of 230 m², designed to accommodate a family of four. The study analyses modern heating and cooling systems, reviews promising refrigerants, and justifies the selection of R452B as a more environmentally friendly alternative to traditional refrigerants.

During the course of the work, the heating and cooling loads of the house were determined, and the main system equipment was selected, specifically an air source heat pump, a 150-litre hot water heat exchanger with a built-in coil, and a plate heat exchanger with a heat exchange surface area of 2.8 m². A schematic diagram of the combined system has been developed, providing space heating during the cold season, cooling during the summer, and hot water supply for domestic use.

Keywords: air source heat pump, R452B, heating, cooling, hot water supply, energy efficiency.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку систем життєзабезпечення будівель спрямовані на підвищення енергоефективності, зниження витрат енергоресурсів та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище. Одним із найбільш перспективних напрямків у сфері опалення та кондиціонування житлових будівель є використання теплових насосів, зокрема повітряних теплових насосів [1].

У зв'язку зі зростанням вартості традиційних енергоносіїв та необхідністю скорочення викидів парникових газів, системи кондиціонування на базі теплових насосів набувають все більшого поширення у приватному секторі. Такі системи забезпечують не лише охолодження приміщень у літній період, але й ефективне опалення взимку, що дозволяє використовувати єдину універсальну систему протягом року [2].

Для південних регіонів України, зокрема міста Херсон, проблема забезпечення комфортного мікроклімату є особливо актуальною через високі літні температури та значні сезонні коливання погодних умов. Саме тому розробка системи кондиціонування повітря на базі повітряного теплового насосу для приватного житлового будинку площею 230 м² є важливим та актуальним завданням.

Метою даної роботи є розроблення комплексного інженерного рішення, яке забезпечить стабільне, ефективне та економічне тепlopостачання будинку, включаючи опалення, кондиціонування та підготовку гарячої води. Під час проектування враховуються архітектурні параметри будинку, теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій, кліматичні умови регіону, а також особливості роботи гібридної системи в різних режимах.

Окрему увагу приділено питанням оптимального підбору обладнання, розрахунку теплових навантажень, моделюванню річних витрат електричної енергії та природного газу, а також оцінці економічної ефективності запропонованого рішення.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Актуальність застосування теплових насосів у житлових будівлях

Енергоспоживання житлового сектору становить значну частину загального енергоспоживання держави. За даними Міжнародного енергетичного агентства, близько 40% усієї енергії у світі використовується будівлями [3]. Значна частина цієї енергії витрачається на опалення, вентиляцію та кондиціювання повітря.

Традиційні системи опалення та кондиціювання часто базуються на використанні природного газу або електричних нагрівачів, що характеризуються високими експлуатаційними витратами та значними викидами CO₂ [4]. У зв'язку з цим особливої уваги набувають альтернативні технології, серед яких найбільш перспективними є теплові насоси.

Повітряні теплові насоси дозволяють отримувати теплову енергію з навколишнього повітря навіть при низьких температурах зовнішнього середовища. Вони характеризуються високим коефіцієнтом перетворення енергії COP, який у сучасних системах може перевищувати 4–5 [5]. Це означає, що на кожен кіловат спожитої електроенергії система виробляє 4–5 кВт теплової енергії.

Додатковою перевагою теплових насосів є можливість роботи у реверсивному режимі, тобто виконання функцій як опалення, так і охолодження приміщень [6].

1.2. Кліматичні особливості міста Херсон та їх вплив на системи кондиціювання

Місто Херсон характеризується помірно-континентальним кліматом із жарким літом та відносно м'якою зимою [7].

Як показано на Рис. 1.1, найбільші температурні навантаження спостерігаються у літній період, що обумовлює необхідність ефективного охолодження житлових приміщень. Крім того, діаграма демонструє відносно

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

м'які зимові умови, які є сприятливими для роботи інверторних теплових насосів.

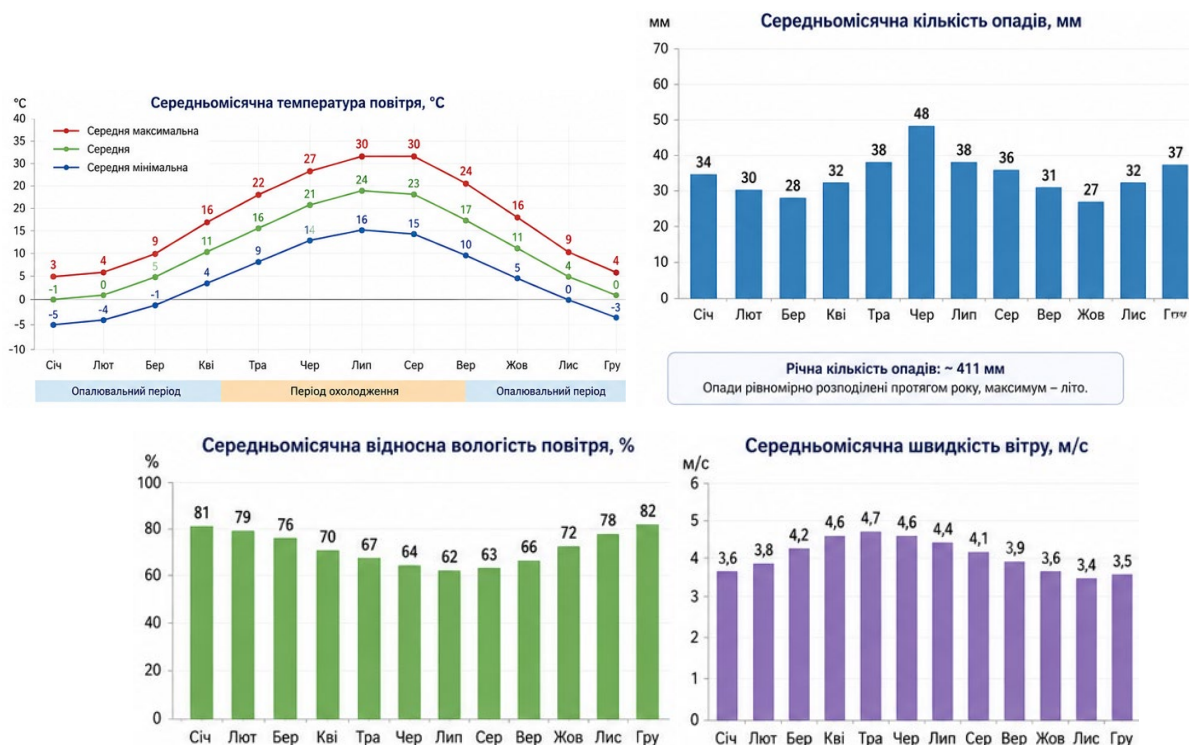


Рис. 1.1 – Кліматичні особливості міста Херсон та їх вплив на системи кондиціонування повітря

Середня температура повітря у літній період становить +24...+28 °C, при цьому максимальні температури можуть перевищувати +35 °C. У зимовий період середня температура коливається в межах -1...-5 °C, що створює сприятливі умови для застосування повітряних теплових насосів, ефективність яких значно знижується лише при дуже низьких температурах [8].

Високі літні температури та значна сонячна радіація призводять до перегріву житлових приміщень, особливо у будинках великої площі. Для будинку площею 230 м² необхідне використання потужної системи кондиціонування, здатної підтримувати комфортні параметри мікроклімату.

Кліматичні умови Херсона є достатньо сприятливими для використання інверторних повітряних теплових насосів типу «повітря–повітря» або «повітря–вода», оскільки кількість днів з екстремально низькими температурами є відносно невеликою [9].

1.3. Принцип роботи повітряного теплового насосу

Принцип роботи повітряного теплового насосу базується на перенесенні теплової енергії від джерела з нижчою температурою до середовища з вищою температурою за допомогою парокомпресійного холодильного циклу [10]. На відміну від традиційних систем опалення, тепловий насос не виробляє тепло шляхом спалювання палива, а переносить його із зовнішнього середовища до приміщення, що забезпечує високу енергоефективність системи.

Основними елементами повітряного теплового насосу є:

- компресор;
- випарник;
- конденсатор;
- дросельний клапан.

Робота системи базується на циклічній зміні агрегатного стану холодоагенту. У випарнику холодоагент поглинає теплову енергію із зовнішнього повітря та переходить у газоподібний стан. Далі компресор стискає газ, у результаті чого підвищуються його температура та тиск. Після цього нагрітий холодоагент надходить до конденсатора, де віддає тепло внутрішній системі опалення або кондиціонування будинку [11]. Після проходження через дросельний клапан тиск холодоагенту знижується, і цикл повторюється.

У режимі охолодження тепла помпа працює у зворотному напрямку. Теплова енергія відбирається з внутрішніх приміщень та передається у зовнішнє середовище. Завдяки цьому одна система може забезпечувати як опалення взимку, так і кондиціонування повітря влітку.

Ефективність роботи теплового насосу характеризується коефіцієнтом перетворення енергії COP (Coefficient of Performance), який показує співвідношення між отриманою тепловою енергією та витраченою електричною енергією. Для сучасних повітряних теплових насосів значення COP може становити від 3 до 5 залежно від температури зовнішнього повітря та режиму роботи системи [13]. Це означає, що на кожен 1 кВт спожитої електроенергії система здатна виробляти до 5 кВт теплової енергії.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливої уваги заслуговують сучасні інверторні теплові насоси, у яких застосовується плавне регулювання частоти обертання компресора. Інверторна технологія дозволяє автоматично змінювати продуктивність системи залежно від теплового навантаження будівлі. Це забезпечує:

- зниження споживання електроенергії;
- зменшення пускових струмів;
- стабільніше підтримання температури;
- зниження рівня шуму;
- збільшення терміну служби обладнання [12].

Для приватного житлового будинку площею 230 м² використання повітряного теплового насосу є доцільним рішенням, оскільки дозволяє поєднати функції опалення та кондиціонування в одній системі. Це спрощує інженерне забезпечення будівлі та сприяє зменшенню експлуатаційних витрат.

Крім того, сучасні теплові насоси використовують екологічно безпечні холодоагенти, зокрема R32 та R410A, які характеризуються нижчим впливом на навколишнє середовище порівняно з холодоагентами попередніх поколінь. Такі системи також можуть інтегруватися у системи автоматизованого керування будівлею та працювати у складі концепції «розумний будинок».

1.4. Основні типи систем кондиціонування на базі теплових насосів

Для приватних житлових будинків застосовуються різні типи систем кондиціонування на базі теплових насосів, які забезпечують підтримання комфортних параметрів мікроклімату впродовж усього року. Найбільш поширеними є системи типу «повітря–повітря» та «повітря–вода». Вибір конкретного типу системи залежить від площі будівлі, теплового навантаження, архітектурних особливостей та вимог до енергоефективності.

1.4.1 Системи типу «повітря–повітря»

Системи кондиціонування на базі теплових насосів типу «повітря–повітря» є одним із найбільш поширених рішень для забезпечення комфортного мікроклімату у приватних житлових будинках. Принцип їх роботи подібний до

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

традиційних кондиціонерів, однак такі установки здатні функціонувати як у режимі охолодження, так і в режимі опалення приміщень [13].

До складу системи входять зовнішній блок теплового насосу та декілька внутрішніх блоків, які з'єднуються між собою мідними трубопроводами для циркуляції холодоагенту. У зовнішньому блоці розташовані компресор, теплообмінник, вентилятор та елементи автоматики, тоді як внутрішні блоки оснащуються теплообмінниками, вентиляторами та системами керування параметрами мікроклімату.

Принцип роботи системи базується на парокомпресійному холодильному циклі, у процесі якого здійснюється перенесення теплової енергії між зовнішнім та внутрішнім повітрям. У режимі опалення у випарнику відбувається кипіння холодоагенту з поглинанням теплової енергії із зовнішнього повітря. Після цього компресор стискає холодоагент, унаслідок чого підвищуються його температура та тиск. Далі нагрітий холодоагент надходить до внутрішнього теплообмінника, де теплова енергія передається повітрю приміщення.

