

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



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему: Розробка комбінованої системи охолодження, опалення та
гарячого водопостачання на базі повітряного теплового насосу для
приватного житлового будинку площею 260 м² у м. Миколаїв

Здобувача

Варчук В.А.

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

Варчук Віталій Анатолійович

1. Тема роботи Розробка комбінованої системи охолодження, опалення та гарячого водопостачання на базі повітряного теплового насосу для приватного житлового будинку площею 260 м² у м. Миколаїв

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 260 м² має 2 поверхи, місце розташування м. Миколаїв
Холодоагент – R452A.

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 Варчук В.А.

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 Варчук В.А.

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 Варчук Віталій Анатолійович

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі розроблено комбіновану систему охолодження, опалення та гарячого водопостачання для приватного житлового будинку площею 260 м², розташованого у м. Миколаїв. Проведено аналіз сучасних рішень у сфері використання теплових насосів для індивідуального житлового будівництва та обґрунтовано доцільність застосування повітряного теплового насоса як основного джерела теплової енергії та холоду.

Виконано розрахунок теплових навантажень на систему опалення, визначено потребу в холодопродуктивності для забезпечення комфортних умов у літній період та витрати теплоти на гаряче водопостачання. За результатами аналізу обладнання, представленого на українському ринку, для реалізації проекту рекомендовано повітряний тепловий насос Vaillant flexoTHERM exclusive VWF 157/4. Проведено підбір допоміжного обладнання системи, зокрема циркуляційного насоса Grundfos ALPHA2 25-80 180 для контуру розподілу опалення, а також пластинчастого теплообмінника Alfa Laval M6, параметри яких відповідають розрахунковим режимам роботи установки.

Результати роботи підтверджують, що застосування комбінованої системи на базі повітряного теплового насоса дозволяє забезпечити ефективне опалення, охолодження та гаряче водопостачання житлового будинку, знизити споживання традиційних енергоресурсів, скоротити експлуатаційні витрати та підвищити рівень енергетичної ефективності будівлі.

Ключові слова: повітряний тепловий насос, комбінована система, опалення, охолодження, гаряче водопостачання, R452A, енергоефективність.

ABSTRACT

This thesis presents a combined cooling, heating and hot water supply system designed for a private residential house with a floor area of 260 m², located in the city of Mykolaiv. An analysis of current solutions in the field of heat pump applications for individual residential construction has been carried out, and the feasibility of using an air-source heat pump as the primary source of heating and cooling has been demonstrated.

Calculations of the thermal loads on the heating system were performed, the cooling capacity required to ensure comfortable conditions during the summer period was determined, and the heat consumption for hot water supply was calculated. Based on the analysis of equipment available on the Ukrainian market, the Vaillant flexoTHERM exclusive VWF 157/4 air-source heat pump was recommended for the project. Auxiliary system equipment was selected, specifically the Grundfos ALPHA2 25-80 180 circulation pump for the heating distribution circuit, as well as the Alfa Laval M6 plate heat exchanger, the parameters of which correspond to the calculated operating modes of the installation.

The results confirm that the use of a combined system based on an air-source heat pump enables efficient heating, cooling and domestic hot water supply for a residential building, reduces consumption of conventional energy resources, cuts operating costs and improves the building's energy efficiency.

Keywords: air source heat pump, combined system, heating, cooling, hot water supply, R452A, energy efficiency.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

	Сторінка
РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	6
1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	7
2. БУДІВЕЛЬНО-ІЗОЛЯЦІЙНА КОНСТРУКЦІЯ БУДИНКУ	33
3. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ	41
4. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО НАСОСА	46
5. РОЗРАХУНОК ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА	52
6. РОЗРАХУНОК ДІАМЕТРІВ ТРУБОПРОВОДІВ	56
7. ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ	60
8. ОХОРОНА ПРАЦІ	65
ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2</i>			
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив		Варчук В.А.			Розробка комбінованої системи охолодження, опалення та гарячого водопостачання на базі повітряного теплового насосу для приватного житлового будинку площею 260 м² у м. Миколаїв	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Яковлева О.Ю.					5	75
Н. Контр.		Яковлева О.Ю.				<i>ОНТУ гр. ЕН-141</i>		

ВСТУП

У сучасних умовах глобального зростання вартості енергетичних ресурсів, посилення екологічних вимог та необхідності підвищення енергоефективності будівель особливої актуальності набуває впровадження альтернативних систем теплопостачання. Значна частка енергоспоживання житлового сектору припадає саме на системи опалення, охолодження та гарячого водопостачання, що обумовлює необхідність пошуку більш економічних та екологічно безпечних технологій.

Одним із найбільш перспективних напрямів у сфері сучасних HVAC-систем (Heating, Ventilation and Air Conditioning) є використання теплових насосів, які дозволяють ефективно використовувати низькопотенційну теплову енергію навколишнього середовища. Серед різних типів теплових насосів найбільшого поширення для індивідуального житлового будівництва набули повітряні теплові насоси типу «повітря–вода», що пояснюється їх відносно невисокою вартістю, простотою монтажу та можливістю інтеграції у комбіновані системи теплопостачання.

Використання теплових насосів дозволяє реалізувати комплексне забезпечення будівлі опаленням, охолодженням та гарячим водопостачанням у межах єдиної енергоефективної системи. Завдяки високому коефіцієнту перетворення енергії (COP) теплові насоси здатні виробляти у декілька разів більше теплової енергії порівняно з витраченою електричною енергією, що забезпечує суттєве зниження експлуатаційних витрат.

Особливо актуальним є впровадження таких систем у південних регіонах України, зокрема у місті Миколаїв, для якого характерні помірно холодні зимові періоди та високі літні температури. Кліматичні умови регіону створюють сприятливі умови для ефективної експлуатації повітряних теплових насосів протягом усього року. Крім того, зростання навантаження на енергетичну систему України та необхідність підвищення енергетичної незалежності приватних домогосподарств додатково підвищують актуальність використання енергоефективних систем теплопостачання.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час проєктування комбінованих систем на базі теплових насосів важливе значення мають правильний вибір обладнання, визначення теплового навантаження будівлі, аналіз кліматичних умов, а також забезпечення відповідності системи сучасним міжнародним та національним стандартам у сфері енергоефективності, безпеки та теплового комфорту. Використання міжнародних стандартів ISO, EN та ASHRAE дозволяє забезпечити високу надійність, енергоефективність і довговічність інженерної системи.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка комбінованої системи охолодження, опалення та гарячого водопостачання на базі повітряного теплового насоса для приватного житлового будинку площею 260 м² у місті Миколаїв.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі завдання:

- аналіз сучасних систем теплопостачання та охолодження житлових будівель;
- дослідження принципу роботи повітряних теплових насосів;
- аналіз кліматичних умов м. Миколаїв;
- визначення теплового навантаження будинку;
- підбір основного обладнання системи;
- розробка системи опалення, охолодження та гарячого водопостачання;
- оцінка енергоефективності та доцільності використання запропонованого рішення.

Об'єктом дослідження є комбінована система теплопостачання та кондиціонування приватного житлового будинку.

Предметом дослідження є процеси теплопередачі, енергоспоживання та забезпечення мікроклімату у будівлі за допомогою повітряного теплового насоса. Практичне значення роботи полягає у можливості застосування розробленого технічного рішення для підвищення енергоефективності приватних житлових будинків у кліматичних умовах південних регіонів України.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Актуальність застосування теплових насосів

В умовах сучасної трансформації світового енергетичного сектору особливого значення набувають технології, здатні забезпечити скорочення споживання викопних видів палива та зменшення викидів парникових газів. Відповідно до аналітичних матеріалів International Energy Agency (IEA), теплові насоси розглядаються як одна з найбільш перспективних технологій декарбонізації житлового сектору та підвищення енергоефективності будівель [1]. За даними IEA, системи опалення та гарячого водопостачання формують значну частину світового енергоспоживання житлових будівель. Традиційні системи теплопостачання, що працюють на природному газі, вугіллі або електричних нагрівачах прямого перетворення, характеризуються високим рівнем енергоспоживання та значними викидами CO₂. У зв'язку з цим міжнародна енергетична політика дедалі більше орієнтується на використання електрифікованих високоефективних систем теплопостачання, серед яких теплові насоси займають провідне місце [1].

Принципова перевага теплових насосів полягає у використанні низькопотенційної теплової енергії навколишнього середовища — повітря, ґрунту або води. На відміну від традиційних електричних котлів, де електрична енергія безпосередньо перетворюється на теплову, тепловий насос переносить теплоту з одного середовища до іншого. Завдяки цьому коефіцієнт перетворення енергії (Coefficient of Performance, COP) у сучасних системах може становити 3–5 і більше, тобто на 1 кВт спожитої електроенергії система виробляє 3–5 кВт теплової енергії [6].

У звітах IEA зазначається, що широке впровадження теплових насосів дозволяє одночасно вирішувати декілька стратегічних завдань:

- зниження енергоспоживання житлового сектору;
- скорочення викидів парникових газів;
- підвищення енергетичної незалежності;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

- зменшення використання природного газу;
- інтеграція відновлюваних джерел енергії [1].

Особливо актуальним є використання повітряних теплових насосів типу «повітря–вода» у приватному житловому секторі. Такі системи мають низку переваг порівняно з геотермальними тепловими насосами, оскільки не потребують буріння свердловин, монтажу ґрунтових теплообмінників або складних земляних робіт. Це значно зменшує капітальні витрати та спрощує процес монтажу системи.

Сучасні повітряні теплові насоси здатні працювати у широкому діапазоні зовнішніх температур та забезпечувати не лише опалення, але й охолодження приміщень та гаряче водопостачання. Саме тому комбіновані системи HVAC на базі теплових насосів набувають все більшого поширення у країнах Європи, США та Японії. Для південних регіонів України, зокрема міста Миколаїв, використання теплових насосів є особливо доцільним через відносно м'які зимові температури та тривалий жаркий літній період. За таких кліматичних умов повітряні теплові насоси забезпечують високі сезонні показники ефективності (SCOP), що робить їх економічно вигідними для приватних житлових будинків.

Таким чином, використання теплових насосів у сучасних системах опалення, охолодження та гарячого водопостачання є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку енергоефективних технологій у житловому секторі. Їх застосування дозволяє підвищити енергоефективність будівель, знизити експлуатаційні витрати та забезпечити відповідність сучасним міжнародним вимогам у сфері енергозбереження та екологічної безпеки.

1.2. Класифікація повітряних теплових насосів

Повітряні теплові насоси є сучасними енергоефективними установками, які використовують теплоту атмосферного повітря для забезпечення опалення, охолодження та гарячого водопостачання будівель. Основною особливістю

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

таких систем є використання низькопотенційної теплової енергії навколишнього середовища, що дозволяє значно зменшити споживання традиційних енергоресурсів та підвищити енергоефективність житлових будинків [1, 6]. Залежно від способу передачі теплової енергії повітряні теплові насоси поділяються на декілька основних типів.

Повітря–повітря

Теплові насоси типу «повітря–повітря» передають теплоту від зовнішнього повітря безпосередньо повітрю всередині приміщення. Такі системи конструктивно подібні до кондиціонерів із функцією теплового насоса та найчастіше використовуються для опалення й охолодження окремих приміщень або невеликих будівель [2].

Основними перевагами систем типу «повітря–повітря» є:

- простота монтажу;
- відносно низька вартість;
- швидке нагрівання приміщення;
- можливість роботи у режимі кондиціонування.

Разом із тим такі системи мають і певні недоліки, серед яких:

- неможливість забезпечення гарячого водопостачання;
- нерівномірний розподіл температури у приміщенні;
- зниження ефективності при низьких температурах зовнішнього повітря [7].

Теплові насоси типу «повітря–повітря» переважно використовуються у квартирах, офісних приміщеннях та невеликих житлових будинках.

Повітря–вода

Найбільш поширеними для приватних житлових будинків є теплові насоси типу «повітря–вода». У таких системах тепла енергія від зовнішнього повітря передається водяному теплоносію системи опалення або гарячого водопостачання [3]. Основною перевагою систем «повітря–вода» є їх

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

універсальність. Вони дозволяють: забезпечувати опалення будівлі, здійснювати охолодження приміщень, готувати гарячу воду для побутових потреб, інтегрувати систему з теплою підлогою, фанкойлами та радіаторами [6, 7].

Такі системи найбільш ефективно працюють у низькотемпературних системах опалення, де температура теплоносія становить 30–45 °С [6]. Саме тому теплові насоси типу «повітря–вода» часто поєднуються із системами водяної теплої підлоги.