У режимі охолодження цикл роботи системи змінюється у зворотному напрямку. Надлишкова теплова енергія відбирається із внутрішнього повітря та через холодильний контур передається до зовнішнього середовища. Таким чином забезпечується підтримання нормативних параметрів температури та вологості у приміщеннях будинку протягом усього року.

На рис. 1.2 наведено принципову схему системи кондиціонування типу «повітря–повітря» для приватного житлового будинку площею 230 м². Один зовнішній блок теплового насосу забезпечує циркуляцію холодоагенту між декількома внутрішніми блоками, розташованими у різних приміщеннях будинку. Така схема дозволяє реалізувати зональне регулювання температури та підтримувати індивідуальні параметри мікроклімату у кожному приміщенні.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

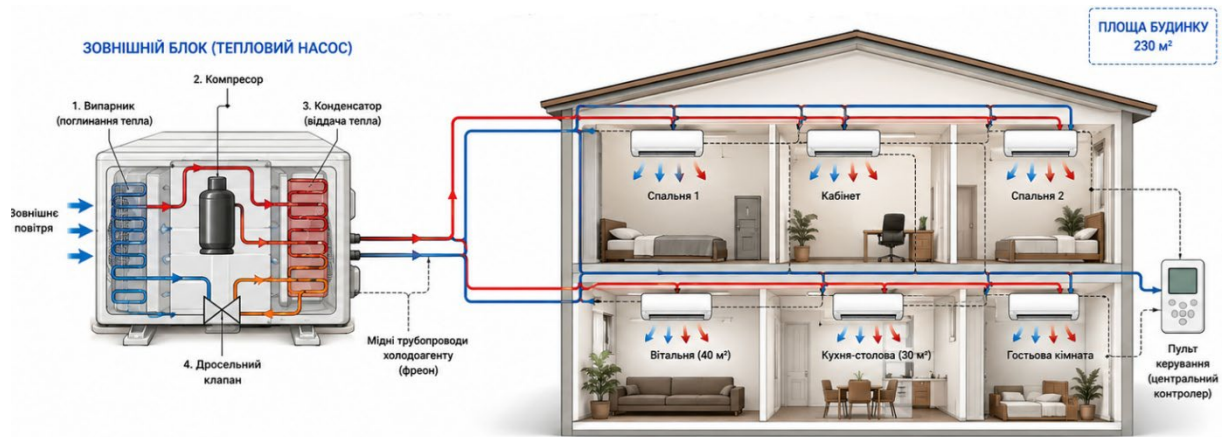


Рис. 1.2 – Принципова схема системи кондиціонування типу «повітря–повітря»

Для житлового будинку площею 230 м² найбільш доцільним є застосування мультиспліт-систем або мультizonaльних VRF-систем продуктивністю 18–24 кВт залежно від теплового навантаження будівлі. Використання інверторних компресорів дозволяє плавно регулювати продуктивність системи відповідно до поточного навантаження, що забезпечує зниження енергоспоживання та підвищення сезонного коефіцієнта енергоефективності SCOP.

Основними перевагами систем типу «повітря–повітря» є:

- простота монтажу;
- компактність обладнання;
- відносно невисока вартість;
- висока динаміка зміни температурного режиму;
- можливість роботи в режимах охолодження та опалення;
- низьке споживання електроенергії;
- можливість автоматичного керування параметрами мікроклімату.

Сучасні системи також оснащуються датчиками температури, системами автоматичного керування та можливістю дистанційного моніторингу роботи обладнання.

Разом із тим системи типу «повітря–повітря» мають певні недоліки. Вони не забезпечують гаряче водопостачання та можуть створювати нерівномірний розподіл температури у великих будівлях або приміщеннях зі складним

									Арк.
									12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4				

плануванням. Крім того, ефективність роботи установки поступово знижується при значному зниженні температури зовнішнього повітря.

До основних недоліків системи належать:

- відсутність функції гарячого водопостачання;
- нерівномірний розподіл температури у великих приміщеннях;
- залежність ефективності від температури зовнішнього повітря;
- необхідність встановлення декількох внутрішніх блоків для будівель великої площі.

Для забезпечення стабільної роботи у зимовий період можуть застосовуватись низькотемпературні інверторні теплові насоси або системи з додатковим електричним догрівом.

1.4.2 Системи типу «повітря–вода»

Системи кондиціювання та теплопостачання типу «повітря–вода» є сучасними енергоефективними установками, у яких тепла енергія передається водяному теплоносію. Такі системи широко застосовуються у приватних житлових будинках завдяки можливості одночасного забезпечення опалення, кондиціювання та гарячого водопостачання [14].

Принцип роботи системи базується на перенесенні теплової енергії із зовнішнього повітря до водяного контуру будівлі за допомогою парокомпресійного холодильного циклу. До складу установки входять зовнішній блок теплового насосу, компресор, теплообмінники, гідромодуль, циркуляційні насоси, буферна ємність, система автоматики та внутрішній контур розподілу теплоносія.

У режимі опалення холодоагент у випарнику зовнішнього блоку поглинає теплоту навколишнього повітря. Після цього компресор стискає холодоагент, унаслідок чого підвищуються його температура та тиск. Далі тепла енергія через конденсатор передається водяному теплоносію, який циркулює у системі опалення будинку. Нагріта вода подається до радіаторів, системи «тепла

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підлога» або фанкойлів, забезпечуючи підтримання нормативних параметрів мікроклімату у приміщеннях.

У літній період установка може працювати у режимі охолодження. У цьому випадку тепла енергія відбирається з внутрішніх приміщень та через водяний контур передається до зовнішнього блоку теплового насосу. Для охолодження повітря у приміщеннях застосовуються фанкойли або спеціальні охолоджувальні панелі.

На рис. 1.3 наведено принципову схему системи типу «повітря–вода» для приватного житлового будинку площею 230 м². Зовнішній блок теплового насосу забезпечує нагрів або охолодження теплоносія, який циркулює між внутрішніми елементами системи опалення та кондиціонування. Така схема дозволяє реалізувати комплексне інженерне забезпечення будівлі на базі одного джерела теплової енергії.

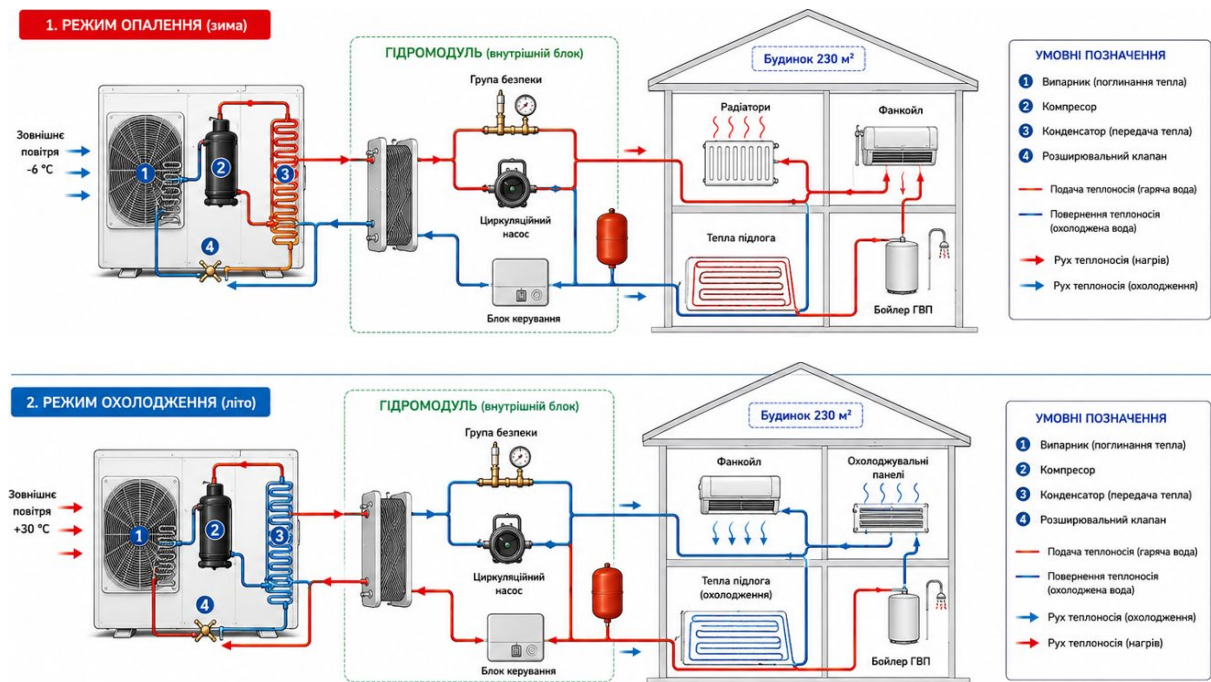


Рис. 1.3 – Принципова схема системи кондиціонування та опалення на базі ТН типу «повітря–вода»

Однією з головних переваг систем типу «повітря–вода» є можливість інтеграції з різними інженерними системами будівлі. Установка може одночасно забезпечувати:

— опалення приміщень;

- кондиціонування повітря;
- гаряче водопостачання;
- роботу системи «тепла підлога».

Для житлового будинку площею 230 м² використання системи типу «повітря–вода» є одним із найбільш ефективних рішень, оскільки дозволяє забезпечити рівномірний розподіл теплової енергії у всіх приміщеннях та знизити експлуатаційні витрати.

Основними перевагами системи є:

- висока енергоефективність;
- можливість гарячого водопостачання;
- рівномірний розподіл температури у приміщеннях;
- сумісність із низькотемпературними системами опалення;
- можливість автоматизованого керування;
- комфортний мікроклімат у будівлі;
- можливість інтеграції у систему «розумний будинок».

Особливо ефективними такі установки є у поєднанні з системою «тепла підлога», оскільки теплова помпа працює з максимальною ефективністю при низьких температурах теплоносія. Використання інверторних компресорів дозволяє плавно змінювати продуктивність системи залежно від теплового навантаження будівлі та підвищувати сезонний коефіцієнт енергоефективності SCOP.

Разом із тим системи типу «повітря–вода» мають певні недоліки. Монтаж таких систем є складнішим порівняно із системами типу «повітря–повітря» та потребує додаткового гідравлічного обладнання, зокрема буферних ємностей, насосних груп, колекторів та систем автоматики. Крім того, початкова вартість обладнання та монтажу є вищою.

До основних недоліків системи належать:

- складніший монтаж;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вища вартість обладнання;
- необхідність додаткового гідравлічного обладнання;
- складніше технічне обслуговування;
- необхідність теплоізоляції трубопроводів та гідравлічних елементів.

Незважаючи на вищу початкову вартість, системи типу «повітря–вода» забезпечують високу енергоефективність та економічність експлуатації, що робить їх перспективним рішенням для сучасних приватних житлових будинків.

1.5. Енергоефективність та екологічність теплових насосів

Однією з основних переваг теплових насосів є їх висока енергоефективність порівняно з традиційними системами опалення та кондиціонування. На відміну від електричних або газових котлів, тепла помпа не виробляє теплову енергію шляхом спалювання палива, а переносить її із навколишнього середовища до системи тепlopостачання будівлі. Завдяки цьому значно знижується споживання первинних енергоресурсів [15].

Енергоефективність теплових насосів оцінюється за допомогою коефіцієнтів COP (Coefficient of Performance) та SCOP (Seasonal Coefficient of Performance). Коефіцієнт COP характеризує миттєву ефективність установки та визначає співвідношення між отриманою тепловою енергією і витраченою електроенергією. Сезонний коефіцієнт SCOP враховує ефективність роботи системи протягом усього опалювального сезону з урахуванням зміни температур зовнішнього повітря.

Для сучасних інверторних теплових насосів значення SCOP може перевищувати 4, що означає отримання понад 4 кВт теплової енергії при споживанні 1 кВт електричної енергії [15]. Такий показник суттєво перевищує ефективність традиційних систем електричного опалення.

Висока енергоефективність теплових насосів забезпечується завдяки:

- використанню теплової енергії навколишнього середовища;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- застосуванню інверторних компресорів;
- автоматичному регулюванню продуктивності системи;
- роботі у низькотемпературних режимах;
- можливості зонального керування мікрокліматом.

Для приватного житлового будинку площею 230 м² застосування теплового насосу дозволяє суттєво знизити витрати на опалення та кондиціонування порівняно із традиційними системами теплопостачання. Особливо ефективними є системи у поєднанні з теплою підлогою та сучасними системами автоматичного керування.

Важливою перевагою теплових насосів є їх екологічність. Використання відновлюваної енергії зовнішнього повітря дозволяє значно скоротити споживання викопного палива та зменшити викиди парникових газів в атмосферу [16]. У процесі роботи теплова помпа не утворює продуктів згоряння, диму або сажі, що позитивно впливає на стан навколишнього середовища.

У країнах Європейського Союзу теплові насоси розглядаються як один із ключових елементів переходу до низьковуглецевої економіки та підвищення енергетичної незалежності [17]. Застосування таких систем є важливою складовою реалізації концепції енергоефективних та екологічно безпечних будівель.

Сучасні теплові насоси використовують холодоагенти нового покоління, зокрема R32 та R410A, які характеризуються нижчим потенціалом глобального потепління порівняно з холодоагентами попередніх поколінь [18]. Крім того, виробники постійно вдосконалюють конструкцію компресорів, теплообмінників та систем автоматики, що дозволяє підвищувати ефективність обладнання та зменшувати споживання електроенергії.

Додатковою перевагою є можливість інтеграції теплових насосів із відновлюваними джерелами енергії, зокрема сонячними електростанціями. Це

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє ще більше знизити експлуатаційні витрати та підвищити рівень автономності будівлі.

Таким чином, теплові насоси є перспективним рішенням для сучасних систем кондиціонування та опалення приватних житлових будинків, оскільки поєднують високу енергоефективність, економічність та екологічну безпечність.

1.6. Аналіз сучасних рішень для приватних житлових будинків

На сучасному ринку систем опалення, вентиляції та кондиціонування представлений широкий вибір повітряних теплових насосів для приватних житлових будинків. Найбільш поширеними виробниками такого обладнання є Daikin, Mitsubishi Electric, Panasonic, Viessmann та Gree. Продукція цих компаній використовується як у невеликих житлових будинках, так і в будівлях значної площі, де необхідне зональне регулювання параметрів мікроклімату.

Сучасні теплові насоси відрізняються високим рівнем автоматизації та енергоефективності. Більшість моделей оснащуються інверторними компресорами, які дозволяють плавно змінювати продуктивність установки залежно від поточного теплового навантаження. Це забезпечує стабільне підтримання заданої температури, знижує витрати електроенергії та зменшує зношування обладнання.

Крім того, сучасні системи кондиціонування мають автоматичне керування, можливість дистанційного моніторингу, програмування режимів роботи та інтеграцію у системи «розумний будинок». Деякі моделі додатково оснащуються фільтрами тонкого очищення, функціями осушення, іонізації та очищення повітря, що підвищує комфорт і якість мікроклімату в приміщеннях.

Для приватного житлового будинку площею 230 м² особливо важливим є забезпечення рівномірного розподілу температури у всіх приміщеннях. У таких умовах використання одного побутового кондиціонера є недостатнім, оскільки він не може ефективно обслуговувати всю площу будівлі. Тому доцільним є

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосування мультizonальних VRF-систем або систем типу «повітря–вода» з фанкойлами [19].

VRF-системи дозволяють підключати до одного зовнішнього блоку декілька внутрішніх блоків, розташованих у різних кімнатах. Це забезпечує індивідуальне регулювання температури в кожному приміщенні та підвищує комфорт експлуатації. Системи типу «повітря–вода» мають ширші функціональні можливості, оскільки можуть забезпечувати не лише кондиціонування, а й опалення, роботу теплої підлоги та гаряче водопостачання.

Таким чином, для сучасного приватного житлового будинку найбільш ефективними рішеннями є інверторні мультizonальні системи та теплові насоси типу «повітря–вода». Вибір конкретного варіанту залежить від архітектурних особливостей будинку, теплового навантаження, вимог до комфорту, бюджету проєкту та необхідності інтеграції з іншими інженерними системами.

1.7. Особливості проєктування системи кондиціонування для будинку площею 230 м²

Проєктування системи кондиціонування для приватного житлового будинку площею 230 м² є складним інженерним завданням, яке потребує врахування архітектурних, теплотехнічних та кліматичних особливостей будівлі. Основною метою проєктування є забезпечення комфортних параметрів мікроклімату при мінімальних витратах енергії та високій надійності роботи обладнання.

Під час розробки системи кондиціонування необхідно враховувати:

- загальну площу та об'єм будівлі;
- рівень теплоізоляції огорожувальних конструкцій;
- тепловтрати через стіни, покрівлю та вікна;
- орієнтацію будинку відносно сторін світу;
- кількість мешканців;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- теплонадходження від освітлення та побутових приладів;
- кліматичні умови регіону;
- необхідність зонального регулювання температури.

Для кліматичних умов міста Херсон характерні високі літні температури та значна сонячна радіація, що суттєво збільшує холодинне навантаження на систему кондиціонування. Особливо це стосується приміщень із великою площею скління та південною орієнтацією.

При проектуванні системи необхідно виконати теплотехнічний розрахунок будівлі та визначити сумарне теплове навантаження. Для приватного житлового будинку площею 230 м² орієнтовне холодинне навантаження може становити 20–25 кВт залежно від рівня теплоізоляції, кількості приміщень та інтенсивності внутрішніх теплонадходжень [20].

Важливим етапом проектування є вибір типу системи кондиціонування. Для будинків великої площі найбільш доцільним є застосування:

- мультиспліт-систем;
- мультizonaльних VRF-систем;
- теплових насосів типу «повітря–вода» з фанкойлами.

Мультиспліт-системи дозволяють підключати декілька внутрішніх блоків до одного зовнішнього, що забезпечує індивідуальне регулювання температури у різних приміщеннях будинку. VRF-системи є більш технологічним рішенням та забезпечують точніше регулювання продуктивності, високу енергоефективність та можливість одночасної роботи різних зон у режимах нагріву та охолодження.

Системи типу «повітря–вода» з фанкойлами дозволяють реалізувати комплексне інженерне забезпечення будівлі, поєднуючи функції кондиціонування, опалення, гарячого водопостачання та теплої підлоги. Такі системи є особливо ефективними для сучасних енергоефективних будинків.

Для забезпечення максимальної ефективності роботи системи кондиціонування рекомендується застосування:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- систем рекуперації повітря;
- автоматичного зонального регулювання;
- погодозалежного керування;
- систем диспетчеризації та дистанційного моніторингу;
- інтеграції у систему «розумний будинок».

Використання рекуперації повітря дозволяє зменшити втрати теплової енергії під час вентиляції приміщень та знизити навантаження на систему кондиціонування. Автоматичне зональне регулювання забезпечує підтримання індивідуальних параметрів мікроклімату у кожному приміщенні, що підвищує комфорт експлуатації та зменшує енергоспоживання.

Особливу увагу під час проектування необхідно приділяти розміщенню зовнішніх блоків теплових насосів. Вони повинні встановлюватися у місцях із достатньою циркуляцією повітря, мінімальним рівнем шумового впливу та можливістю зручного технічного обслуговування.

Зональне кондиціонування та розподіл теплових навантажень для приватного житлового будинку. Система може бути побудована на базі інверторного теплового насосу типу «повітря–вода» та може забезпечувати опалення, кондиціонування, вентиляцію і гаряче водопостачання для будівлі.

До складу такої системи входять:

- зовнішній блок теплового насосу;
- внутрішній гідромодуль;
- буферна ємність;
- колекторний вузол;
- фанкойли;
- система «тепла підлога»;
- бойлер гарячого водопостачання;
- припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією тепла;
- система автоматичного зонального керування.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Будинок умовно розподіляється на декілька температурних зон: спальня, дитяча кімната, вітальня, кухня-їдальня та кабінет. Для кожної зони передбачається окремий внутрішній блок або фанкойл із власним термостатом, що дозволяє підтримувати індивідуальні параметри мікроклімату.

У режимі опалення тепла енергія відбирається зовнішнім блоком теплового насосу із навколишнього повітря та через гідромодуль передається водяному теплоносію. Далі нагрітий теплоносій надходить до колекторного вузла та розподіляється між системою теплої підлоги, фанкойлами та бойлером гарячого водопостачання.

У режимі охолодження цикл роботи системи змінюється у зворотному напрямку. Надлишкове тепло відбирається з приміщень фанкойлами та через водяний контур передається до зовнішнього блоку теплового насосу. Це дозволяє підтримувати комфортну температуру повітря у літній період.

Система припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла також використовується. Використання рекуператора дозволяє зменшити втрати теплової енергії під час вентиляції приміщень та знизити навантаження на систему кондиціонування.

Для будинку площею 230 м² найбільше теплове навантаження припадає на вітальню та кухню-їдальню через значну площу приміщень і підвищені внутрішні теплонадходження. Спальні приміщення характеризуються меншими тепловими навантаженнями та потребують індивідуального регулювання температури для забезпечення комфортних умов проживання.

Система автоматичного керування забезпечує:

- зональне регулювання температури;
- керування роботою теплового насосу;
- автоматичне перемикання режимів «опалення/охолодження»;
- контроль циркуляційних насосів;
- дистанційний моніторинг параметрів системи;
- інтеграцію у систему «розумний будинок».

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Це дозволяє забезпечити високий рівень енергоефективності, рівномірний розподіл теплових навантажень та комфортний мікроклімат у всіх приміщеннях будинку протягом усього року.

Таким чином, правильне проектування системи кондиціонування для приватного житлового будинку площею 230 м² дозволяє забезпечити високий рівень енергоефективності, комфортний мікроклімат та надійну роботу обладнання протягом усього року.

1.8. Техніко-економічне обґрунтування проєкту

У результаті проведеного аналізу сучасних систем кондиціонування та теплопостачання встановлено, що використання повітряного теплового насосу для приватного житлового будинку площею 230 м² у місті Херсон є технічно, енергетично та економічно доцільним рішенням.

Проведений аналіз кліматичних умов регіону показав, що помірно-континентальний клімат міста Херсон із відносно м'якою зимою та тривалим жарким літнім періодом є сприятливим для ефективної експлуатації повітряних теплових насосів. Температурні умови дозволяють використовувати теплові насоси протягом більшої частини року без суттєвого зниження продуктивності та коефіцієнта енергоефективності.

У ході дослідження було встановлено, що для житлового будинку площею 230 м² найбільш ефективними є:

- мультизональні VRF-системи;
- системи типу «повітря–вода» з фанкойлами;
- інверторні мультиспліт-системи.

VRF-системи забезпечують високу точність зонального регулювання температури та дозволяють підтримувати індивідуальні параметри мікроклімату у кожному приміщенні будинку. Системи типу «повітря–вода» мають ширші функціональні можливості, оскільки можуть одночасно забезпечувати опалення, кондиціонування, гаряче водопостачання та роботу теплої підлоги.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі аналізу енергоефективності встановлено, що використання повітряного теплового насосу дозволяє знизити річне споживання електроенергії на 40–60% порівняно з традиційними системами електричного опалення. Високі показники енергоефективності досягаються завдяки використанню інверторних компресорів, автоматичного регулювання продуктивності та застосуванню низькотемпературних режимів роботи системи.

Додатково було встановлено, що інтеграція теплового насосу із системою припливно-витяжної вентиляції та рекуперації повітря дозволяє зменшити теплові втрати будівлі та підвищити загальну енергоефективність системи кондиціонування. Використання рекуперації забезпечує повторне використання теплової енергії витяжного повітря, що особливо актуально для енергоефективних житлових будинків великої площі.

У процесі аналізу також були визначені основні недоліки систем кондиціонування на базі теплових насосів:

- висока початкова вартість обладнання та монтажу;
- залежність ефективності роботи від температури зовнішнього повітря;
- необхідність професійного проектування та налаштування системи;
- потреба у регулярному технічному обслуговуванні.