До основних переваг теплових насосів типу «повітря–вода» належать:

- висока енергоефективність;
- можливість комплексного забезпечення будинку теплом та холодом;
- автоматизація процесів керування;
- зниження експлуатаційних витрат;
- екологічна безпечність [1, 6].

Недоліками таких систем є: вища початкова вартість обладнання, залежність ефективності від температури зовнішнього повітря, необхідність резервного джерела тепла при екстремально низьких температурах [8].

Для приватного будинку площею 260 м² у місті Миколаїв найбільш доцільним є використання саме теплового насоса типу «повітря–вода», оскільки він дозволяє реалізувати комбіновану систему опалення, охолодження та гарячого водопостачання.

Високотемпературні повітряні теплові насоси

Окрему групу становлять високотемпературні теплові насоси типу «повітря–вода», які здатні нагрівати теплоносій до температури 60–80 °С [3]. Такі системи використовуються переважно для модернізації існуючих радіаторних систем опалення без повної заміни обладнання. Основною перевагою високотемпературних систем є можливість використання існуючих радіаторів. Однак підвищення температури теплоносія призводить до

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

зниження коефіцієнта енергоефективності COP та збільшення споживання електроенергії [6].

Гібридні теплові насоси

Гібридні системи поєднують тепловий насос із додатковим джерелом тепла, наприклад:

- газовим котлом;
- електричним котлом;
- сонячними колекторами [17].

Такі системи дозволяють автоматично вибирати найбільш ефективний режим роботи залежно від температури зовнішнього повітря та вартості енергоносіїв.

Класифікація за конструктивним виконанням

За конструктивним виконанням повітряні теплові насоси поділяються на: моноблочні, спліт-системи [18, 19]. У моноблочних системах усі основні елементи розташовані в одному зовнішньому блоці. Такі системи мають простішу конструкцію та швидший монтаж. Спліт-системи складаються із зовнішнього та внутрішнього блоків, з'єднаних холодильним контуром. Перевагою таких систем є менший ризик замерзання теплоносія та можливість більш гнучкого розміщення обладнання.

Таким чином, повітряні теплові насоси поділяються на системи типу «повітря–повітря», «повітря–вода», високотемпературні та гібридні установки. Для приватних житлових будинків найбільш ефективними та універсальними є системи типу «повітря–вода», які дозволяють забезпечити комплексне опалення, охолодження та гаряче водопостачання будівлі [1, 6, 16].

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Аналіз кліматичних умов м. Миколаїв для експлуатації теплового насоса

Одним із ключових факторів, що впливають на ефективність роботи системи теплопостачання та кондиціонування на базі повітряного теплового насоса, є кліматичні умови району експлуатації. Саме температура зовнішнього повітря, вологість, тривалість опалювального періоду та сезонні температурні коливання визначають енергетичну ефективність теплового насоса, його сезонний коефіцієнт продуктивності (SCOP) та режим роботи системи HVAC загалом [5].

Місто Миколаїв розташоване у південній частині України в зоні помірно континентального клімату. Для регіону характерні відносно м'які зимові періоди та тривале спекотне літо. Середня температура зовнішнього повітря у зимовий період становить приблизно від -1°C до -3°C , тоді як у літній період температура повітря може перевищувати $+30^{\circ}\text{C}$ [20].

Відповідно до кліматичних даних та будівельних норм України, тривалість опалювального періоду у місті Миколаїв є меншою порівняно з північними регіонами країни, що позитивно впливає на сезонну ефективність повітряних теплових насосів. При помірних зимових температурах компресор теплового насоса працює у більш сприятливому режимі, забезпечуючи вищі значення коефіцієнта перетворення енергії COP [6].

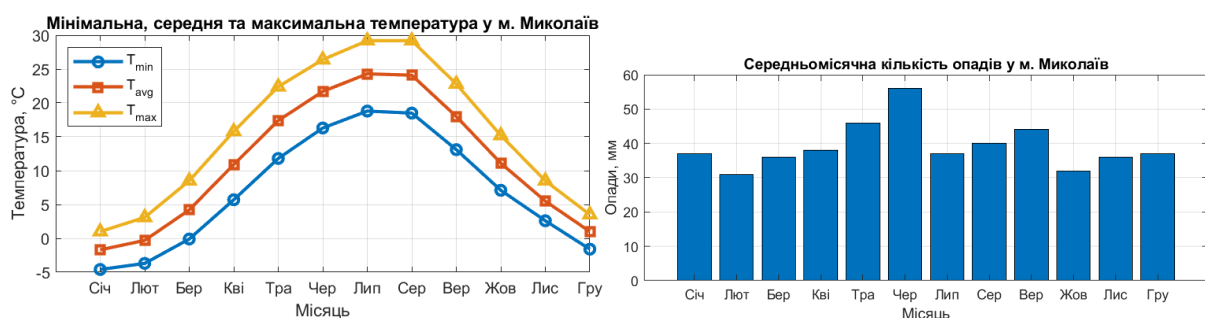
Для систем типу «повітря–вода» температура зовнішнього повітря є одним із головних параметрів, що визначають теплову потужність обладнання. Зі зниженням температури зовнішнього повітря зменшується кількість теплової енергії, яку може відібрати випарник теплового насоса, що призводить до зниження ефективності системи. Саме тому при проектуванні систем теплопостачання необхідно враховувати мінімальні розрахункові температури зовнішнього повітря відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 [12]. Кліматичні умови Миколаєва є сприятливими для використання повітряних теплових насосів завдяки відносно невеликій кількості днів із критично низькими температурами. Це дозволяє експлуатувати систему з високими

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

сезонними показниками ефективності протягом більшої частини опалювального періоду.

Окрім забезпечення опалення, важливим фактором для південних регіонів України є потреба в охолодженні приміщень у літній період. Через високі літні температури та значне сонячне навантаження у приватних житлових будинках виникає необхідність підтримання комфортних параметрів мікроклімату. Використання теплового насоса у реверсивному режимі дозволяє забезпечити не лише опалення, а й ефективне кондиціювання приміщень [7]. Під час проєктування комбінованої системи HVAC для приватного будинку необхідно враховувати: розрахункову температуру зовнішнього повітря, тривалість опалювального періоду, сезонні температурні коливання, рівень відносної вологості, сонячну радіацію, теплові надходження у літній період.

Відповідно до стандарту ISO 52016-1:2017 кліматичні параметри є основою для визначення теплових навантажень будівлі та розрахунку енергетичних потреб систем опалення та охолодження [5]. За допомогою MATLAB побудовано кліматичні графіки м. Миколаїв. На рис. 1.1 наведено комплексний аналіз кліматичних умов міста Миколаїв, що включає середньомісячні температури зовнішнього повітря, кількість опадів, відносну вологість повітря, кількість сонячних годин, а також орієнтовні градусо-добы опалення та охолодження.



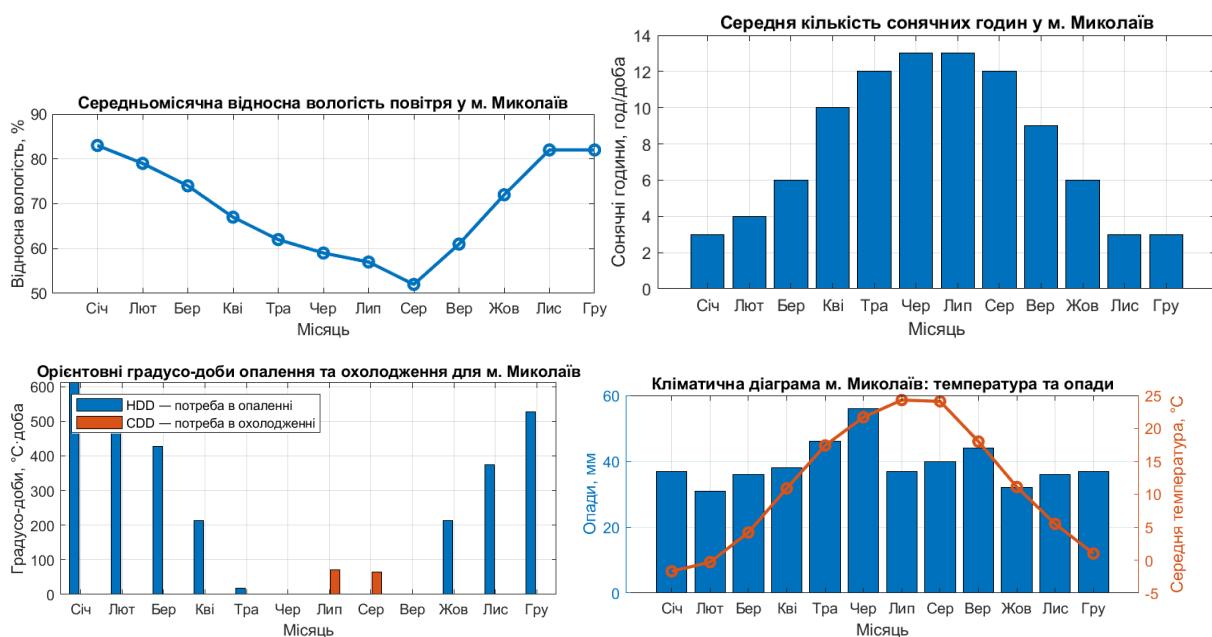


Рис.1.1. Аналіз кліматичних умов м. Миколаїв для експлуатації теплового насоса [20].

Кліматичні графіки показують, що м. Миколаїв характеризується м'яким зимовим періодом та тривалим теплим літом. Найнижчі середні температури спостерігаються у січні та лютому, а найвищі — у липні та серпні. Це підтверджує доцільність застосування повітряного теплового насоса, оскільки в умовах помірних зимових температур система може працювати з високим сезонним коефіцієнтом ефективності, а в літній період використовуватися для охолодження приміщень.

Таким чином, кліматичні умови міста Миколаїв є сприятливими для використання комбінованих систем опалення, охолодження та гарячого водопостачання на базі повітряних теплових насосів. Помірні зимові температури забезпечують високу сезонну ефективність теплового насоса, а спекотний літній період обумовлює доцільність використання реверсивного режиму охолодження приміщень.

1.4. Розрахунок теплового навантаження будинку

Одним із ключових етапів проектування систем опалення, охолодження та гарячого водопостачання є визначення теплового навантаження будівлі. Від

точності розрахунку теплових втрат залежить правильність вибору потужності теплового насоса, ефективність роботи системи HVAC та рівень енергоспоживання будинку загалом.

Розрахунок теплового навантаження виконується відповідно до міжнародного стандарту EN 12831-1:2017 та його національного аналога ДСТУ EN 12831-1:2017, які регламентують методику визначення проєктного теплового навантаження будівель [10; 11].

Теплове навантаження визначається як кількість теплової енергії, необхідна для компенсації тепловтрат будівлі при розрахункових параметрах зовнішнього повітря. Основними джерелами тепловтрат є:

- зовнішні стіни;
- покрівля;
- підлога;
- віконні та дверні конструкції;
- вентиляція та інфільтрація повітря.

Таблиця 1.1 Фактори, які впливають на величину теплового навантаження

Фактор	Вплив на теплове навантаження будівлі
Площа будинку	Зі збільшенням площі будівлі зростають сумарні тепловтрати та необхідна тепла потужність системи опалення
Теплоізоляція огорожувальних конструкцій	Якісна теплоізоляція стін, покрівлі та підлоги зменшує тепловтрати та знижує енергоспоживання будівлі
Тип і площа вікон	Вікна мають значний вплив на тепловтрати через високий коефіцієнт теплопередачі порівняно зі стінами
Висота приміщень	Зі збільшенням висоти приміщень зростає об'єм повітря, який необхідно нагрівати
Кратність повітрообміну	Вентиляція та інфільтрація зовнішнього повітря збільшують теплові втрати будівлі

Кліматичні умови регіону	Температура зовнішнього повітря та тривалість опалювального періоду визначають рівень теплового навантаження
Орієнтація будівлі відносно сторін світу	Впливає на рівень сонячних теплових надходжень через віконні конструкції

Особливе значення для енергоефективності будівлі має рівень теплоізоляції. Сучасні теплоізоляційні матеріали дозволяють суттєво зменшити тепловтрати та знизити необхідну потужність теплогенеруючого обладнання. Крім того, значний вплив на теплове навантаження мають характеристики світлопрозорих конструкцій, зокрема коефіцієнт теплопередачі вікон та рівень інфільтрації зовнішнього повітря.