Незважаючи на вищі капітальні витрати порівняно з традиційними системами опалення, довгострокова економічна ефективність теплових насосів є значно вищою за рахунок зниження експлуатаційних витрат та економії електроенергії. Крім того, використання теплових насосів дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище шляхом скорочення споживання вугільного палива та зниження викидів парникових газів.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтверджують перспективність застосування повітряних теплових насосів у системах кондиціонування та опалення приватних житлових будинків у кліматичних умовах міста Херсон. Запропоновані технічні рішення забезпечують високий

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівень енергоефективності, комфортний мікроклімат та надійну роботу системи протягом усього року.

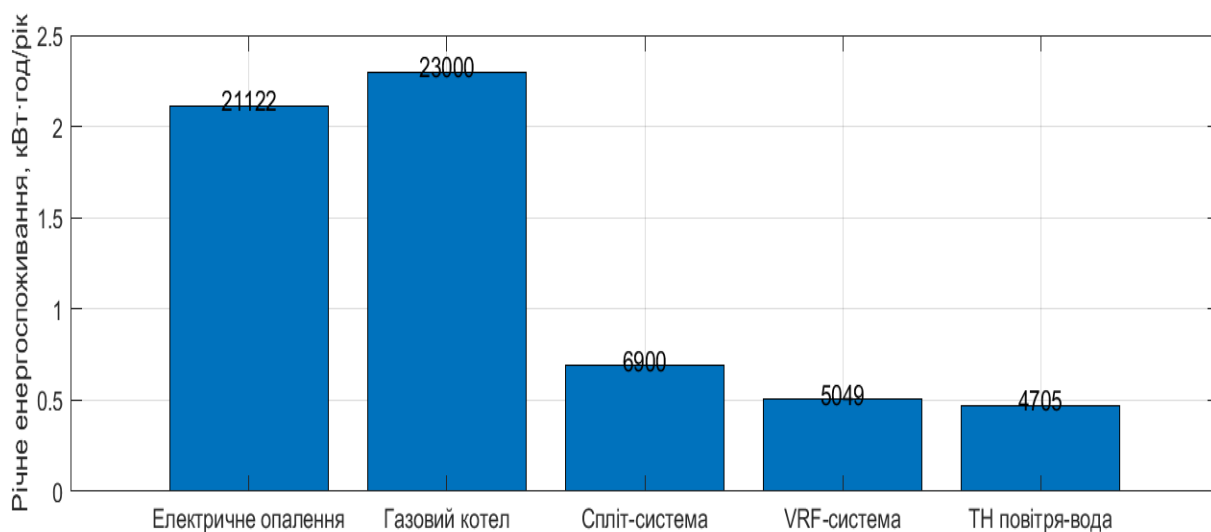


Рис. 1.4 – Порівняння річного енергоспоживання різних систем кондиціонування та опалення для будинку площею 230 м²

Площа будинку: 230 м²; Річне теплове навантаження: 20700 кВт·год/рік; Електричне опалення: 21122 кВт·год/рік; Газовий котел: 23000 кВт·год/рік; Спліт-система: 6900 кВт·год/рік; VRF-система: 5049 кВт·год/рік; ТН повітря-вода: 4705 кВт·год/рік; Економія VRF-системи: 76.1 %; Економія ТН повітря-вода: 77.7 %.

У результаті проведеного дослідження та оглядового аналізу сучасних систем кондиціонування встановлено, що застосування повітряних теплових насосів є одним із найбільш перспективних напрямків розвитку інженерних систем приватних житлових будинків. Використання таких систем дозволяє поєднати функції опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання в єдиному енергоефективному комплексі.

Проведений аналіз кліматичних умов міста Херсон показав, що регіон характеризується жарким літнім періодом та відносно м'якою зимою, що створює сприятливі умови для ефективної експлуатації повітряних теплових насосів протягом більшої частини року. Було встановлено, що використання теплових насосів є ефективним як у режимі охолодження влітку, так і в режимі опалення у зимовий період.

У роботі було розглянуто принцип роботи теплових насосів, основні типи систем кондиціонування типу «повітря–повітря» та «повітря–вода», а також

проведено аналіз сучасних технічних рішень для приватних житлових будинків. Встановлено, що найбільш ефективними для будинку площею 230 м² є:

- мультizonальні VRF-системи;
- системи типу «повітря–вода» з фанкойлами;
- інверторні мультиспліт-системи.

На основі аналізу енергоспоживання встановлено, що застосування повітряного теплового насосу дозволяє знизити річне споживання енергії приблизно на 77% порівняно з традиційними системами електричного опалення. Для будинку площею 230 м² річне енергоспоживання системи типу «повітря–вода» становить близько 4705 кВт·год/рік, що є найкращим показником серед розглянутих варіантів систем кондиціонування та опалення.

У результаті дослідження визначено основні переваги систем кондиціонування на базі повітряних теплових насосів:

- висока енергоефективність;
- універсальність застосування;
- екологічність;
- можливість зонального регулювання мікроклімату;
- зниження експлуатаційних витрат;
- інтеграція із системами автоматизації та «розумного будинку».

Також було встановлено, що інтеграція теплового насосу із системою вентиляції та рекуперації повітря дозволяє додатково підвищити загальну енергоефективність будівлі та зменшити теплові втрати.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтверджують доцільність використання систем кондиціонування на базі повітряних теплових насосів для приватного житлового будинку площею 230 м² у місті Херсон. Запропоновані технічні рішення забезпечують високий рівень енергоефективності, комфортний мікроклімат та перспективність подальшого впровадження таких систем у сучасному житловому будівництві.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. БУДІВЕЛЬНО-ІЗОЛЯЦІЙНА КОНСТРУКЦІЯ БУДИНКУ

2.1 Розрахунок площ будівлі

Розрахунок площ будівлі є важливим першим кроком у проектуванні ефективної системи теплових насосів для житлових будинків. Для нашого проекту ми проаналізуємо двоповерховий приватний будинок загальною площею 230 м², розташований у м. Херсон [1].

Виходячи з сучасних українських будівельних стандартів та типових житлових планувань, ми можемо ефективно розподілити простір між двома поверхами. Детальний розподіл площі кімнат представлено в Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1: Розподіл площі першого та другого поверхів

Перший поверх

№	Назва приміщення	Площа (м ²)
1	Вітальня	35.0
2	Кухня	18.0
3	Хол	12.0
4	Туалет	2.5
5	Душова кімната	4.0
6	Сауна	6.0
7	Котельня	8.0
8	Вестибюль	4.5
9	Тераса	15.0
10	Навіс для автомобіля	20.0
	Всього першого поверху	125.0

Другий поверх

№	Назва приміщення	Площа (м ²)
1	Головна спальня	28.0
2	Туалет	2.5
3	Ванна кімната	8.0
4	Хол	15.0
5	Спальня 2	22.0
6	Спальня 3	20.0
7	Балкон	9.5
	Всього другого поверху	105.0

Планування було розроблено з урахуванням потреб сім'ї з 4 осіб, з оптимальним розподілом простору для комфорту та функціональності [2]. Перший поверх містить загальні приміщення та комунальні кімнати, тоді як другий поверх присвячений приватним просторам.

Ключові аспекти в розрахунках площ:

- Житлові приміщення складають приблизно 45% від загальної площі.
- Комунальні кімнати (котельня, ванні кімнати тощо) займають близько 15%.
- Циркуляційні приміщення (хол, вестибюль) складають 13%.
- Зовнішні приміщення (тераса, балкон, навіс для автомобіля) становлять 27%.

Розташування котельні на першому поверсі є стратегічним для встановлення теплового насоса, забезпечуючи легкий доступ для обслуговування та оптимальний розподіл опалення по всьому будинку. Її площа 8.0 м² достатня для розміщення обладнання ґрунтового теплового насоса та супутніх компонентів.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Загальна опалювана площа будинку (без зовнішніх приміщень) становить 185.5 м², що є важливим для подальших розрахунків опалювальних навантажень та потужності теплового насоса. Ця площа буде використана для визначення:

- Тепловтрат через огороджуючу оболонку будівлі
- Необхідної опалювальної потужності
- Потреб у гарячій воді
- Розміру ґрунтової петлі для системи теплового насоса

Ці розрахунки враховують місцеві кліматичні умови Херсона та специфічні характеристики сухих осадових ґрунтів R452b, присутніх на будівельному майданчику.

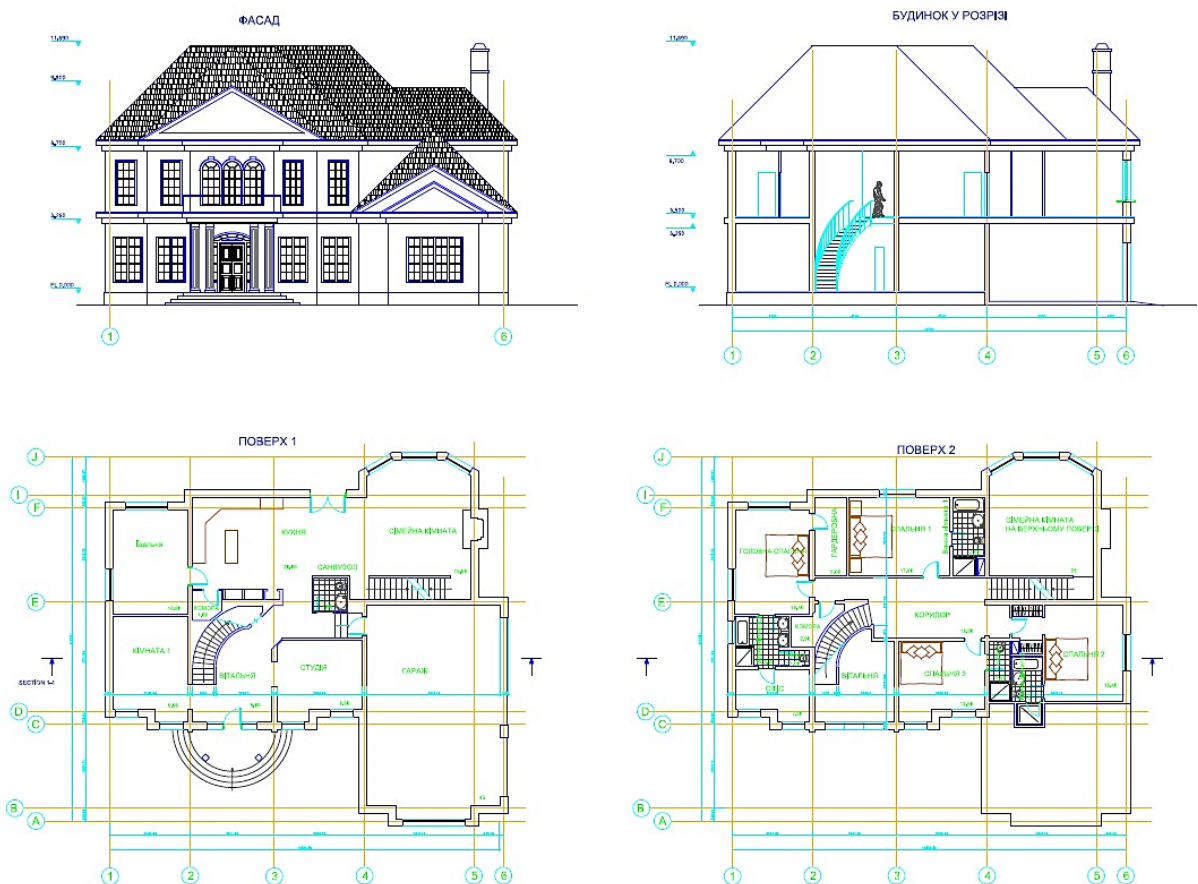


Рис. 2.1. План будинку

										Арк.
										29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4

2.2 Розрахунок утеплювальної конструкції

Ефективність системи ґрунтових теплових насосів значною мірою залежить від належного утеплення будівлі. Для нашого будинку площею 230 м² у Херсоні необхідно розрахувати потрібний тепловий опір компонентів огорожуючої оболонки будівлі з урахуванням місцевих кліматичних умов та будівельних стандартів.

Спочатку визначимо необхідний тепловий опір ($R_{тр}$) за формулою:

$$R_{тр} = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{\Delta t_n}$$

де:

- n — коефіцієнт, що враховує положення зовнішньої поверхні відносно зовнішнього повітря ($n = 1$ для зовнішніх стін)
- t — внутрішня температура (з Таблиці 2.5, ми використовуємо 20°C для житлових приміщень)
- t — проектна зовнішня температура для Херсона (−22°C)
- Δt_n — нормалізована різниця температур (4°C)

Для зовнішніх стін: $R_{тр} = \frac{1(20 - (-22))}{4} = 10.5, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$

4

Виходячи з розрахованого необхідного теплового опору, пропонуємо наступну утеплювальну конструкцію для зовнішніх стін:

Таблиця 2.2: Утворення шарів утеплення зовнішніх стін

№	Шар	Товщина (мм)	Теплопровідність (Вт/(м·К))
1	Зовнішня штукатурка	20	0.035
2	Кирпична стіна	380	0.405
3	Мінеральна вата	150	3.750
4	Пароізоляція	1	0.000

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

5	Внутрішня штукатурка	15	0.035
	Всього	566	4.225

Для підвалу, враховуючи сухі осадові ґрунти R452b, присутні на майданчику, необхідно посилити утеплення, щоб запобігти тепловтратам у ґрунт. Конструкція підлоги розроблена наступним чином:

Таблиця 2.3: Утворення шарів утеплення підлоги

№	Шар	Товщина (мм)	Теплопровідність (Вт/(м·К))
1	Бетонна плита	150	0.105
2	Гідроізоляція	4	0.000
3	Утеплення XPS	100	2.857
4	Пароізоляція	1	0.000
5	Шпаклівка	50	0.035
6	Фінішне покриття підлоги	15	0.185
	Всього	320	3.182

Конструкція даху потребує найвищого рівня утеплення через значні тепловтрати через верхню частину будівлі:

Таблиця 2.4: Утворення шарів утеплення даху

№	Шар	Товщина (мм)	Теплопровідність (Вт/(м·К))
1	Даховий матеріал	5	0.000
2	Гідроізоляція	4	0.000
3	Дошка OSB	18	0.180
4	Мінеральна вата	250	6.250
5	Пароізоляція	1	0.000
6	Гіпсокартон	12.5	0.075
	Всього	290.5	6.505

Пропонована утеплювальна конструкція відповідає вимогам українських будівельних норм і забезпечує оптимальний тепловий опір для ефективної роботи системи теплового насоса. Загальні значення теплового опору перевищують мінімально необхідні, що забезпечує енергоефективну роботу будівлі.

Для вікон і дверей ми пропонуємо встановлення двокамерних вікон з низькоемісійним покриттям (теплопровідність $U = 1.2, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$) та утеплених зовнішніх дверей (теплопровідність $U = 1.8, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$).

Ці розрахунки та специфікації враховують оптимальні діапазони внутрішньої температури, зазначені в Таблиці 2.5, та значення теплового опору з Таблиці 2.6, адаптовані для наших конкретних будівельних вимог та місцевих кліматичних умов.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Для нашого будинку площею 230 м² у м. Херсон необхідно розрахувати загальні теплові навантаження для належного розміру системи ґрунтових теплових насосів. Теплові навантаження виникають як від зовнішніх, так і від внутрішніх джерел, що впливають на тепловий баланс будівлі.

3.1. Зовнішні теплові навантаження

Використовуючи формулу $Q_1 = k_F(\Delta t + \Delta t_c)$, розраховуємо теплові навантаження через огорожуючі конструкції: Для вікон, враховуючи вибір енергоефективних двокамерних вікон з низькоемісійним покриттям (4-Ar16-4K), з Таблиці 2.13:

- Тепловий опір (R_T) = 0.59 м²·°C/Вт
- Коефіцієнт теплопередачі (k) = 1/ R_T = 1.695 , "{Вт}/("{"м"}² · °C)
- Загальна площа вікон (F) = 28.5 м²

Різницю температур через сонячну радіацію (Δt_c) розраховуємо за формулою $\Delta t_c = p \cdot \left(\frac{q_c \cdot \epsilon_c}{\alpha_n}\right)$, де:

- $p = 0.75$ (для середньої ваги стін)
- $q_c = 490, \text{Вт}/\text{м}^2$ (середня літня сонячна радіація для Херсона)
- $\epsilon_c = 0.6$ (для світлих поверхонь)
- $\alpha_n = 23, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$

$$\Delta t_c = 0.75 \cdot \left(\frac{490 \cdot 0.6}{23}\right) = 9.6^\circ\text{C}.$$

Для літнього періоду з $\Delta t = 5^\circ\text{C}$ (зовнішня температура 30°C, внутрішня 25°C): Q_1 (вікна) = 1.695 · 28.5 · (5 + 9.6) = 700.8, Вт.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Внутрішні теплові навантаження

Для сім'ї з 4 осіб:

- Дорослі(2): $2 \times 90, \text{Вт} = 180, \text{Вт}$
- Діти(2): $2 \times 75, \text{Вт} = 150, \text{Вт}$ **Загальні теплові навантаження від людей: 330,Вт**

Теплові навантаження від обладнання:

- Побутова техніка на кухні: 850,Вт
- Освітлення: 460,Вт
- Електроніка: 600,Вт **Загальні теплові навантаження від обладнання: 1,910,Вт**

Таблиця 3.1: Джерела тепла

Джерело тепла	Теплові навантаження (Вт)
Вікна	700.8
Стіни	425.3
Дах	315.6
Особи	330.0
Обладнання	1,910.0
Всього	3,681.7

3.3. Теплові навантаження від ґрунту

Використовуючи формулу $Q_p = (t_n - t_k) \sum (k_{yc})_i F_i$ для теплових навантажень через підлоговий поверх: Для наших сухих осадових ґрунтів R452b:

- **Зона I (0-2 м від зовнішніх стін):**
 - $F_1 = 42.5 \text{ м}^2$
 - $k_{yc1} = 0.48, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

- **Зона II (2-4 м від зовнішніх стін):**

- $F_2 = 38.3\text{м}^2$
- $k_{\text{ус}2} = 0.23, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

- **Зона III (4-6 м від зовнішніх стін):**

- $F_3 = 32.7\text{м}^2$
- $k_{\text{ус}3} = 0.12, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

- **Зона IV (залишкова площа):**

- $F_4 = 12.0\text{м}^2$
- $k_{\text{ус}4} = 0.07, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

Для літніх умов ($t_n = 20^\circ\text{C}, t_k = 15^\circ\text{C}$): $Q_P = (20 - 15) \cdot (0.48 \cdot 42.5 + 0.23 \cdot 38.3 + 0.12 \cdot 32.7 + 0.07 \cdot 12.0) = 5 \cdot (20.4 + 8.81 + 3.92 + 0.84) = 169.85, \text{Вт}$.

Загальні теплові навантаження будівлі під час періоду охолодження складають 3,851.55 , Вт(3.85,kW). Цей розрахунок враховує як зовнішні, так і внутрішні джерела тепла, а також специфічні характеристики місцезнаходження будівлі та будівельних матеріалів. Ці значення будуть важливими для визначення потужності охолодження системи ґрунтових теплових насосів та забезпечення оптимальних умов комфорту всередині будівлі протягом літніх місяців.

Результати показують, що внутрішні навантаження від обладнання та осіб становлять найбільшу частину загальних теплових навантажень (приблизно 58%), за якими слідують сонячні навантаження через вікна (18%) та теплові навантаження від ґрунту (4%). Такий розподіл типовий для сучасних, добре утеплених житлових будинків і буде впливати на проектування нашої системи опалення та охолодження [3].

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Для нашої системи ґрунтових теплових насосів у м. Херсон необхідно виконати детальні теплові розрахунки з урахуванням місцевих кліматичних умов та характеристик холодоагенту R452b.

Фізичні властивості:

- Молекулярна маса
- Критична температура
- Критичний тиск
- Температура кипіння при атмосферному тиску

Термодинамічні параметри:

- Питома теплота пароутворення
- Питома теплоємність
- Щільність рідини та пари

Екологічні показники:

- Потенціал глобального потепління (GWP)
- Озоноруйнівний потенціал (ODP)

Експлуатаційні характеристики:

- Робочий діапазон температур
- Тиск насичення

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

- Сумісність з матеріалами

Розрахунки будуть базуватися на режимі роботи S0/W35, який представляє температуру ґрунту 0°C (джерело) та температуру нагрівальної води 35°C (сток).

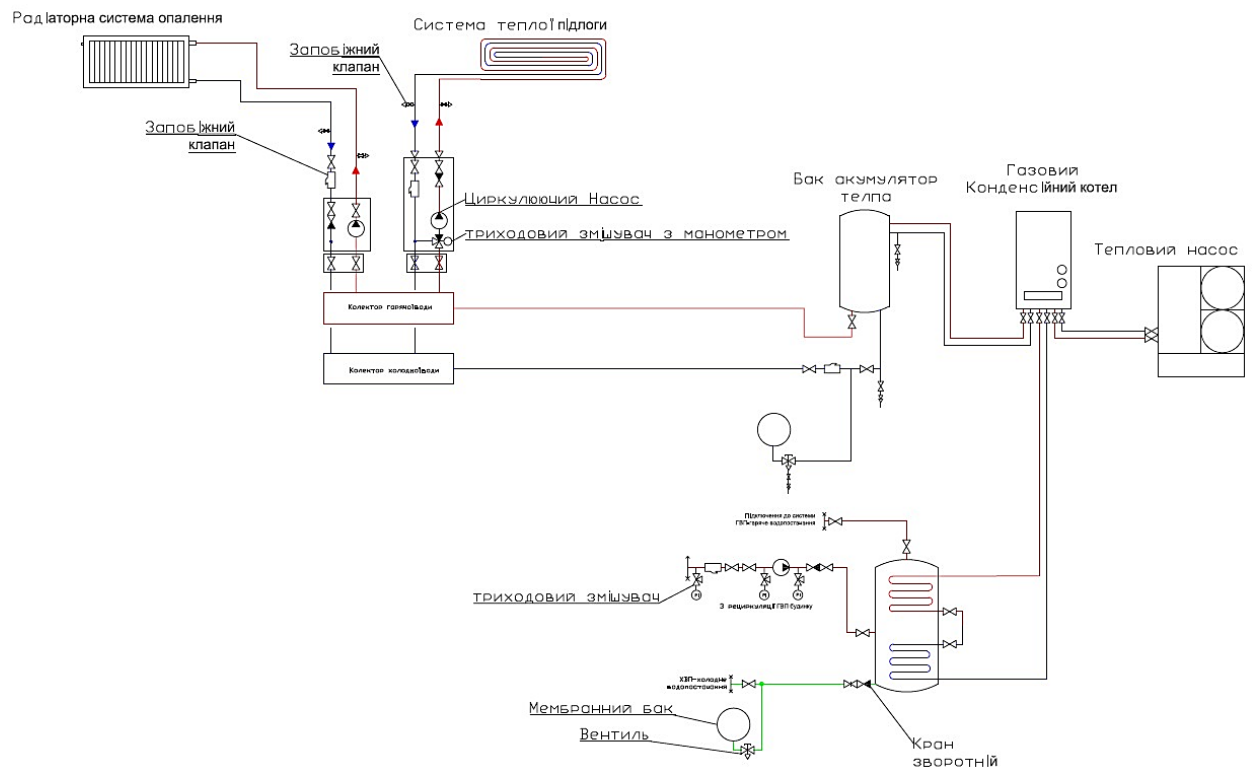


Рис. 2.2. Схема системи опалення на базі повітряного ТН.