Під час визначення теплового навантаження також враховуються внутрішні тепловиділення від людей, побутових приладів, освітлення та сонячної радіації. Оцінка цих параметрів виконується відповідно до вимог стандарту ISO 52016-1:2017 [5]. Для приватних житлових будинків із сучасним рівнем теплоізоляції питомі теплові втрати зазвичай становлять 70–100 Вт/м². Таким чином, для будинку площею 260 м² орієнтовне теплове навантаження може перебувати у межах 18–25 кВт залежно від конструктивних особливостей будівлі та кліматичних умов експлуатації.

Отримані значення теплового навантаження використовуються для вибору теплового насоса, визначення параметрів системи опалення та оцінки енергоефективності комбінованої системи HVAC загалом.

1.5. Система опалення

Система опалення є одним із основних елементів комбінованої HVAC-системи на базі повітряного теплового насоса та безпосередньо впливає на енергоефективність, комфорт експлуатації та стабільність роботи обладнання. Для забезпечення максимальної ефективності теплового насоса доцільним є використання низькотемпературних систем опалення, оскільки коефіцієнт

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

перетворення енергії (COP) значною мірою залежить від температури теплоносія [6].

Найбільш ефективним рішенням для сучасних житлових будинків є система водяної теплої підлоги, у якій температура теплоносія зазвичай становить 30–40 °С [7]. Завдяки низькотемпературному режиму роботи теплова помпа функціонує з вищою сезонною ефективністю, що дозволяє зменшити споживання електроенергії та експлуатаційні витрати.

Принцип роботи системи теплої підлоги полягає у передачі теплової енергії через поверхню підлоги шляхом випромінювання та конвекції. На відміну від традиційних радіаторних систем, де основне нагрівання відбувається через конвективні потоки повітря, тепла підлога забезпечує більш рівномірний розподіл температури у приміщенні та створює комфортні умови перебування людей. Відповідно до вимог стандарту ISO 7730:2005 використання поверхневих систем опалення дозволяє покращити тепловий комфорт за рахунок зменшення температурної нерівномірності у приміщенні та підтримання оптимальної температури у зоні перебування людини [14]. Окрім системи теплої підлоги, у сучасних системах опалення на базі теплових насосів можуть використовуватися: фанкойли, низькотемпературні радіатори, комбіновані системи опалення. Фанкойли дозволяють поєднати функції опалення та охолодження приміщень, що є особливо актуальним для комбінованих систем HVAC. Такі пристрої забезпечують швидке регулювання температури та можуть ефективно працювати як у зимовий, так і у літній період. Низькотемпературні радіатори застосовуються у випадках, коли використання теплої підлоги є обмеженим або неможливим. Вони характеризуються збільшеною площею теплообміну та можуть працювати при нижчих температурах теплоносія порівняно з традиційними радіаторними системами.

У сучасних приватних будинках часто застосовуються комбіновані системи опалення, у яких поєднуються декілька типів опалювальних приладів. Наприклад, система теплої підлоги може використовуватись як основне

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

джерело тепла, а фанкойли або радіатори — як додаткові елементи для швидкого регулювання температури у приміщеннях. Для забезпечення стабільної та ефективної роботи теплового насоса рекомендується використання буферної ємності. Буферний бак виконує функцію акумулювання теплової енергії, зменшує кількість циклів увімкнення компресора та сприяє стабілізації температурного режиму системи [17].

Важливим елементом сучасної системи опалення є автоматизація процесів керування. Автоматичні системи регулювання забезпечують:

- погодозалежне керування температурою теплоносія;
- підтримання заданих параметрів мікроклімату;
- оптимізацію енергоспоживання;
- автоматичне перемикання режимів роботи системи.

Таким чином, використання низькотемпературних систем опалення у поєднанні з повітряним тепловим насосом дозволяє забезпечити високу енергоефективність, комфортні умови експлуатації та зниження витрат на опалення приватного житлового будинку.

1.6. Система охолодження та аналіз сучасних HVAC технологій

Для кліматичних умов південних регіонів України, зокрема міста Миколаїв, система охолодження є важливою складовою сучасної комбінованої HVAC-системи. У літній період температура зовнішнього повітря може перевищувати $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, що призводить до перегріву приміщень та необхідності забезпечення комфортних параметрів мікроклімату [20].

Однією з основних переваг сучасних повітряних теплових насосів є можливість роботи у реверсивному режимі. У такому режимі теплова помпа функціонує за принципом кондиціонера, відводячи надлишкову теплоту з приміщення до зовнішнього середовища. Це дозволяє використовувати єдину систему як для опалення у зимовий період, так і для охолодження влітку. Для охолодження приміщень у системах на базі теплових насосів найчастіше

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

використовуються: фанкойли, системи поверхневого охолодження, комбіновані системи кондиціонування.

Найбільш практичним рішенням для приватних житлових будинків є використання фанкойлів. Вони забезпечують примусову циркуляцію повітря через теплообмінник, що дозволяє ефективно підтримувати задану температуру у приміщенні та швидко реагувати на зміну теплового навантаження. Крім того, фанкойли можуть працювати як у режимі охолодження, так і у режимі опалення, що робить їх універсальним елементом комбінованої HVAC-системи [7].

У сучасних системах також застосовується поверхнєве охолодження через систему теплої підлоги або стелі. Такий спосіб охолодження забезпечує рівномірний розподіл температури та високий рівень теплового комфорту. Однак ефективність поверхневого охолодження є нижчою порівняно з фанкойлами, а під час експлуатації необхідно контролювати температуру теплоносія для запобігання утворенню конденсату. Однією з основних проблем систем охолодження є можливість конденсації вологи на поверхні трубопроводів або охолоджувальних елементів. Конденсат утворюється у випадку, коли температура поверхні стає нижчою за температуру точки роси повітря у приміщенні. Це може призвести до накопичення вологи, пошкодження оздоблювальних матеріалів та розвитку грибка.

Саме тому під час проєктування систем охолодження необхідно враховувати:

- температуру точки роси;
- рівень відносної вологості повітря;
- температуру теплоносія;
- параметри вентиляції приміщень.

Для запобігання утворенню конденсату сучасні HVAC-системи оснащуються автоматичними датчиками температури та вологості, які

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

забезпечують контроль параметрів мікроклімату та автоматичне регулювання режимів роботи системи.

Важливою перевагою комбінованих систем охолодження на базі теплового насоса є можливість об'єднання функцій опалення та кондиціонування в межах єдиного інженерного комплексу. Це дозволяє:

- зменшити кількість обладнання;
- скоротити витрати на монтаж;
- спростити систему автоматизації;
- знизити експлуатаційні витрати.

Для приватного будинку площею 260 м² у місті Миколаїв використання реверсивного повітряного теплового насоса є технічно доцільним рішенням, оскільки дозволяє забезпечити ефективне охолодження приміщень у літній період без встановлення окремої системи кондиціонування.

Таким чином, система охолодження на базі повітряного теплового насоса є важливим елементом сучасної комбінованої HVAC-системи та забезпечує підтримання комфортних параметрів мікроклімату протягом усього року.

Аналіз сучасних HVAC-технологій

Для оцінки сучасних тенденцій розвитку систем охолодження, опалення та гарячого водопостачання було виконано матричний аналіз HVAC-технологій. Порівняння проводилося за такими критеріями: енергоефективність, рівень автоматизації, ефективність охолодження, складність монтажу, експлуатаційні витрати, інтеграція Smart HVAC, перспективність подальшого розвитку.

На рисунку 1.2. наведено матричний аналіз сучасних HVAC-технологій. Теплова карта дозволяє наочно оцінити рівень розвитку кожної технології за окремими критеріями. Найвищі показники за критеріями автоматизації, Smart

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Integration та Future Potential демонструють системи Smart HVAC, IoT HVAC та AI Energy Control.

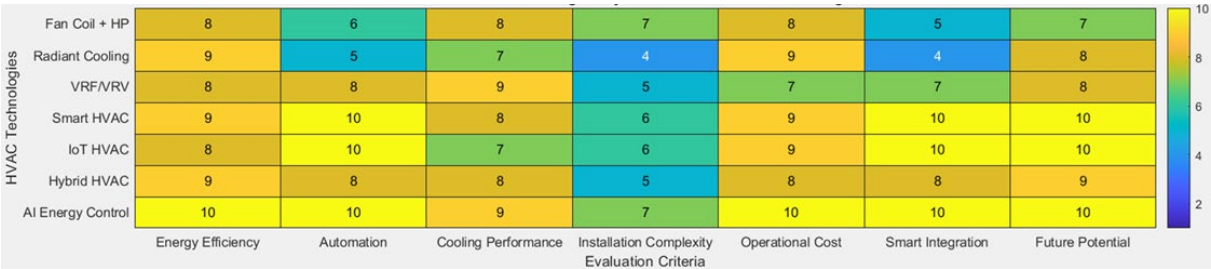


Рисунок 1.2. – Матричний аналіз сучасних HVAC-технологій

На рисунку 1.3. представлено радарний аналіз сучасних HVAC-технологій, який дозволяє порівняти сильні та слабкі сторони кожної системи за сукупністю параметрів. Видно, що AI Energy Control та Smart HVAC мають найбільш збалансовані характеристики та найвищий рівень розвитку цифрових функцій.

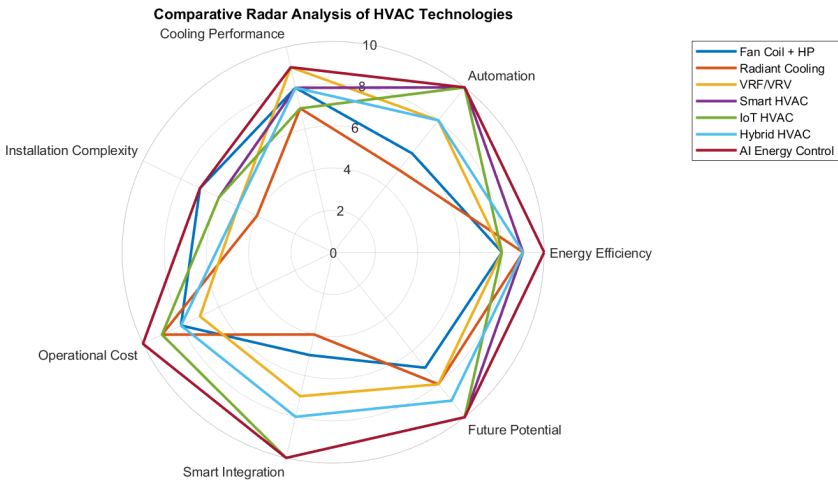


Рисунок 1.3. – Порівняльний радарний аналіз сучасних HVAC-технологій

На рисунку 1.4. наведено інтегральну оцінку сучасних HVAC-рішень. За результатами розрахунків найвищий показник отримала технологія AI Energy Control — 1,00. Друге місце займає Smart HVAC із показником 0,934, а третє — IoT HVAC із показником 0,897. Це свідчить про те, що сучасний розвиток HVAC-систем спрямований у бік автоматизації, інтелектуального керування та цифровізації інженерних систем будівлі.

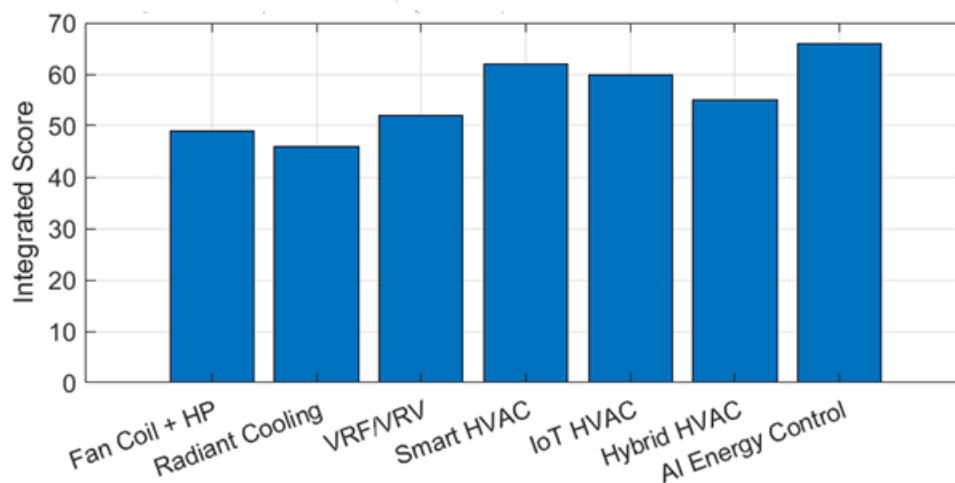


Рисунок 1.4. – Інтегральна оцінка сучасних HVAC-рішень

Після проведення матричного аналізу було визначено інтегральні оцінки сучасних HVAC-технологій, які наведені у таблиці 1.2.1.