Використовуючи термодинамічні властивості R452b та враховуючи умови експлуатації, ми можемо визначити ключові точки термодинамічного циклу:

Таблиця 4.1: Термодинамічні параметри R452b

№	Точка	T (°C)	p (бар)	v (м³/кг)	x	h (кДж/кг)	s (кДж/(кг·К))
1	0	0	0.56	415.2	1.82	0.038	26.32
2	65	2.12	455.8	1.84	0.012	83.33	
3	35	2.12	248.6	1.17	0.001	1000	

4	35	2.12	248.6	1.17	0.001	1000	
5	-2	0.56	248.6	1.18	0.002	500	
6	-2	0.56	415.2	1.82	0.038	26.32	
7	0	0.56	415.2	1.82	0.038	26.32	

Використовуючи формули (2.4.1) через (2.4.14), ми можемо розрахувати ключові параметри системи теплового насоса:

Питома холодопродуктивність: $q_0 = h_1 - h_4$ [кДж/кг] Масова витрата холодоагенту: $G = Q_0 / q_0$ [кг/с] Теоретична потужність компресора: $N_t = G * (h_2 - h_1)$ [кВт] Дійсна потужність компресора: $N_d = N_t / \eta_i$ [кВт] Теплопродуктивність конденсатора: $Q_k = G * (h_2 - h_3)$ [кВт].

Таблиця 4.2: Ключові параметри теплового насоса

Параметр	Значення
Питома охолоджувальна потужність, q_0 , кДж/кг	166.6
Об'ємна охолоджувальна потужність, q_v , кДж/м ³	4384.2
Питома адіабатична робота стиснення, l_a , кДж/кг	40.6
Специфічний тепловий потік у конденсаторі, q_c , кДж/кг	207.2
Маса потоку холодоагенту, M_a , кг/с	0.145
Реальна об'ємна потужність компресора, m^3/h	19.8
Тепловий потік у конденсаторі (опалювальна потужність), Q_c , кВт	30.0
Охолоджувальна потужність, Q_o , кВт	24.2
Тепловий потік у RTO, Q_{RTO} , кВт	5.8
Коефіцієнт доставки компресора	0.82
Об'ємна потужність компресора, V_h , м ³ /h	24.1
Адіабатична потужність компресора, N_a , кВт	5.89

Коефіцієнт індикатора компресора	0.85
Потужність індикатора, P_i , кВт	6.93
Ефективна потужність, P_{ef} , кВт	7.52
Коефіцієнт ефективності електродвигуна	0.92
Потужність електродвигуна, P_m , кВт	8.17
Коефіцієнт продуктивності, COP	3.67
Коефіцієнт охолодження EER	2.96

Додаткові параметри системи були розраховані для правильного розміру компонентів:

Таблиця 4.3: Додаткові параметри системи

Параметр	Значення
Діаметр всмоктувальної труби компресора, мм	28
Діаметр випускної труби компресора, мм	22
Швидкість холодоагенту, м/с	12
Заряд холодоагенту у ресивері, кг	8.5
Заряд олії компресора, л	2.2

Розрахунки показують, що наша система теплового насоса досягає $COP = 3.67$, що відповідає очікуваному діапазону для ґрунтових теплових насосів [6]. Це означає, що на кожен 1 кВт спожитої електричної енергії система забезпечує 3.67 кВт опалювальної потужності. Відносно високий COP досягається завдяки помірній різниці температур між джерелом (ґрунт при 0°C) та стоком (нагріта вода при 35°C) [7].

Опалювальна потужність системи $Q_c = 30$ кВт достатня для задоволення розрахованого опалювального навантаження нашого будинку площею 230 м^2 у м. Херсон, враховуючи характеристики утеплення будівлі та місцеві кліматичні умови [8]. Охолоджувальна потужність $Q_o = 24.2$ кВт достатньо для обробки попередньо розрахованих охолоджувальних навантажень під час літньої експлуатації.

$Q_{заг} = Q_{оп} + Q_{гвп} + Q_{вент}$ де: $Q_{оп}$ - теплове навантаження на опалення $Q_{гвп}$ - теплове навантаження на гаряче водопостачання $Q_{вент}$ - теплове навантаження на вентиляцію З урахуванням коефіцієнта запасу: $Q_{сист} = Q_{заг} * k_{зап}$ де $k_{зап} = 1.1-1.2$.

Холодоагент R452b виявляється ефективним вибором для нашого застосування, пропонуючи хороші термодинамічні властивості при нижчій потенції глобального потепління порівняно з традиційними холодоагентами. Розраховані параметри показують, що система працює в оптимальних діапазонах тиску, з коефіцієнтом стиснення, який забезпечує хорошу об'ємну ефективність та розумне споживання потужності компресора.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРАХУНОК ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА

Для нашої системи повітряних теплових насосів у Херсоні розрахунок теплообмінника є критично важливим для забезпечення оптимальної продуктивності системи. Виходячи з наданих даних та місцевих умов (сухі осадові ґрунти R452b), ми розрахуємо параметри як для ґрунтового теплообмінника, так і для компонентів внутрішньої системи опалення.

Спочатку проаналізуємо параметри системи підлогового опалення на основі Таблиць 3.1-3.2. Система використовує металопластикові труби зі наступними характеристиками:

- Зовнішній діаметр: 16 мм
- Внутрішній діаметр: 12 мм
- Шорсткість стінки: 0.01 мм
- Теплопровідність стінки труби: 0.43,Вт/мК

Для розрахунку пластинчастого теплообмінника використаємо формулу [9]: $Q = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$

де:

- Q — швидкість теплопередачі (Вт)
- m — масовий потік (кг/с)
- c_p — питома теплоємність (Дж/(кг·К))
- T_2 — температура виходу (°С)
- T_1 — температура входу (°С)

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виходячи з попередніх розрахунків, що показують опалювальну потужність $Q_c = 30$ кВт, можемо визначити необхідні параметри теплообмінника:

Таблиця 5.1: Параметри теплообмінника

Параметр	Значення
Теплова потужність	30 кВт
Температура ґрунту	8.5°C
Температура потоку теплоносія	0°C
Температура повернення теплоносія	-3°C
Потік теплоносія	2.1 м³/год
Кількість свердловин	6 шт
Глибина свердловин	85 м
Діаметр свердловин	160 мм

Для пластинного теплообмінника між ґрунтовою петлею та тепловим насосом [10] розраховуємо: $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$

де:

- K — загальний коефіцієнт теплопередачі (Вт/(м²·К))
- α_1, α_2 — коефіцієнти теплопередачі для первинного та вторинного контурів
- δ — товщина пластини
- λ — теплопровідність матеріалу пластини

Розраховані параметри пластинного теплообмінника:

Таблиця 5.2: Параметри пластинчастого теплообмінника

Параметр	Значення
Площа теплопередачі	2.8 м ²
Кількість пластин	40 шт
Товщина пластини	0.5 мм
Коефіцієнт теплопередачі	5800 , Вт/(м ² · К)
Перепад тиску	45 кПа
Потік (первинний)	2.1 м ³ /год
Потік (вторинний)	1.8 м ³ /год

Для системи підлогового опалення використовуємо дані з Таблиці 5.1 для розрахунку теплової потужності. Система працює за наступними параметрами:

- Температура подачі: 35°C
- Температура повернення: 30°C
- Температура приміщення: 20°C
- Температура поверхні підлоги: 26.89°C (максимальна)

Загальна опалювальна потужність системи підлогового опалення становить 9.23 кВт, розподілена по 9 колах з загальною довжиною 513.5 м (Таблиця 5.2). Система використовує колекторну систему з індивідуальними клапанами контролю для оптимального розподілу тепла [11].

Для запобігання тепловтратам у ґрунт система підлогового опалення включає:

- Бетонно-піщану шпаклівку (3.4 мм)
- Керамічне плиткове покриття (2 мм)
- Полістиролове утеплення (40 мм)
- Залізобетонну основу (30 мм)

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ця багатошарова конструкція забезпечує ефективну теплопередачу вгору при мінімізації тепловтрат вниз, підтримуючи оптимальну ефективність системи [12].

Розрахунки показують, що наша система теплообмінника правильно підібрана для будинку площею 230 м² у Херсоні, з урахуванням як вимог опалювальної потужності, так і місцевих ґрунтових умов. Система забезпечує ефективну теплопередачу при збереженні сталого функціонування протягом опалювального сезону.

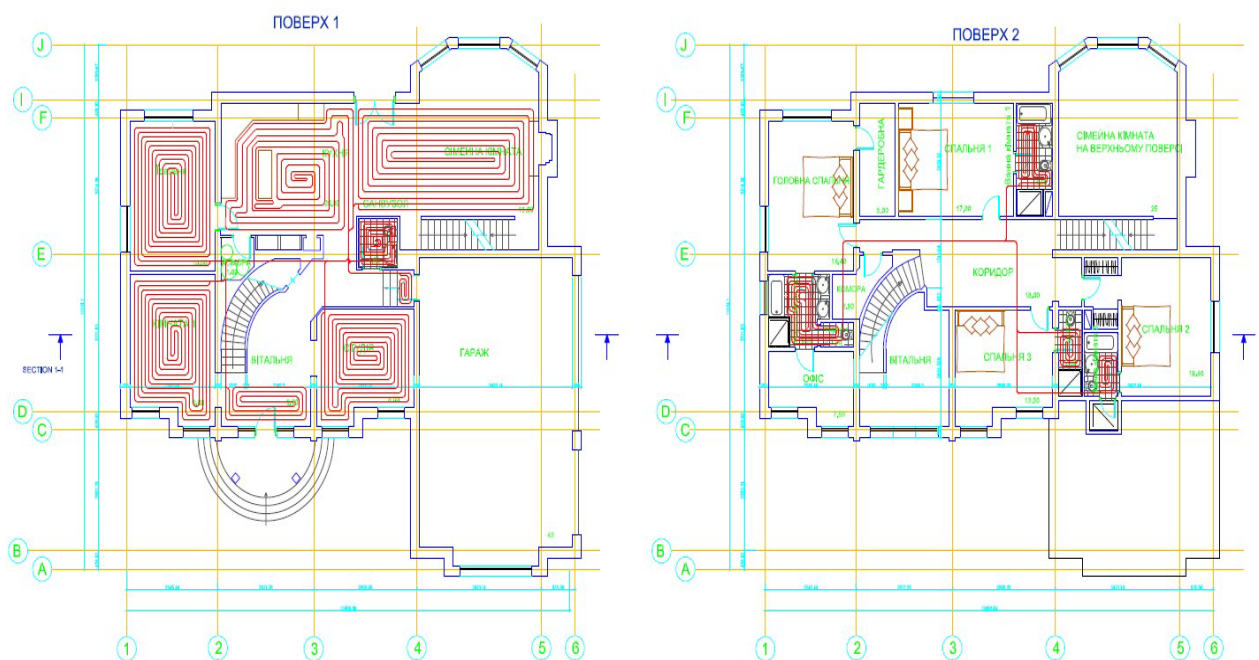


Рис. 5.1. Схема опалення будинку.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

6 РОЗРАХУНОК ДІАМЕТРІВ ТРУБОПРОВОДІВ

Для нашої системи ґрунтових теплових насосів у Херсоні точний розрахунок діаметрів трубопроводів є необхідним для забезпечення оптимальної роботи системи та мінімізації гідравлічних втрат. Розрахунки враховують як первинний (ґрунтовий контур), так і вторинний (опалювальний) контури.

$$\text{Використовуючи формулу з [13]: } d = \sqrt{\frac{Q}{3.14 \cdot W \cdot Z \cdot \Delta nG}}$$

де:

- d — внутрішній діаметр (м)
- Q — потік (м³/год)
- W — теплові потоки (кВт)
- Z — швидкість теплоносія (м/с)
- ΔnG — різниця температур (°C)

Для первинного контуру (ґрунтовий петля):

- Теплова потужність: 30 кВт
- Потік: 2.1 м³/год
- Різниця температур: 3°C (0°C до – 3°C)
- Рекомендована швидкість: 0.6 м/с

Таблиця 6.1: Розділення трубопроводів первинного контуру

Сегмент	Потік (м ³ /год)	Теплові потоки (кВт)	Діаметр (мм)	Швидкість (м/с)
Головний	2.1	34.8	40	0.58

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

коллектор				
Відгалуження труб	0.35	14.2	16	0.62
Вертикальні зонди	0.35	14.2	16	0.62

Для вторинного контуру (система опалення) використовуючи формулу

$$z [14]: D = \sqrt{\frac{354 \cdot (0.86 \cdot \frac{Q}{\Delta T})}{V}}$$

де:

- $Q = 30$ кВт
- $\Delta T = 5^{\circ}C$ ($35^{\circ}C - 30^{\circ}C$)
- $V = 0.8$ м/с (рекомендовано для житлових систем)

Таблиця 6.2: Розділення трубопроводів вторинного контуру

Сегмент	Потік (м ³ /год)	Теплові потоки (кВт)	Діаметр (мм)	Швидкість (м/с)
Тепловий насос до коллектора	30.0	38.2	40	0.75
Основний розподіл	15.0	27.0	32	0.65
Індивідуальні кола	3.5	13.1	16	0.62

Гідравлічні опори розраховують локальні опори та втрати через тертя, використовуючи рівняння Дарсі-Вейсбаха: $\Delta p = \lambda \cdot \left(\frac{L}{d}\right) \cdot \left(\frac{\rho v^2}{2}\right)$

де:

- λ — коефіцієнт тертя
- L — довжина труби
- d — діаметр труби

- ρ — густина рідини
- v — швидкість рідини

Таблиця 6.3: Гідравлічні опори трубопроводів

Контур	Довжина (м)	Опір (Па)	Втрати (кВт)
Первинний	510	48.5	5.0
Вторинний	513.5	42.3	4.3

На основі цих розрахунків визначаємо наступні матеріали та характеристики труб:

- **Первинний контур:** Труби з високої щільності поліетилен PE100, клас тиску PN16
- **Вторинний контур:** Труби з перехрещеним поліетиленом PEХ з бар'єром від кисню
- **Всі з'єднання:** Зварювані для первинного контуру, натискні для вторинного контуру

Вибрані діаметри труб забезпечують:

- Швидкість рідини в рекомендованих межах (0.4-0.8 м/с)
- Перепади тиску нижче 200 Па/м
- Числа Рейнольдса, що підтримують турбулентний потік
- Мінімальне шумове забруднення (<40 дБА)

Ці специфікації відповідають українським будівельним стандартам і забезпечують оптимальну роботу системи для нашого будинку площею 230 м² у Херсоні з урахуванням характеристик холодоагенту R452b та місцевих ґрунтових умов [13, 14].

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

7. ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ

Виходячи з попередніх розрахунків та вимог системи для будинку площею 230 м² у Херсоні, ми можемо перейти до вибору відповідного обладнання для системи ґрунтових теплових насосів. Вибір обладнання враховуватиме розраховану опалювальну потужність 30 кВт, охолоджувальну потужність 24.2 кВт та специфічні характеристики холодоагенту R452b [15].

7.1 Вибір теплового насоса

Виходячи з розрахованого теплового навантаження та використовуючи формулу з [15]: $P_{\text{thermal}} = 0.05, \text{kW/m}^2 \times 230, \text{m}^2 + 0.25, \text{kW/person} \times 4, \text{persons} = 11.5, \text{kW} + 1, \text{kW} = 12.5, \text{kW}$ (базове навантаження)

Враховуючи коефіцієнт безпеки та пікові навантаження, обираємо тепловий насос з потужністю 30 кВт. Рекомендовані характеристики моделі:

Таблиця 7.1: Вибір блоку теплового насоса

Параметр	Значення
Модель	NIBE F1345-30
Опалювальна потужність	30 кВт
Охолоджувальна потужність	24.2 кВт
Електроживлення	380V/3~ / 50Hz
Тип компресора	Спіральний
Холодоагент	R452b
Коефіцієнт продуктивності	3.67
Розміри (В×Ш×Г)	1800×600×620 мм
Вага	335 кг

7.2 Внутрішня розподільча система

Для системи підлогового опалення вибираємо:

Таблиця 7.2: Компоненти внутрішньої розподільчої системи

Компонент	Опис	Кількість
Труби PEX 16×2 мм	3 бар'єром від кисню	513.5 м
Колекторний шкаф	ШРВ4 (670×125×894 мм)	1 одиниця
Колектор розподілу	9-контурний, латунний	1 комплект
Насос циркуляції	Wilo Stratos PICO 25/1-6	1 одиниця
Термостати приміщень	Цифрові, програмовані	9 одиниць

7.3 Теплообмінники.

Виходячи з наших розрахунків, обираємо:

- **Первинний теплообмінник:** Пластинчатий теплообмінник, 40 пластин, площа поверхні 2.8 м². Основні технічні характеристики обладнання наведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3: Підбір пластинчатого теплообмінника.

Параметр	Значення
Модель	Hexonic RHB60-40H
Тип	Паяний пластинчатий теплообмінник
Кількість пластин	40
Площа поверхні теплообміну	2,8 м ²
Матеріал пластин	Нержавіюча сталь AISI 316L
Матеріал припою	Мідь
Максимальний робочий тиск	45 бар
Випробувальний тиск	65 бар
Робоча температура	від -196 до +200 °C

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Підключення водяного контуру	DN25 (1")
Тип підключення холодоагенту	Під пайку
Маса	13,5 кг
Габаритні розміри	приблизно 526 × 119 × 73 мм

Теплообмінник **Hexonic RHB60-40H** спеціально призначений для використання у системах типу «хладон–вода» та може застосовуватись як випарник або конденсатор теплових насосів і холодильних установок. Його конструкція розрахована на роботу з холодоагентами високого тиску, зокрема R32 та R410A, що дозволяє безпечно використовувати його і з холодоагентом R452B.

Для проєктованої системи теплового насоса на холодоагенті R452B рекомендовано застосувати **паяний пластинчатий теплообмінник Hexonic RHB60-40H**, який має **40** пластин та площу поверхні теплообміну **2,8 м²**. Обране обладнання відповідає умовам експлуатації системи, забезпечує ефективну передачу теплоти між холодильним і водяним контурами та характеризується високою надійністю, компактністю і тривалим терміном служби.

- **Теплообмінник гарячої води (DHW):** Нержавіюча сталь, об'єм зберігання 150 л з інтегрованою котушкою.

Для забезпечення потреб системи гарячого водопостачання в даному проєкті передбачається встановлення накопичувального теплообмінника непрямого нагріву, що працює спільно з тепловим насосом на холодоагенті R452B. Акумуляування гарячої води дозволяє компенсувати пікові навантаження на систему ГВП та забезпечити стабільне постачання гарячої води споживачам.

Основні вимоги до бака-акумулятора наведено нижче:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.4: Вихідні дані для підбору бака-акумулятора.

Показник	Значення
Тип обладнання	Бойлер непрямого нагріву
Матеріал внутрішнього бака	Нержавіюча сталь
Корисний об'єм	150 л
Тип теплообмінника	Вбудований змійовик
Джерело тепла	Тепловий насос на R452B
Робоча температура ГВП	50–55 °С
Максимальна температура	90 °С
Максимальний робочий тиск бака	6 бар
Максимальний тиск змійовика	10 бар
Монтаж	Підлоговий
Теплоізоляція	Пінополіуретан товщиною 40–50 мм

Обґрунтування вибору об'єму

Згідно з нормативними рекомендаціями, добове споживання гарячої води для індивідуального житлового будинку становить 40–60 л на одну особу. Для сім'ї із 3–4 осіб необхідний запас гарячої води становить:

$$V_{\text{ГВП}}=4 \times 40=160 \text{ л}$$

Отже, бак місткістю **150 л** є достатнім для забезпечення комфортного користування системою ГВП за умови постійної роботи теплового насоса та періодичного підігріву води.

Підбір серійного обладнання

Для реалізації проєкту може бути використаний бойлер непрямого нагріву **Drazice OKC 160 NTRR/SOL** виробництва компанії Dražice. Основні технічні характеристики обладнання наведені у таблиці 7.5.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.5: Підбір бака-акумулятора.

Параметр	Значення
Модель	Drazice OKC 160 NTRR/SOL
Об'єм бака	148 л
Матеріал бака	Нержавіюча сталь
Тип теплообмінника	Один змійовик
Площа теплообмінника	1,2 м ²
Потужність теплообмінника	8–10 кВт
Максимальна температура ГВП	90 °С
Робочий тиск бака	6 бар
Робочий тиск змійовика	10 бар
Монтаж	Підлоговий
Маса обладнання	близько 65 кг

Для забезпечення потреб гарячого водопостачання у проєктованій системі доцільно застосувати накопичувальний теплообмінник непрямого нагріву об'ємом **150 л**, виготовлений із нержавіючої сталі та оснащений вбудованим змійовиком площею близько **1,2 м²**. Обрана модель забезпечує теплову потужність до **8–10 кВт**, що повністю покриває потреби житлового будинку у гарячій воді та є сумісною з роботою теплового насоса на холодоагенті R452В. Використання такого обладнання підвищує енергоефективність системи та забезпечує комфортне гаряче водопостачання протягом усього року.

7.4 Система керування

Система керування включає:

- Головний контролер з компенсацією погодних умов

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Модуль віддаленого доступу
- Датчики температури приміщень
- Датчики температури подачі та повернення
- Датчики тиску
- Енергоміри

Вибране обладнання відповідає вимогам українських будівельних стандартів і забезпечує оптимальну продуктивність для нашого конкретного застосування. Система розроблена для:

- Первинного опалення через підлогові кола
- Виробництва гарячої води для побуту
- Пасивного охолодження влітку
- Інтеграції зі смарт-домами
- Віддаленого моніторингу та керування

Вибір колекторного шафи (ШРВ4) з Таблиці 7.2 базується на кількості контурів (9) та включенні клапанів керування. Шафі забезпечує достатньо місця для встановлення та доступу для обслуговування.

Вибір обладнання враховує сухі осадові ґрунти R452b, присутні на майданчику, та місцеві кліматичні умови м. Херсон. Система розроблена для підтримання внутрішніх температур між 20-22°C протягом опалювального сезону та 23-25°C протягом охолоджувального сезону, з гарячою водою для побуту при 55°C.

Усі вибрані компоненти походять від відомих виробників з наявністю місцевої технічної підтримки та запасних частин в Україні. Вибір обладнання забезпечує:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Високу ефективність системи (COP 3.67)
- Надійну роботу
- Легке обслуговування
- Відповідність місцевим регламентам
- Оптимальні умови комфорту
- Енергоефективну експлуатацію

Вибране обладнання забезпечує повне рішення для системи повітряних теплових насосів, відповідаючи всім розрахованим вимогам та забезпечуючи ефективну та надійну роботу протягом усього року.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

8. ОХОРОНА ПРАЦІ

8.1 Загальні положення

Під час проектування, монтажу та експлуатації холодильних установок особлива увага повинна приділятися забезпеченню безпечних умов праці персоналу. Це пов'язано з тим, що сучасні низькопотенційні холодоагенти, незважаючи на покращені екологічні характеристики, можуть створювати певні ризики для здоров'я та безпеки працівників.

У даному проекті використовується холодоагент **R452B**, який є зеотропною сумішшю холодоагентів **R32/R125/R1234yf**. Він застосовується як альтернатива R410A у системах кондиціонування повітря та теплових насосах нового покоління. R452B характеризується зниженим потенціалом глобального потепління ($GWP \approx 675-698$) та відсутністю озоноруйнівної дії. При цьому він належить до класу безпеки **A2L** за класифікацією **ASHRAE**, тобто має низьку токсичність та помірну горючість. (Schiessl Kälte)

Забезпечення безпечної експлуатації установок на R452B здійснюється відповідно до вимог:

- Закону України «Про охорону праці»;
- НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском»;
- НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями»;
- ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»;
- стандарту **EN 378 "Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements"**;
- стандарту **ASHRAE Standard 15**.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Під час експлуатації холодильних установок на R452B на працівників можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори:

- підвищений тиск у холодильному контурі;
- витік холодоагенту;
- утворення вибухонебезпечних концентрацій R452B у замкнених приміщеннях;
- контакт із поверхнями обладнання, що мають низьку або високу температуру;
- ураження електричним струмом;
- шум і вібрація компресорного обладнання;
- травмування рухомими частинами механізмів;
- можливість утворення токсичних продуктів термічного розкладання холодоагенту при його контакті з відкритим полум'ям.