Таблиця 1.2. – Інтегральна оцінка сучасних HVAC-технологій

HVAC Технології	Integrated Score
Fan Coil + HP	0.74833
Radiant Cooling	0.70381
VRF/VRV	0.79143
Smart HVAC	0.93405
IoT HVAC	0.89738
Hybrid HVAC	0.83476
AI Energy Control	1.00000

Аналіз інтегральних показників показує, що найвищу оцінку отримала технологія AI Energy Control із результатом 1,000. Це пояснюється високим рівнем автоматизації, використанням алгоритмів штучного інтелекту, адаптивним керуванням енергоспоживанням та значним потенціалом подальшого розвитку.

Високі результати також демонструють системи Smart HVAC (0,934) та IoT HVAC (0,897), які характеризуються: інтеграцією цифрових систем керування, дистанційним моніторингом, Smart Home-функціоналом, підвищеною енергоефективністю. Система Hybrid HVAC отримала

інтегральну оцінку 0,835 завдяки поєднанню декількох джерел теплопостачання та можливості гнучкого регулювання режимів роботи. Технологія VRF/VRV демонструє достатньо високий рівень ефективності (0,791), особливо для великих будівель та багатозональних систем кондиціонування. Традиційні рішення Fan Coil + HP та Radiant Cooling мають нижчі інтегральні оцінки, однак залишаються актуальними для приватного житлового сектору завдяки: простоті реалізації, високому рівню теплового комфорту, надійності, відносно невисоким капітальним витратам.

На рисунку 1.5. представлено Bubble Matrix Analysis сучасних HVAC-технологій. Дана візуалізація використовується для багатокритеріального порівняння сучасних систем охолодження та теплопостачання.

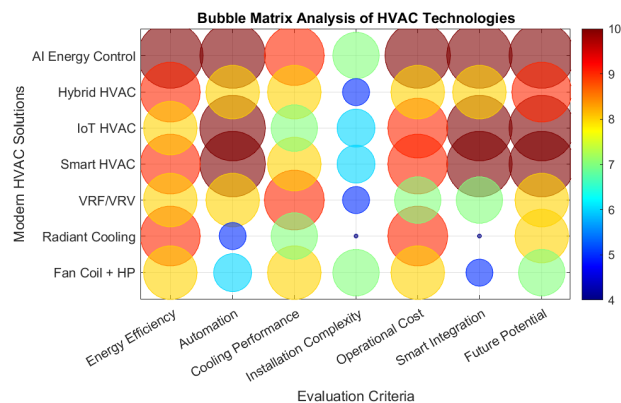


Рисунок 1.5. – Bubble Matrix Analysis сучасних HVAC-технологій

На рисунку 1.6. наведено коваріаційну матрицю критеріїв оцінювання HVAC-систем. Аналіз матриці коваріації показує наявність сильного взаємозв’язку між рівнем автоматизації, Smart Integration та Future Potential.

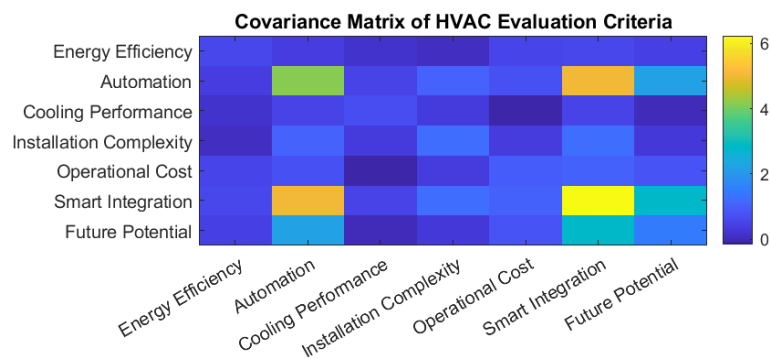


Рисунок 1.6. – Коваріаційна матриця критеріїв оцінювання HVAC-систем

На рисунку 1.7. представлено рангову діаграму сучасних HVAC-технологій.

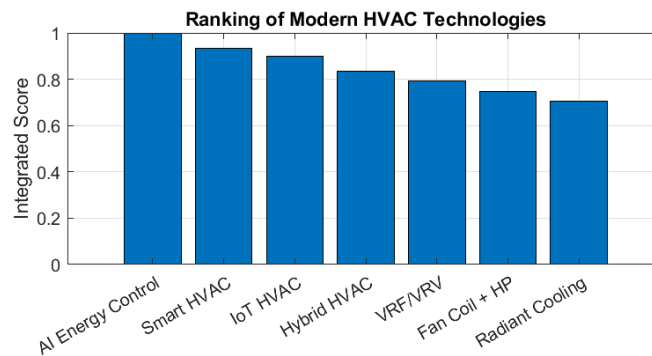


Рисунок 1.7. – Рангова діаграма сучасних HVAC-технологій

Для додаткового аналізу багатовимірних даних було використано метод головних компонент (PCA — Principal Component Analysis). На рисунку 1.8. наведено PCA-карту сучасних HVAC-технологій.

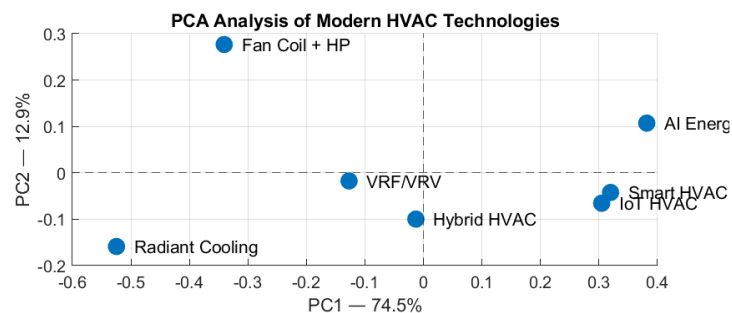


Рисунок 1.8. – PCA-карта сучасних HVAC-технологій

PCA-аналіз показав, що перша головна компонента пояснює 74,5 % варіації даних, а друга — 12,9 %. Разом вони пояснюють 87,4 % відмінностей між досліджуваними HVAC-технологіями.

На рисунку 1.9. наведено діаграму внеску головних компонент у загальну дисперсію даних.

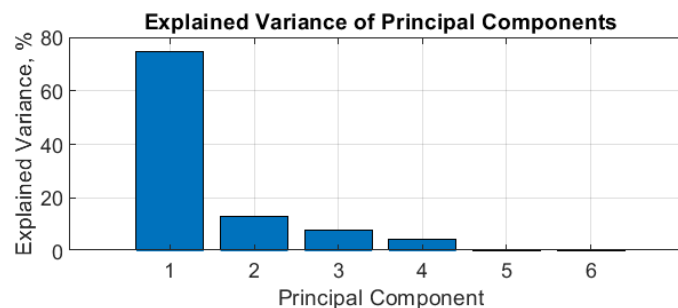


Рисунок 1.9. – Діаграма внеску головних компонент у загальну дисперсію даних

На рисунку 1.10. представлено PCA Biplot, який демонструє взаємозв'язок між HVAC-технологіями та критеріями оцінювання.

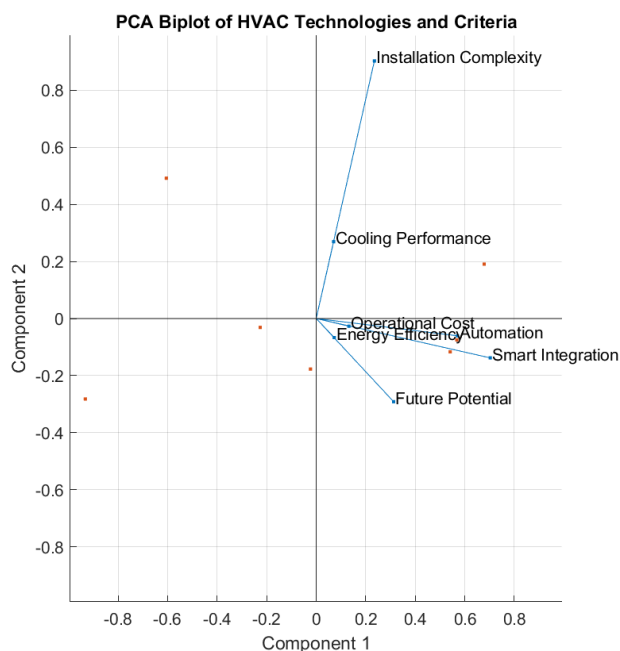


Рисунок 1.10. – PCA Biplot для HVAC-технологій та критеріїв оцінювання

Таким чином, результати проведеного аналізу підтверджують, що найбільш перспективним напрямом розвитку сучасних HVAC-систем є інтеграція теплових насосів із Smart HVAC, IoT та AI-системами керування. Для приватного будинку площею 260 м² у місті Миколаїв найбільш доцільним є використання реверсивного повітряного теплового насоса у поєднанні з фанкойлами, автоматизованим керуванням та Smart HVAC-технологіями, що забезпечує високу енергоефективність, комфорт та відповідність сучасним тенденціям розвитку HVAC-індустрії.

1.7. Система гарячого водопостачання

Система гарячого водопостачання (ГВП) є важливою складовою комбінованої HVAC-системи приватного житлового будинку та забезпечує побутові потреби мешканців у гарячій воді протягом усього року. У сучасних системах на базі повітряних теплових насосів підготовка гарячої води здійснюється за допомогою накопичувального бойлера непрямого нагріву, який підключається до теплового насоса через гідравлічний контур.

Принцип роботи системи полягає у передачі теплової енергії від теплового насоса до води у накопичувальному баку через вбудований

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

теплообмінник. Такий спосіб нагріву забезпечує стабільну температуру гарячої води та дозволяє ефективно використовувати теплову енергію, вироблену тепловим насосом [16]. Однією з основних переваг використання бойлера непрямого нагріву є можливість накопичення певного запасу гарячої води, що особливо важливо для приватних житлових будинків із нерівномірним водоспоживанням. Наявність накопичувальної ємності дозволяє зменшити кількість циклів увімкнення компресора теплового насоса та забезпечує більш стабільний режим роботи системи.

Розрахунок системи гарячого водопостачання виконується відповідно до вимог стандарту EN 15316-4-2:2017, який регламентує методику оцінки енергетичної ефективності систем гарячого водопостачання та теплових насосів [16].

Під час визначення параметрів системи ГВП враховуються:

- кількість мешканців будинку;
- добове споживання гарячої води;
- температура гарячої води;
- режим водоспоживання;
- теплові втрати трубопроводів та накопичувальної ємності.

Об'єм накопичувального бойлера визначається залежно від кількості користувачів та середнього добового споживання гарячої води. Для приватних житлових будинків найчастіше використовуються бойлери об'ємом від 200 до 500 літрів. Для будинку площею 260 м² із постійним проживанням декількох осіб доцільним є використання бойлера середнього або збільшеного об'єму для забезпечення стабільного гарячого водопостачання у години пікового навантаження.

У сучасних системах теплових насосів широко застосовуються автоматичні режими пріоритетного нагріву гарячої води. У такому режимі система автоматично перемикає тепловий насос із режиму опалення на нагрів бойлера ГВП при зниженні температури води нижче заданого значення. Після

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

досягнення необхідної температури система повертається до попереднього режиму роботи. Важливим аспектом проектування системи гарячого водопостачання є забезпечення санітарно-гігієнічних вимог. Для запобігання розвитку бактерій *Legionella* температура гарячої води у бойлері періодично підвищується до санітарного режиму нагріву, який зазвичай становить 60 °С. У сучасних системах ця функція реалізується автоматично за допомогою системи керування тепловим насосом або додаткового електричного нагрівача. Для підвищення енергоефективності системи ГВП рекомендується: використовувати теплоізовані трубопроводи, мінімізувати довжину циркуляційних контурів, застосовувати енергоефективні циркуляційні насоси, використовувати автоматичне регулювання температури води. Таким чином, система гарячого водопостачання на базі повітряного теплового насоса забезпечує ефективне та економічне приготування гарячої води протягом усього року, дозволяє знизити експлуатаційні витрати та підвищити рівень комфорту у приватному житловому будинку.

1.8. Автоматизація та енергоефективність системи

У сучасних системах теплопостачання та кондиціонування автоматизація є одним із ключових факторів забезпечення високої енергоефективності, стабільності роботи обладнання та підтримання комфортних параметрів мікроклімату. Особливо важливу роль системи автоматичного керування відіграють у комбінованих HVAC-системах на базі повітряних теплових насосів, де необхідно одночасно координувати режими опалення, охолодження та гарячого водопостачання.

Сучасні теплові насоси оснащуються інтегрованими системами автоматичного керування, які забезпечують:

- погодозалежне регулювання температури теплоносія;
- підтримання заданих параметрів мікроклімату;
- автоматичне перемикання режимів роботи;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- дистанційний моніторинг та керування;
- оптимізацію енергоспоживання;
- контроль роботи компресора та циркуляційних насосів;
- захист обладнання від аварійних режимів.

Відповідно до ASHRAE Standard 90.1-2022 автоматизовані системи керування є обов'язковим елементом сучасних енергоефективних HVAC-систем, оскільки дозволяють суттєво зменшити енергоспоживання будівлі та підвищити ефективність роботи інженерного обладнання [6].

Одним із найбільш важливих режимів автоматичного керування є погодозалежне регулювання. Принцип роботи такої системи полягає у зміні температури теплоносія залежно від температури зовнішнього повітря. При підвищенні зовнішньої температури система автоматично знижує температуру подачі теплоносія, що дозволяє зменшити навантаження на компресор теплового насоса та підвищити сезонний коефіцієнт ефективності SCOP [7].

У сучасних дослідженнях значна увага приділяється використанню інтелектуальних систем автоматизації та алгоритмів оптимізації енергоспоживання. Зокрема, у наукових роботах останніх років розглядаються: адаптивні системи керування HVAC, використання штучного інтелекту для прогнозування теплових навантажень, алгоритми машинного навчання для оптимізації режимів роботи теплових насосів, інтеграція теплових насосів у системи «розумного будинку» (Smart Home), дистанційний моніторинг енергоспоживання у режимі реального часу.

Сучасні Smart HVAC-системи дозволяють автоматично аналізувати: температуру зовнішнього та внутрішнього повітря, рівень вологості, режим присутності мешканців, тарифи на електроенергію, погодні прогнози. На основі отриманих даних система автоматично оптимізує роботу теплового насоса, мінімізуючи енергоспоживання та забезпечуючи комфортні умови у приміщеннях. Важливим напрямом сучасних досліджень є використання IoT-

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

технологій (Internet of Things) у системах теплопостачання та кондиціонування. Інтернет-з'єднані системи дозволяють здійснювати: дистанційне керування обладнанням через мобільні додатки, моніторинг параметрів роботи системи, автоматичну діагностику несправностей, аналіз споживання електроенергії, формування статистики роботи HVAC-системи. Особливу увагу сучасні дослідження приділяють підвищенню сезонної енергоефективності теплових насосів. Наукові роботи показують, що використання автоматизованого погодозалежного регулювання дозволяє зменшити енергоспоживання системи на 10–25 % порівняно з традиційними схемами керування [8].

У сучасних приватних будинках автоматизація HVAC-систем часто інтегрується із загальною системою диспетчеризації будівлі (BMS — Building Management System). Це дозволяє централізовано керувати: опаленням, охолодженням, вентиляцією, освітленням, системою гарячого водопостачання. Для комбінованої системи на базі повітряного теплового насоса автоматизація є особливо важливою, оскільки система працює у декількох режимах протягом року. Автоматичне перемикання між режимами опалення, охолодження та нагріву гарячої води дозволяє забезпечити стабільну та економічну роботу обладнання.

Таким чином, сучасні системи автоматизації є невід'ємною складовою енергоефективних HVAC-систем на базі теплових насосів. Використання інтелектуальних алгоритмів керування, IoT-технологій та систем дистанційного моніторингу дозволяє суттєво підвищити енергоефективність, надійність та комфорт експлуатації комбінованих систем опалення, охолодження та гарячого водопостачання приватних житлових будинків.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 1.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було розглянуто сучасні підходи до проектування комбінованих систем опалення, охолодження та гарячого водопостачання на базі повітряних теплових насосів для приватних житлових будинків.

Проведений аналіз показав, що використання повітряного теплового насоса для приватного будинку площею 260 м² у місті Миколаїв є технічно обґрунтованим та енергоефективним рішенням. Кліматичні умови регіону є сприятливими для експлуатації теплових насосів завдяки відносно м'яким зимам та високій потребі в охолодженні приміщень у літній період.

У роботі було досліджено принцип роботи повітряних теплових насосів, виконано аналіз сучасних HVAC-технологій, систем автоматизації та Smart HVAC-рішень. Встановлено, що найбільш перспективними напрямками розвитку HVAC-систем є:

- використання інверторних технологій;
- інтеграція IoT та Smart Home;
- застосування AI Energy Control;
- автоматизоване погодозалежне керування;
- використання енергоефективних низькотемпературних систем опалення.

Проведений аналіз сучасних HVAC-технологій показав, що системи Smart HVAC, IoT HVAC та AI Energy Control мають найвищі показники енергоефективності, автоматизації та перспективності розвитку. РСА-аналіз підтвердив, що найбільший вплив на сучасні HVAC-системи мають рівень автоматизації, Smart Integration та енергоефективність.

Установлено, що найбільш ефективним рішенням для системи опалення є використання водяної теплої підлоги, яка забезпечує:

- рівномірний розподіл температури;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

- високий тепловий комфорт;
- підвищення сезонної ефективності теплового насоса;
- зниження експлуатаційних витрат.

Для охолодження приміщень найбільш доцільним є використання реверсивного режиму роботи теплового насоса у поєднанні з фанкойлами та автоматизованою системою керування. Такий підхід дозволяє об'єднати функції опалення та кондиціонування в межах єдиної HVAC-системи.

У роботі також розглянуто особливості організації системи гарячого водопостачання на базі бойлера непрямого нагріву, інтегрованого з тепловим насосом. Встановлено, що використання автоматичних режимів пріоритетного нагріву ГВП дозволяє підвищити ефективність роботи системи та забезпечити стабільне гаряче водопостачання протягом року.

Важливим елементом сучасної HVAC-системи є автоматизація. Використання Smart HVAC та IoT-технологій дозволяє:

- оптимізувати енергоспоживання;
- забезпечити дистанційне керування;
- підтримувати комфортні параметри мікроклімату;
- підвищити загальну енергоефективність будівлі.

Разом із перевагами система має певні обмеження, серед яких:

- висока початкова вартість обладнання;
- залежність ефективності від температури зовнішнього повітря;
- необхідність якісної теплоізоляції будівлі;
- потреба у резервному джерелі тепла при екстремально низьких температурах.

Отже, комбінована система на базі повітряного теплового насоса є сучасним, перспективним та енергоефективним рішенням для приватних житлових будинків південних регіонів України та відповідає сучасним міжнародним тенденціям розвитку HVAC-індустрії, вимогам енергоефективності та автоматизації інженерних систем будівель.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

2. БУДІВЕЛЬНО-ІЗОЛЯЦІЙНА КОНСТРУКЦІЯ БУДИНКУ

2.1 Розрахунок площ будівлі

Для правильного проектування та впровадження комбінованої системи охолодження, опалення та забезпечення гарячою водою на основі повітряного теплового насоса для приватного житлового будинку, важливо точно розрахувати площі будівлі. Ці розрахунки стануть основою для визначення потужності теплового насоса та загальних вимог до системи.

Для нашого проекту ми розглянемо двоповерховий приватний житловий будинок, розташований у Миколаїв, з загальною площею 260 м². Ця інформація є необхідною для проектування ефективної та дієвої системи теплового насоса, яка відповідає конкретним потребам господарства [1].

Розглянемо площі будинку по поверхах та кімнатах:

Таблиця 2.1: Площі кімнат за поверхами

Перший поверх	Площа (м ²)
Гостинна	40
Кухня	20
Хол	15
Санвузол	5
Душова	6
Сауна	8
Котельня	10
Тамбур	4
Тераса	10
Навіс	15
Всього першого поверху	133

Другий поверх	Площа (м²)
Спальня	30
Санвузол	6
Ванна	10
Хол	12
Спальня	25
Спальня	22
Балкон	22
Всього другого поверху	127

Загальна житлова площа будинку становить 260 м², що відповідає діапазону 150-300 м², типовому для приватних резиденцій в Україні [2]. Цей розмір підходить для сім'ї з чотирьох осіб, як зазначено в початкових даних.

При проектуванні системи теплового насоса важливо враховувати специфічні характеристики кожної кімнати. Наприклад, велика гостинна (40 м²) на першому поверсі, ймовірно, потребуватиме більше потужності для опалення та охолодження порівняно з меншими кімнатами. Наявність сауни (8 м²) та котельні (10 м²) на першому поверсі також може вплинути на загальний розподіл тепла та енергоспоживання будинку.

Другий поверх, що переважно складається зі спалень та ванної, має трохи меншу загальну площу порівняно з першим поверхом. Такий розподіл типовий для українських приватних будинків і дозволяє ефективно зонувати приміщення для денного та нічного використання.

Варто зазначити, що будинок включає зовнішні простори, такі як тераса (10 м²) та балкон (22 м²). Хоча ці площі не опалюються та не охолоджуються безпосередньо, вони можуть впливати на загальну теплову продуктивність будівлі та повинні враховуватися при розрахунках тепловтрат.

При розрахунку необхідної потужності теплового насоса необхідно враховувати рівень утеплення будівлі. Враховуючи, що це сучасний приватний будинок у Миколаїв, можна припустити, що він має хороше утеплення. На основі інформації, наданої в довідковому матеріалі, можна оцінити тепловтрати приблизно 40,Вт/м² для добре утепленого будинку [1]. Утеплення будівель є ключовим елементом енергоефективності та комфорту. Його значення можна розділити на кілька аспектів:

- **Енергозбереження:** якісна теплоізоляція зменшує тепловтрати через огорожувальні конструкції (стіни, дах, підлогу, вікна). Це дозволяє знизити споживання енергії на опалення та кондиціонування.
- **Комфорт мікроклімату:** утеплені будинки мають стабільнішу температуру всередині, менше перепадів між поверхнями та повітрям, що знижує ризик конденсації та появи цвілі.
- **Економічний ефект:** інвестиції в утеплення окуповуються завдяки зменшенню витрат на енергію.
- **Екологічний аспект:** зменшення споживання енергії веде до зниження викидів CO₂ та інших парникових газів.
- **Довговічність конструкцій:** утеплення захищає будівельні матеріали від температурних коливань і вологи, продовжуючи їхній термін служби.

Використовуючи цю оцінку, ми можемо розрахувати приблизний опалювальний попит:

$$\text{"{Опалювальний попит} = "{Загальна площа} \times \text{"{Тепловтрати на м}^2 \quad \}$$

$$\text{Опалювальний попит} = 260, \text{м}^2 \times 40, \text{Вт/м}^2 = 11,000, \text{Вт або } 11, \text{кВт}$$

Для забезпечення гарячою водою необхідно врахувати розмір сім'ї з 4 осіб. Використовуючи орієнтир 0.25,кВт на людину [1], ми можемо розрахувати додаткову потужність, необхідну для гарячої води:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Попит на гарячу воду

$$= \text{Кількість людей} \times \text{Попит на гарячу воду на людину}$$

$$\text{Попит на гарячу воду} = 4 \times 0.25, \text{кВт} = 1, \text{кВт}$$

Таким чином, загальна необхідна потужність теплового насоса для опалення та забезпечення гарячою водою становитиме:

$$\text{Загальна потужність} = \text{Опалювальний попит} + \text{Попит на гарячу воду}$$

$$\text{Загальна потужність} = 11, \text{кВт} + 1, \text{кВт} = 12, \text{кВт}$$

Цей розрахунок забезпечує базовий рівень для вибору відповідної моделі теплового насоса. Однак важливо зазначити, що при остаточному виборі слід враховувати такі фактори, як пікові навантаження, ефективність системи та місцеві кліматичні умови.

У наступних розділах ми детальніше розглянемо розрахунки тепловтрат, враховуючи специфічні характеристики кожної кімнати, використовувані будівельні матеріали та місцеві кліматичні умови в Миколаїв. Цей детальний аналіз дозволить нам точно налаштувати проект системи теплового насоса та забезпечити оптимальну продуктивність та енергоефективність.