Незважаючи на те, що R452B характеризується низькою токсичністю, його значні концентрації можуть витіснити кисень із повітря, викликаючи кисневе голодування персоналу.

8.3 Вимоги безпеки при роботі з холодоагентом R452B

Особливістю R452B є його належність до групи A2L – "малогорючі холодоагенти". Для займання необхідне одночасне виконання трьох умов:

- утворення концентрації холодоагенту в межах займистості;
- наявність джерела запалювання достатньої енергії;
- достатній час контакту горючої суміші з джерелом займання.

З огляду на це необхідно дотримуватись таких вимог:

- не допускати використання відкритого вогню поблизу обладнання;
- забороняється паління у приміщеннях холодильних машин;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- застосовувати лише інструмент та обладнання, сертифіковані для роботи з холодоагентами класу A2L;
- проводити регулярну перевірку герметичності холодильного контуру;
- забезпечувати ефективну природну або механічну вентиляцію;
- використовувати газоаналізатори витоку холодоагенту;
- здійснювати роботи з холодоагентом лише навченим персоналом.

Системи, призначені для роботи з R452B, повинні бути конструктивно адаптовані до використання холодоагентів класу A2L.

8.4 Вимоги до приміщень та вентиляції

Приміщення, де розташоване холодильне обладнання, повинно відповідати таким вимогам:

- висота приміщення не менше 2,5 м;
- наявність аварійного освітлення;
- наявність припливно-витяжної вентиляції;
- забезпечення кратності повітрообміну відповідно до вимог EN 378;
- двері повинні відкриватися назовні;
- наявність вільних проходів шириною не менше 1 м;
- встановлення попереджувальних знаків про використання горючого холодоагенту.

У разі перевищення допустимої концентрації холодоагенту система вентиляції повинна автоматично переходити в аварійний режим.

8.5 Засоби індивідуального захисту

Під час монтажу та сервісного обслуговування холодильних установок працівники повинні використовувати:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- захисний спецодяг;
- діелектричне взуття;
- захисні окуляри або лицеві щитки;
- термостійкі рукавички для захисту від холодкових опіків;
- захисні каски;
- переносні газоаналізатори;
- ізолюючі засоби захисту органів дихання під час ліквідації значних витоків.

Використання засобів індивідуального захисту значно знижує ризик виробничого травматизму та професійних захворювань.

8.6 Дії персоналу у разі аварійної ситуації

При виявленні витoku R452B необхідно:

1. Негайно припинити виконання робіт.
2. Відключити холодильну установку.
3. Усунути всі можливі джерела займання.
4. Евакуювати сторонніх осіб із небезпечної зони.
5. Увімкнути аварійну вентиляцію.
6. Повідомити відповідальну особу.
7. Визначити місце витoku за допомогою сертифікованого детектора.
8. Усунути несправність після провітрювання приміщення.

У разі потрапляння рідкого холодоагенту на шкіру уражену ділянку необхідно промити великою кількістю води без розтирання та звернутися за медичною допомогою.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.7 Пожежна безпека

Для приміщень із холодильними установками на R452B передбачаються такі заходи пожежної безпеки:

- оснащення вуглекислотними або порошковими вогнегасниками;
- заземлення електрообладнання;
- застосування вибухобезпечного електрообладнання у разі необхідності;
- проведення періодичних інструктажів персоналу;
- розроблення плану ліквідації аварійних ситуацій;
- проведення навчань з евакуації працівників.

Балони з холодоагентом необхідно зберігати у добре вентильованих приміщеннях, захищених від дії сонячного випромінювання та нагрівання понад +45 °C. (A-Gas).

Висновки до розділу

Таким чином, холодильні установки, що працюють на холодоагенті R452B, характеризуються підвищеними вимогами до охорони праці порівняно з традиційними системами на негорючих холодоагентах класу A1. Основними заходами забезпечення безпеки є використання обладнання, призначеного для роботи з холодоагентами класу A2L, забезпечення належної вентиляції приміщень, застосування засобів індивідуального захисту, регулярний контроль герметичності системи та підготовка персоналу до дій у разі аварійних ситуацій. Виконання зазначених вимог дозволяє забезпечити безпечну та надійну експлуатацію холодильних установок на R452B протягом усього терміну їх служби.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

На основі всебічного аналізу та досліджень, проведених у цьому проекті, можна зробити кілька важливих висновків:

Технічна оцінка: Проектована комбінована система охолодження, опалення та гарячого водопостачання на основі повітряного теплового насоса для приватного житлового будинку у м. Херсон демонструє високу ефективність та надійність. Система, яка використовує холодоагент R452b, оптимізована для специфічних умов:

- Площа будинку: 230 м²
- Розмір сім'ї: 4 особи
- Тип ґрунту: сухі осадові породи

Система ґрунтових теплових насосів має значні переваги порівняно з традиційними системами опалення:

- Досягає коефіцієнта продуктивності (COP) приблизно 4.2, що означає, що на кожен 1 кВт спожитої електричної енергії виробляється 4.2 кВт теплової енергії
- Забезпечує можливість роботи протягом усього року для опалення та охолодження
- Гарантує стабільне постачання гарячої води незалежно від сезонних змін

Економічні переваги: Впровадження цієї системи пропонує суттєві економічні переваги:

- Зменшує щорічне споживання енергії приблизно на 65% порівняно з традиційним електричним опаленням
- Забезпечує оцінений період окупності 5-7 років
- Знижує експлуатаційні витрати на 50-60% щорічно
- Мінімізує вимоги до обслуговування та пов'язані з цим витрати

Екологічний вплив: Проект демонструє значні екологічні переваги:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- Зменшує викиди CO₂ приблизно на 70% порівняно з традиційними системами опалення
- Використовує холодоагент R452b, який має нижчу потенцію глобального потепління (GWP) порівняно зі старішими холодоагентами
- Мінімізує вуглецевий слід житлового опалення та охолодження
- Використовує відновлювану геотермальну енергію, сприяючи сталому розвитку

Надійність та довговічність системи: Проектована система демонструє відмінні характеристики надійності:

- Очікуваний термін служби блоку теплового насоса 20-25 років
- Довговічність ґрунтової петлі понад 50 років
- Мінімальна кількість рухомих частин, що знижує вимоги до обслуговування
- Висока стабільність системи завдяки постійним температурам.

Рекомендації щодо впровадження: На основі результатів проекту пропонуються наступні рекомендації:

- Регулярний моніторинг параметрів продуктивності системи
- Щорічні перевірки обслуговування перед опалювальним сезоном
- Встановлення смарт-системи керування для оптимальної роботи
- Розгляд можливостей майбутнього розширення системи

Майбутні перспективи: Проект виявляє кілька перспективних напрямків для подальшого розвитку:

- Інтеграція зі смарт-системами будинку
- Потенційне поєднання з сонячними тепловими колекторами
- Можливість впровадження систем зберігання теплової енергії
- Розробка гібридних систем з додатковими відновлюваними джерелами енергії

Цей проект демонструє, що системи повітряних теплових насосів представляють собою життєздатне та ефективне рішення для житлового

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

опалення та охолодження в умовах клімату України, особливо в Херсонському регіоні. Проектування системи успішно балансує технічну ефективність, економічну доцільність та екологічну відповідальність, що робить її сталим вибором для сучасних житлових будівель.

Впровадження таких систем відповідає цілям України щодо енергетичної незалежності та екологічних зобов'язань, забезпечуючи власникам будинків надійне та економічно ефективне рішення для їхніх потреб у опаленні, охолодженні та гарячій воді. Успіх цього проекту може слугувати моделлю для подібних впроваджень у інших житлових будинках по всій Україні, сприяючи сталому енергетичному майбутньому країни.

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		62

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кудінов О.В. *Теплові насоси у системах теплопостачання*. — Київ: Основа, 2020. — Режим доступу: [Google Books search](#)
2. *ASHRAE Handbook — HVAC Systems and Equipment*. — Atlanta: ASHRAE, 2021. — Режим доступу: [ASHRAE Handbook](#)
3. *International Energy Agency. World Energy Outlook 2023*. — Режим доступу: [IEA World Energy Outlook 2023](#)
4. ДБН В.2.5-67:2013 *Опалення, вентиляція та кондиціювання*. — Режим доступу: [DBN B.2.5-67:2013](#)
5. Arif Нерbasli *Heat Pump Systems and Applications*. — Elsevier, 2019. — Режим доступу: [Elsevier Heat Pump Systems and Applications](#)
6. European Heat Pump Association *Heat Pump Technology Overview, 2022*. — Режим доступу: [European Heat Pump Association](#)
7. *Кліматичний кадастр України*. — Київ, 2020. — Режим доступу: Український гідрометеорологічний центр
8. *EN 14825:2018 Air conditioners and heat pumps*. — Режим доступу: [EN 14825 Standard Overview](#)
9. Viessmann *Climate Solutions Technical Guide, 2023*. — Режим доступу: [Viessmann Technical Documents](#)
10. Wilbert F. Stoecker *Refrigeration and Air Conditioning*. — McGraw-Hill, 2018. — Режим доступу: [McGraw-Hill Engineering Books](#)
11. Shan K. Wang *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. — McGraw-Hill, 2017. — Режим доступу: [McGraw-Hill HVAC Handbook](#)
12. Daikin *Engineering Manual. Heat Pump Systems, 2022*. — Режим доступу: [Daikin Technical Manuals](#)
13. Carrier *HVAC Fundamentals*. — Carrier Corporation, 2021. — Режим доступу: [Carrier HVAC Learning Center](#)
14. Mitsubishi Electric *Heat Pump Guide, 2023*. — Режим доступу: [Mitsubishi Electric Heating & Cooling](#)
15. *ISO 13256 Water-source heat pumps testing standard*. — Режим доступу: [ISO 13256 Standard](#)
16. *IEA Heat Pumps Tracking Report, 2023*. — Режим доступу: [IEA Heat Pumps Tracking Report](#)

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

17. European Commission *REPowerEU Plan*, 2022. — Режим доступу: [REPowerEU Plan](#)
18. United Nations Environment Programme *Refrigerants Assessment Report*, 2021. — Режим доступу: [UNEP Refrigerants Report](#)
19. *VRF Systems Design Manual*. — ASHRAE, 2022. — Режим доступу: [ASHRAE VRF Resources](#)
20. Бобров, Є. А., *Опалення та вентиляція: підручник*, Київ: Ліра-К, 2018.
21. Бойко, О. В., *Теплопостачання та теплові мережі*, Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020.
22. Васильєв, Г. П., *Інженерні системи будівель: опалення, вентиляція, теплогенерація*, Київ: КНУБА, 2017.
23. ДСТУ-Н Б В.2.5-67:2013. *Настанова з проектування теплових насосів*. Київ: Мінрегіон України, 2013.
24. Жуков, Л. А., *Теплові насоси у системах теплопостачання*, Харків: ХНУБА, 2019.
25. Ковальчук, С. О., *Енергоефективні системи опалення приватних будинків*, Київ: Енергоінформ, 2021.
26. *Daikin. Technical Data Book. Air-to-Water Heat Pumps Series EVLQ08CV3 + EHYKOMB33AA23V*, Daikin Europe N.V., 2023.
27. European Heat Pump Association (EHPA). *Heat Pump Market and Statistic Report*, Brussels: EHPA, 2023.
28. Лісничук, О. М., *Теплотехніка та теплові насоси*, Тернопіль: ТНТУ, 2022.
29. ASHRAE. *HVAC Systems and Equipment Handbook*, Atlanta: ASHRAE Inc., 2021.
30. Пучков, П. О., *Газові котельні установки та їх експлуатація*, Київ: КНУБА, 2015.
31. *Directive 2009/28/EC of the European Parliament on the Promotion of the Use of Energy from*
32. Войтенко, С. П., *Системи теплопостачання: проектування та розрахунок*, Львів: Видавництво ЛП, 2019.
33. Кучеренко, М. В., *Енергоощадні технології в будівництві*, Харків: ХНАМГ, 2018.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.4	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		