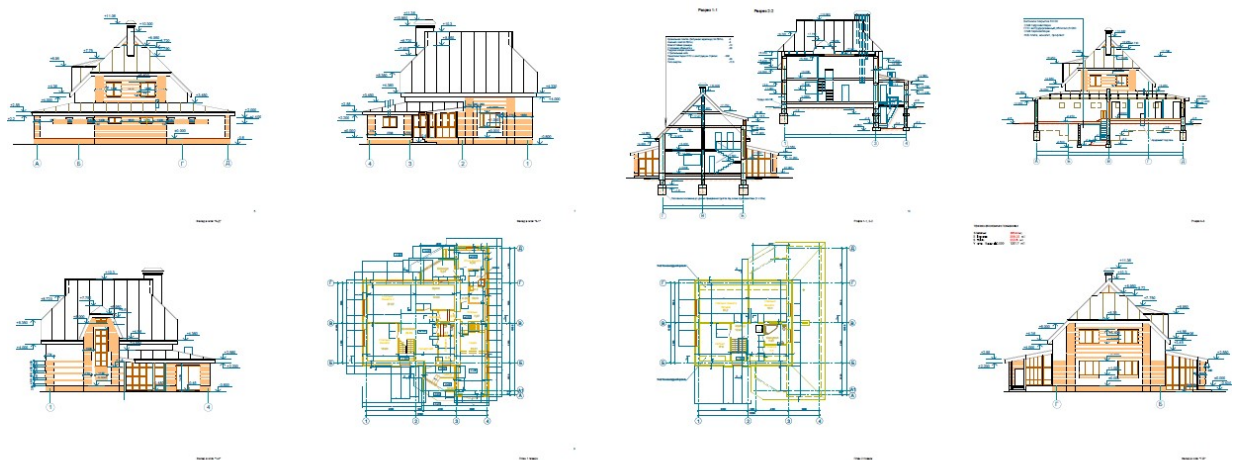


Рис. 2.1. План будинку.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розрахунок утеплювальної конструкції

Для забезпечення ефективності нашої системи повітряного теплового насоса важливо розрахувати та оптимізувати утеплювальну конструкцію будівлі. Цей процес включає визначення необхідного теплового опору компонентів оболонки будівлі та порівняння їх з нормативними значеннями. Для наших розрахунків ми врахуємо специфічні кліматичні умови Миколаїв та характеристики нашого приватного житлового будинку площею 260 м².

Спочатку розрахуємо градус-дні опалення (ГСОП) для Миколаїв за формулою:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{вн}} - T_{\text{ср}}) \times Z$$

де:

- $t_{\text{вн}}$ = внутрішня температура (°C)
- $T_{\text{ср}}$ = середня зовнішня температура протягом опалювального періоду (°C)
- Z = тривалість опалювального періоду (днів)

Для Миколаїв можна використати наступні дані [3]:

$$t_{\text{вн}} = 20^{\circ}\text{C} \quad (\text{на основі Таблиці 2.4 для житлових кімнат})$$

$$T_{\text{ср}} = -1.1^{\circ}\text{C}$$

$$Z = 176 \text{ днів}$$

$$\text{ГСОП} = (20 - (-1.1)) \times 176 = 3,713.6, ^{\circ}\text{C} \cdot \text{днів}$$

Тепер, коли ми розраховали градус-дні опалення, можемо визначити необхідний тепловий опір ($R_{\text{тр}}$) для різних компонентів оболонки будівлі за формулою:

$$R_{\text{тр}} = \frac{n(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{\Delta t_n} \quad (2.1)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:

- n = коефіцієнт залежно від положення зовнішньої поверхні оболонки будівлі відносно зовнішнього повітря
- t_{int} = внутрішня температура повітря ($^{\circ}\text{C}$)
- t_{ext} = проектна температура зовнішнього повітря ($^{\circ}\text{C}$)
- Δt_n = нормалізована різниця температур між внутрішнім та зовнішнім повітрям ($^{\circ}\text{C}$)

Для Миколаїв проектна температура зовнішнього повітря (t_{ext}) становить -22°C [4].

Розрахуємо необхідний тепловий опір для зовнішніх стін:

$n = 1$ (для зовнішніх стін)

$$t_{\text{int}} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{ext}} = -22^{\circ}\text{C}$$

$\Delta t_n = 4^{\circ}\text{C}$ (нормативне значення для житлових будівель [5])

$$R_{\text{тр}}(\text{стіни}) = \frac{1 \times (20 - (-22))}{4} = 10.5, \text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Аналогічно, можемо розрахувати необхідний тепловий опір для інших компонентів оболонки будівлі:

$$R_{\text{тр}}(\text{дах}) = 14.0, \text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_{\text{тр}}(\text{підлога}) = 8.75, \text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_{\text{тр}}(\text{вікна}) = 0.75, \text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Тепер порівняємо ці необхідні значення з тепловим опором звичних будівельних матеріалів, що використовуються в Україні:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2: Тепловий опір будівельних компонентів

Компонент	Необхідний R_{tr} ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	Фактичний R_{tr} ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	Матеріали
Зовнішні стіни	10.5	11.2	Цегла (25 см) + Мінеральна вата (30 см) + Штукатурка
Дах	14.0	14.5	Залізобетон (20 см) + XPS (35 см) + Мембрана даху
Підлога	8.75	9.0	Залізобетон (20 см) + XPS (25 см) + Покриття підлоги
Вікна	0.75	0.95	Трисклопакети, Low-E, заповнені аргоном

Як видно з Таблиці 2.2, запропонована утеплювальна конструкція відповідає та трохи перевищує необхідні значення теплового опору. Це забезпечує відмінну теплову продуктивність будівлі, що є критичним для ефективності системи повітряного теплового насоса.

Для стін ми обрали комбінацію цегли та мінеральної вати. Шар цегли товщиною 25 см забезпечує структурну підтримку та деяку теплову масу, тоді як шар мінеральної вати товщиною 30 см надає відмінні утеплювальні властивості. Штукатурне покриття з обох боків підвищує герметичність та естетичний вигляд.

Конструкція даху включає залізобетонну основу для структурної цілісності, покриту 35 см екструзійного полістиролу (XPS). XPS обрано за його високу стисну міцність та відмінну вологостійкість, що робить його ідеальним для застосування в даху. Мембрана даху забезпечує водонепроникність та захист від погодних умов.

Для підлоги ми спроектували подібну конструкцію з залізобетону та утеплювача XPS. Шар XPS товщиною 25 см забезпечує тепловий розрив між житловим простором та землею, що є особливо важливим для нашої системи повітряного теплового насоса.

Вікна є критичним компонентом оболонки будівлі. Ми визначили трисклопакети з низькою емісією (Low-E) та заповнені аргоном. Ці високоефективні вікна значно зменшують тепловтрати, дозволяючи при цьому корисний сонячний тепловий потік протягом зимових місяців.

Варто зазначити, що тип ґрунту в Миколаїв, описаний як R452a (сухі, осадові породи), має помірну теплопровідність. Ця характеристика сприятлива для ґрунтового кола нашої системи теплового насоса, оскільки дозволяє ефективний теплообмін із землею [1].

Впроваджуючи цю утеплювальну конструкцію, ми можемо очікувати кілька переваг для нашої системи повітряного теплового насоса:

1. **Зменшення опалювальних та охолоджувальних навантажень**, що дозволяє використовувати менший, більш ефективний блок теплового насоса.
2. **Стабільні внутрішні температури**, що покращує комфорт та зменшує частоту циклізації системи.
3. **Запобігання конденсації та проблемам з вологістю**, що забезпечує довговічність будівельної конструкції.
4. **Покращена загальна енергоефективність**, що призводить до нижчих експлуатаційних витрат та зменшеного екологічного впливу.

На завершення, розрахована утеплювальна конструкція для нашого приватного житлового будинку площею 260 м² у Миколаїв відповідає та перевищує необхідні значення теплового опору. Ця високоефективна оболонка будівлі буде взаємодіяти з системою повітряного теплового насоса, забезпечуючи оптимальну ефективність та комфорт для мешканців. Наступним кроком у нашому проектуванні буде розрахунок опалювальних та охолоджувальних навантажень на основі цієї утеплювальної конструкції, що визначить остаточний розмір системи теплового насоса.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ НАДХОДЖЕНЬ

Для точного проектування нашої комбінованої системи охолодження, опалення та забезпечення гарячою водою на основі повітряного теплового насоса важливо розрахувати теплові надходження в нашому приватному житловому будинку площею 260 м² у Миколаїв. Ці розрахунки допоможуть визначити охолоджувальне навантаження та оптимізувати продуктивність системи.

Розпочнемо з розгляду різних джерел теплових надходжень:

Зовнішні теплові надходження: а) Сонячне випромінювання через вікна:

- а) Теплопередача через оболонку будівлі
- б) Проникнення повітря через відкриття

Внутрішні теплові надходження: а) Люди

- а) Освітлення
- б) Побутові прилади та обладнання

Розрахуємо кожен з цих компонентів окремо, а потім підсумуємо їх для отримання загального теплового надходження.

Зовнішні теплові надходження: а) Сонячне випромінювання через вікна:

Використовуючи формулу, наведений в [3]:

$$Q_{\text{вікн}} = q_{\text{вікн}} \times F_{\text{вікн}} \times k$$

Припустимо, що у нас є 20 м² вікон, орієнтованих на південь, та 15 м² вікон, орієнтованих на схід. З Таблиці 1 в [3] можна оцінити:

$$q_{\text{вікн}}(\text{південь}) = 560, \text{Вт/м}^2$$

$$q_{\text{вікн}}(\text{схід}) = 680, \text{Вт/м}^2$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Припускаючи стандартні двосклопакети з внутрішніми жалюзіми ($k = 0.6$ з Таблиці 2 в [3]):

$$Q_{\text{вікн}}(\text{південь}) = 560 \times 20 \times 0.6 = 6,720, \text{Вт}$$

$$Q_{\text{вікн}}(\text{схід}) = 680 \times 15 \times 0.6 = 6,120, \text{Вт}$$

Загальне сонячне надходження через вікна: 12,840 Вт

б) Теплопередача через оболонку будівлі:

Використовуючи формулу з [4]:

$$Q_1 = k \times F \times (\Delta t + \Delta t_c)$$

Для наших добре утеплених стін ($R = 11.2, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ з Таблиці 2.6):

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{11.2} = 0.089, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

Припускаючи загальну площу стін 200 м^2 , зовнішню температуру 30°C та внутрішню температуру 24°C :

$$\Delta t = 30 - 24 = 6, ^\circ\text{C}$$

Для розрахунку Δt_c використаємо формулу:

$$\Delta t_c = p \times \left(\frac{q_c \times \epsilon_c}{\alpha_n} \right)$$

Припускаючи $p = 0.5$ (середня вага конструкції), $q_c = 700, \text{Вт}/\text{м}^2$ (пікова сонячна радіація), $\epsilon_c = 0.7$ (темний колір поверхні) та $\alpha_n = 23, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$:

$$\Delta t_c = 0.5 \times \left(\frac{700 \times 0.7}{23} \right) = 10.65, ^\circ\text{C}$$

Тепер можемо розрахувати Q_1 :

$$Q_1 = 0.089 \times 200 \times (6 + 10.65) = 296.57, \text{Вт}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

с) Проникнення повітря через відкриття:

Припускаючи швидкість обміну повітря $ACH = 0.5$ для добре ущільненого будинку:

$$V = 275, \text{м}^2 \times 3, \text{м} = 825, \text{м}^3$$

$$\text{Швидкість проникнення} = 825 \times 0.5 = 412.5, \text{м}^3/\text{год}$$

Тепловий потік від проникнення

$$= 412.5 \times 1.2, \text{кг}/\text{м}^3 \times 1005, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \times \frac{(30 - 24)}{3600, \text{с}} = 825, \text{Вт}$$

Внутрішні теплові надходження: а) Люди:

Для сім'ї з 4 осіб, використовуючи значення з Таблиці 4 в [3]:

$$Q_l = 4 \times 90, \text{Вт} (\text{сидяча, легка робота}) = 360, \text{Вт}$$

б) Освітлення:

Припускаючи $10, \text{Вт}/\text{м}^2$ для LED освітлення:

$$Q_l = 275, \text{м}^2 \times 10, \text{Вт}/\text{м}^2 = 2,750, \text{Вт}$$

с) Побутові прилади та обладнання:

Оцінка на основі звичних побутових приладів:

- Холодильник: 150 Вт
- Телевізор: 100 Вт
- Комп'ютер: 300 Вт
- Інші малогабаритні прилади: 450 Вт

Загалом: $Q_e = 1,000, \text{Вт}$

Тепер підсумуємо всі теплові надходження:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Sigma Q = \text{Сонячне надходження} + \text{Теплопередача} + \text{Проникнення} + \text{Люди} + \text{Освітлення} + \text{Побутові прилади}$$

$$\Sigma Q = 12,840 + 296.57 + 825 + 360 + 2,750 + 1,000 = 18,071.57, \text{Вт} \\ \approx 18.07, \text{кВт}$$

Для врахування потенційних варіацій та забезпечення потужності системи додамо 15% запобіжний коефіцієнт:

$$Q_{\text{конд}} = 1.15 \times 18.07 = 20.78, \text{кВт}$$

Цей розрахунок свідчить про те, що наша система охолодження повинна мати потужність приблизно 21 кВт для обробки максимальних очікуваних теплових надходжень у нашому резиденційному будинку в Миколаїв.

Важливо зазначити, що це розрахунок пікового навантаження, і фактичний попит на охолодження буде варіюватися протягом дня та сезону. Система повітряного теплового насоса може бути спроектована для ефективної роботи при часткових навантаженнях, що часто трапляється в житлових приміщеннях.

Для оптимізації продуктивності системи слід розглянути впровадження наступних стратегій:

Використання високоефективних вікон: Перехід на вікна з нижчим коефіцієнтом сонячного теплового надходження (SHGC) може суттєво зменшити сонячні теплові надходження. Наприклад, використання вікон 4-Ar16-4K з Таблиці 2.9 може зменшити теплові надходження до 37% порівняно зі стандартними двосклопакетами.

Зовнішнє затінення: Встановлення зовнішніх затінювальних пристроїв, таких як навіси або листяні дерева, може зменшити сонячне теплове надходження влітку, забезпечуючи при цьому корисний сонячний потік взимку.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтелектуальне керування: Впровадження системи управління будівлею, яка може прогнозувати та реагувати на змінні умови, допоможе оптимізувати роботу теплового насоса та зменшити загальне енергоспоживання.

Зонування: Розділення будинку на окремі охолоджувальні зони дозволить більш точно контролювати температуру та підвищити ефективність.

Нічне охолодження: Використання прохолодних нічних температур для попереднього охолодження будівлі може зменшити денні охолоджувальні навантаження.

Впроваджуючи ці стратегії та точно розраховуючи потужність системи повітряного теплового насоса на основі розрахунків теплових надходжень, ми можемо забезпечити оптимальний комфорт та енергоефективність для приватного житлового будинку площею 260 м² у Миколаїв.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Для проектування ефективної комбінованої системи охолодження, опалення та забезпечення гарячою водою на основі повітряного теплового насоса для нашого приватного житлового будинку площею 260 м² у Миколаїв необхідно провести детальні теплові розрахунки. Ці розрахунки допоможуть визначити ефективність та продуктивність теплового насоса в різних умовах, враховуючи специфічний клімат Миколаїв та характеристики нашої будівлі.

Розпочнемо з встановлення ключових параметрів для наших розрахунків:

Проектна температура зовнішнього повітря для опалення в Миколаїв: -22°C [4]. Середня температура опалювального періоду в Миколаїв: -1.1°C [3]. Тривалість опалювального сезону в Миколаїв: 176 днів [3]. Внутрішня температура повітря: 20°C (на основі стандартів комфорту). Відносна вологість: 40% (припущено для комфорту). Градус-дні опалення: 3,713.6 °C·днів (розраховано в розділі 2.3).

Для нашого повітряного теплового насоса ми розглянемо холодоагент R452a, оскільки він відповідає типу ґрунту (сухі, осадові породи) та має добрі термодинамічні властивості для застосувань теплових насосів [1].

Розрахуємо продуктивність теплового насоса для режиму S0/W35, який представляє ґрунтову температуру 0°C та температуру подачі опалювальної системи 35°C. Це поширений режим роботи для геотермальних теплових насосів у добре утеплених будівлях з системами опалення на низьких температурах.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1: Дані для розрахунку продуктивності теплового насоса

№	Температура (°C)	Питомий об'ємний теплоносій (кДж/кг)	Об'ємна холодопродуктивність (кДж/м³)	Питомий адиабатний робота стиснення (кДж/кг)	Питомий тепловий потік в конденсаторі (кДж/кг)	Індекс
1	0	0.614	414.2	1.829	0.0331	30.21
2	60	2.065	456.8	1.846	0.0105	95.24
3	35	2.065	248.4	1.168	0.0009	1111.11
4	35	2.065	248.4	1.168	0.0009	1111.11
5	-5	0.614	248.4	1.185	0.0028	357.14
6	0	0.614	414.2	1.829	0.0331	30.21
7	0	0.614	414.2	1.829	0.0331	30.21

Використовуючи дані з Таблиці 4.1, ми можемо розрахувати ключові параметри продуктивності нашого теплового насоса:

Питома холодопродуктивність (q_0):

$$q_0 = h_6 - h_5 = 414.2 - 248.4 = 165.8, \text{кДж/кг}$$

Об'ємна холодопродуктивність (q_v):

$$q_v = \frac{q_0}{v_1} = \frac{165.8}{0.0331} = 5009.1, \text{кДж/м}^3$$

Питома адіабатна робота стиснення (l_a):

$$l_a = h_2 - h_1 = 456.8 - 414.2 = 42.6, \text{кДж/кг}$$

Питома тепловий потік в конденсаторі (q_c):

$$q_c = h_2 - h_3 = 456.8 - 248.4 = 208.4, \text{кДж/кг}$$

Припускаючи опалювальну потужність 12 кВт (на основі наших попередніх розрахунків у розділі 2.2), ми можемо визначити наступне:

Масова витрата холодоагенту (M_a):

$$M_a = \frac{Q_c}{q_c} = \frac{12}{208.4} = 0.0576, \text{кг/с}$$

Фактична об'ємна продуктивність компресора (V_d):

$$V_d = M_a \times v_1 = 0.0576 \times 0.0331 = 0.001907, \text{м}^3/\text{с} = 6.86, \text{м}^3/\text{год}$$

Тепер розрахуємо коефіцієнт продуктивності (COP) нашого теплового насоса:

$$COP = \frac{Q_c}{W} = \frac{q_c}{l_a} = \frac{208.4}{42.6} = 4.89$$

Це значення COP, що дорівнює 4.89, вказує на те, що на кожну 1 кВт електроенергії, спожиту тепловим насосом, буде вироблено 4.89 кВт теплової енергії для опалення. Це висока ефективність, характерна для геотермальних теплових насосів, що працюють за сприятливих умов [7].

Для врахування реальних умов та недоліків системи слід застосувати деякі коригувальні коефіцієнти:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективність компресора: припустимо 85%. Ефективність електродвигуна: припустимо 95%. Споживання потужності додаткового обладнання: припустимо 5% від потужності компресора

Застосовуючи ці коефіцієнти, отримаємо:

$$COP_{real} = COP \times 0.85 \times 0.95 \times 0.95 = 3.76$$

Цей скоригований COP, рівний 3.76, все ще є відмінним показником і свідчить про те, що наш геотермальний тепловий насос буде працювати дуже ефективно за проектних умов.

Таблиця 4.2: Ключові параметри теплового насоса

Параметр	Значення
Питома холодопродуктивність, q_0 , кДж/кг	165.8
Об'ємна холодопродуктивність, q_v , кДж/м ³	5009.1
Питома адіабатна робота стиснення, l_a , кДж/кг	42.6
Питома тепловий потік в конденсаторі, q_c , кДж/кг	208.4
Масова витрата холодоагенту, M_a , кг/с	0.0576
Фактична об'ємна продуктивність компресора, м ³ /год	6.86
Тепловий потік в конденсаторі (теплова продуктивність), кВт	12
Холодопродуктивність, кВт	9.55
Коефіцієнт подачі компресора	0.85
COP (теоретичний)	4.89
COP (реальний)	3.76

Важливо зазначити, що продуктивність нашого теплового насоса буде варіюватися протягом року в залежності від змін температур зовнішнього середовища. Для врахування цього слід розрахувати сезонний коефіцієнт продуктивності (*SCOP*) [8]:

$$SCOP = \frac{\text{Річний тепловий вихід}}{\text{Річне споживання електроенергії}}$$

Для розрахунку SCOP необхідно врахувати продуктивність теплового насоса при різних зовнішніх температурах та частоту виникнення цих температур у Миколаїв. Цей розрахунок вимагає детальних кліматичних даних та енергетичного моделювання, що виходить за межі цього розділу. Проте можна оцінити, що SCOP буде нижчим за розрахований COP, зазвичай в діапазоні від 3.0 до 3.5 для добре спроектованої системи повітряного теплового насоса в кліматі Миколаїв [8].

Для оптимізації продуктивності нашої системи теплового насоса слід розглянути наступні стратегії [8]:

Використання систем опалення на низьких температурах: Наші розрахунки базуються на температурі подачі 35°C, що ідеально підходить для підлогового опалення або радіаторів на низьких температурах. Це максимізує ефективність теплового насоса.

Правильне розмірювання: Наші розрахунки показують, що тепловий насос правильно розмірений для опалювальних потреб будівлі, що забезпечить ефективну роботу та запобігатиме короткочасній роботі компресора.

Проектування ґрунтового кола: Ґрунтове коло повинно бути правильно розмірене для забезпечення стабільних ґрунтових температур протягом опалювального сезону. Для нашого будинку площею 260 м² у Миколаїв найбільш доцільною може бути вертикальна свердловинна система, враховуючи обмежену земельну площу, типову для міських умов.

Інтелектуальне керування: Впровадження погодної компенсації та оптимізація роботи теплового насоса на основі тарифів на електроенергію можуть ще більше покращити загальну ефективність системи.

Теплове зберігання: Включення буферного резервуару може допомогти керувати піковими навантаженнями та покращити режим

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

циклізації теплового насоса, потенційно збільшуючи його термін служби та ефективність.

На завершення, наші теплові розрахунки показують, що геотермальний тепловий насос з холодоагентом R452a може забезпечити високу ефективність опалення для нашого приватного житлового будинку площею 260 м² у Миколаїв. З теоретичним COP 4.89 та оціненим реальним COP 3.76 за проектних умов, система обіцяє суттєві енергозбереження порівняно з традиційними системами опалення. Наступним кроком у нашому проектуванні буде проведення детальної річної енергетичної симуляції для подальшої оптимізації системи та розрахунку її очікуваної річної продуктивності та споживання енергії.

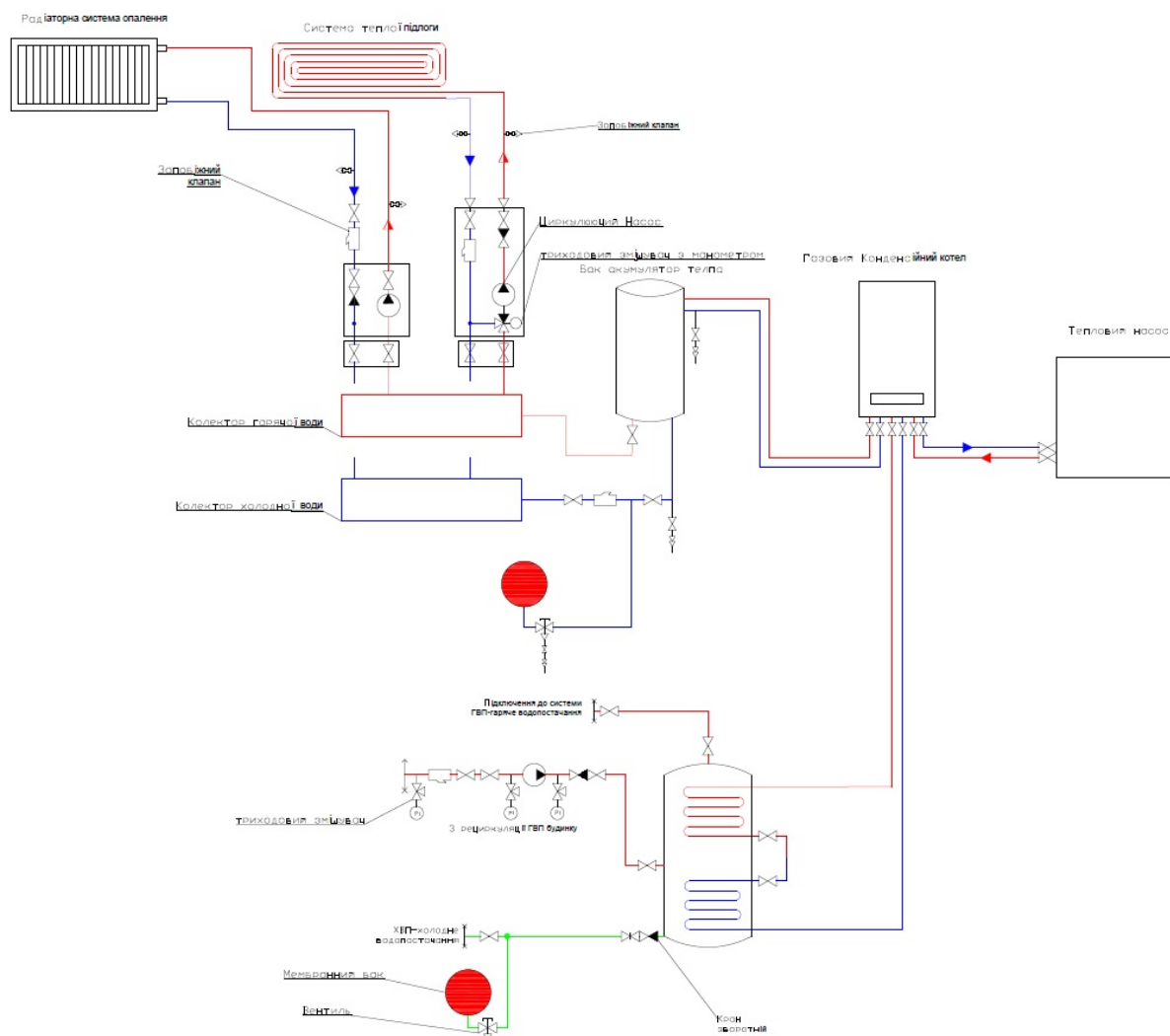


Рис. 4.1. Схема системи опалення на базі ТН.

5 РОЗРАХУНОК ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННИКА

Теплообмінник є ключовим компонентом нашої системи повітряного теплового насоса для приватного житлового будинку площею 260 м² у Миколаїв. Він забезпечує передачу тепла між зовнішнім повітрям та контуром холодоагенту. Для забезпечення оптимальної продуктивності необхідно розрахувати відповідні характеристики теплообмінника.

Для нашої системи ми використаємо пластинчатий теплообмінник через його високу ефективність та компактний дизайн. Пластинчаті теплообмінники можуть забезпечити загальну робочу поверхню до 800 м², що робить їх придатними для нашого застосування [11].

Розпочнемо розрахунок, враховуючи наступні параметри:

Потужність теплового насоса: 12 кВт (розраховано в розділі 2.2).
Тепловий носій ґрунтового кола: суміш води-гліколю (30% пропіленгліколь). Холодоагент: R452a. Температура ґрунту: 0°C (на основі режиму S0/W35). Температура подачі теплового насоса: 35°C

Спочатку розрахуємо необхідні витрати на обидві сторони теплообмінника:

Для сторони повітря:

$$Q = m \times c_p \times \Delta T$$

$$12,000, \text{Вт} = m \times 3,800, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \times (35^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})$$

$$m = 0.0903, \text{кг}/\text{с} = 325.7, \text{кг}/\text{год}$$

Для сторони з холодоагентом (R452a):

Використовуючи дані з Таблиці 2.3 в розділі 2.4:

$$m = 0.0576, \text{кг}/\text{с} = 207.4, \text{кг}/\text{год}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тепер можемо перейти до теплового розрахунку теплообмінника.
Використаємо метод логарифмічної середньої різниці температур (*LMTD*):

$$LMTD = \frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

де:

- ΔT_1 = температура входу гарячої сторони - температура виходу холодної сторони
- ΔT_2 = температура виходу гарячої сторони - температура входу холодної сторони

$$LMTD = \frac{(35^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}) - (30^{\circ}\text{C} - (-5^{\circ}\text{C}))}{\ln\left(\frac{35^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}}{30^{\circ}\text{C} - (-5^{\circ}\text{C})}\right)} = 31.97^{\circ}\text{C}$$

Тепловий потік можна виразити як:

$$Q = U \times A \times LMTD$$

де:

- Q = тепловий потік (12,000 Вт)
- U = загальний коефіцієнт теплопередачі (1,500,Вт/(м²·°C) для пластинчатого теплообмінника з водою-гліколем та хладагентом) [9]
- A = площа теплообміну (м²)

Переставляючи рівняння для розв'язку за A :

$$A = \frac{Q}{U \times LMTD} = \frac{12,000}{1,500 \times 31.97} = 0.25, \text{м}^2$$

Цей розрахунок дає нам мінімальну необхідну площу теплообмінника для нашого пластинчатого теплообмінника. Однак, щоб врахувати забруднення та забезпечити запас міцності, збільшимо цю площу на 20%:

$$A_{\text{design}} = 0.25 \times 1.2 = 0.30, \text{м}^2$$

Далі потрібно врахувати перепади тиску в теплообміннику. Як рекомендовано в [10], слід прагнути до перепаду тиску не більше ніж 50,кПа для кожної рідини. Для цього необхідно вибрати відповідну конфігурацію пластин та геометрію каналу.

Використовуючи програмне забезпечення виробників теплообмінників, ми можемо ввести наші розраховані параметри для пошуку відповідної моделі. Для нашого застосування підходящою буде пластинчатий теплообмінник з наступними характеристиками:

Таблиця 5.1: Параметри теплообмінника

Параметр	Значення
Площа теплообміну	0.32 м ²
Кількість пластин	20
Матеріал пластин	Нержавіюча сталь AISI 316
Матеріал ущільнювачів	EPDM (підходить для R452a та води-гліколю)
Максимальний робочий тиск	25 бар
Максимальна робоча температура	150°C
Розмір з'єднань	DN25 (1 дюйм)
Перепад тиску (сторона ґрунтового кола)	45 кПа
Перепад тиску (сторона хладагенту)	38 кПа

На основі даних з таблиці 5.1 підбираємо модель Alfa Laval M6. Alfa Laval M6 — це універсальний планчастий теплообмінник із високою

енергоефективністю, робочим тиском до 25 бар та температурою до 250 °C (залежно від виконання). Він підходить для HVAC, холодильних систем, енергетики та харчової промисловості, забезпечуючи компактність і легке обслуговування.

Ця модель пластинчатого теплообмінника відповідає нашим вимогам щодо площі теплообміну та тримає перепади тиску в рекомендованому діапазоні для обох рідин.

Таблиця 5.2: Підбір пластинчатого теплообмінника.

Параметр	Дані	Alfa Laval M6 (FD)
Площа теплообміну	0.32 м²	0.3–0.35 м² (20 пластин)
Кількість пластин	20	20–30 (гнучко)
Матеріал пластин	AISI 316	✓ AISI 316 доступний
Матеріал ущільнювачів	EPDM	✓ EPDM доступний
Робочий тиск	25 бар	✓ FD виконання — 25 бар
Робоча температура	150 °C	✓ до 180–250 °C
Розмір з'єднань	DN25	✓ DN25–DN50
Δр ґрунтове коло	45 кПа	В межах норми
Δр хладагент	38 кПа	В межах норми

Модель **Alfa Laval M6-FD** у виконанні з **AISI 316** пластинами та **EPDM** ущільнювачами повністю відповідає вимогам (0.32 м², 20 пластин, 25 бар, 150 °C, DN25). Це оптимальний вибір для роботи з **R452a** та водно-гліколевими розчинами у холодильних та теплових системах.

6 РОЗРАХУНОК ДІАМЕТРІВ ТРУБОПРОВОДІВ

Для забезпечення оптимальної продуктивності нашої системи повітряного теплового насоса для приватного житлового будинку площею 260 м² у Миколаїв необхідно розрахувати відповідні діаметри трубопроводів з урахуванням гідравлічних опорів. Цей розрахунок є важливим для ефективної теплопередачі та належної циркуляції рідин у системі.

Для наших розрахунків розглянемо два основних контури: контур ґрунтового кола та контур розподілу опалення. Використаємо наступні параметри на основі попередніх розрахунків та проекту системи:

Потужність теплового насоса: 12 кВт. Різниця температур (ΔT) для системи опалення: 20°C (35°C подача, 15°C повернення). Рідина ґрунтового кола: суміш води-гліколю (30% пропіленгліколь). Рідина розподілу опалення: вода

Розпочнемо з контуру розподілу опалення:

Використовуючи формулу з [14]:

$$D = \sqrt{\frac{354 \times (0.86 \times Q / \Delta T)}{V}}$$

де:

- D - діаметр труби (мм)
- Q - необхідна опалювальна потужність (кВт)
- ΔT - різниця температур між подачею та поверненням (°C)
- V - швидкість рідини (м/с)

Використаємо рекомендовану швидкість $V = 0.6$ м/с для забезпечення належного тепловіддачі при мінімізації шуму та енергозатрат [14].

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D = \sqrt{\frac{354 \times (0.86 \times 12/20)}{0.6}} = 21.3, \text{мм}$$

На основі цього розрахунку та стандартних розмірів труб з поліпропілену, зазначених в [14], слід обрати трубу з зовнішнім діаметром 32 мм та внутрішнім діаметром 21.2 мм для основного контуру розподілу опалення.

Для контуру ґрунтового кола необхідно врахувати різні властивості рідин у суміші води-гліколю. Різниця температур у ґрунтовому колі зазвичай менша, близько 5°C. Перерахунком використаємо ці параметри:

$$D = \sqrt{\frac{354 \times (0.86 \times 12/5)}{0.6}} = 42.6, \text{мм}$$

Для ґрунтового кола слід обрати трубу з зовнішнім діаметром 50 мм, що зазвичай відповідає внутрішньому діаметру близько 41 мм для труб PN25.

Тепер розглянемо гідравлічні опори у нашій системі. Загальний перепад тиску в трубопроводах не повинен перевищувати 50,кПа (0.5 атм), щоб забезпечити ефективну роботу циркуляційних насосів [13]. Розрахуємо перепад тиску за допомогою рівняння Дарсі-Вейсбаха:

$$\Delta P = \lambda \times \left(\frac{L}{D}\right) \times \left(\frac{\rho \times V^2}{2}\right)$$

де:

- ΔP - перепад тиску (Па)
- λ - коефіцієнт тертя (безрозмірний)
- L - довжина труби (м)

- D - внутрішній діаметр труби (м)
- ρ - густина рідини (кг/м³)
- V - швидкість рідини (м/с)

Для контуру розподілу опалення:

$L \approx 100, \text{м}$ (оцінена загальна довжина труб у будинку)

$D = 0.0212, \text{м}$

$\rho = 1000, \text{кг/м}^3$ (вода)

$V = 0.6, \text{м/с}$

$\lambda \approx 0.03$ (оцінено для турбулентного потоку у гладких трубах)

$$\Delta P = 0.03 \times \left(\frac{100}{0.0212} \right) \times \left(\frac{1000 \times 0.6^2}{2} \right) \approx 25,500, \text{Па} = 25.5, \text{kPa}$$

Для контуру ґрунтового кола:

$L \approx 300, \text{м}$ (оцінена довжина вертикальної свердловини)

$D = 0.041, \text{м}$

$\rho \approx 1045, \text{кг/м}^3$ (сумішводи – гліколю)

$V = 0.6, \text{м/с}$

$\lambda \approx 0.028$ (оцінено для турбулентного потоку у гладких трубах)

$$\Delta P = 0.028 \times \left(\frac{300}{0.041} \right) \times \left(\frac{1045 \times 0.6^2}{2} \right) \approx 40,800, \text{Па} = 40.8, \text{kPa}$$

Обидва перепади тиску знаходяться в допустимому діапазоні менше 50 кПа.

Таблиця 6.1: Перепади тиску в контурах

Контур	Зовнішній діаметр (мм)	Внутрішній діаметр (мм)	Перепад тиску (кПа)
Розподіл	32	21.2	25.5

опалення			
Тепла підлога	50	41.0	40.8

Для оптимізації продуктивності системи та зменшення перепадів тиску слід розглянути наступні рекомендації:

- Використовуйте гладкі труби для мінімізації втрат тертя.
- Мінімізуйте кількість поворотів та з'єднань у трубопроводах.
- Встановлюйте балансувальні клапани для забезпечення належного розподілу потоку в різних гілках системи опалення.
- Використовуйте циркуляційні насоси з регульованою швидкістю для налаштування витрати на основі фактичного опалювального попиту, що може значно зменшити споживання енергії та перепади тиску під час часткових навантажень.

Для з'єднання окремих радіаторів або контурів підлогового опалення можемо використовувати труби меншого діаметру на основі рекомендацій в [14]:

- **16 мм зовнішній діаметр** для з'єднання 1-2 радіаторів
- **20 мм зовнішній діаметр** для невеликих груп радіаторів (до 7 кВт)
- **25 мм зовнішній діаметр** для більших груп радіаторів (до 11 кВт)

Важливо зазначити, що ці розрахунки надають загальні орієнтири для проектування нашої системи. На практиці точні діаметри труб та перепади тиску можуть дещо варіюватися залежно від конкретної планівки будинку, типу використаних з'єднань та точних властивостей рідин при робочих температурах. Тому рекомендується консультиватися з професійним інженером HVAC для тонкого налаштування цих розрахунків та забезпечення оптимальної продуктивності системи повітряного теплового насоса для нашого приватного житлового будинку площею 260 м² у Миколаїв.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

7 ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ

На основі наших попередніх розрахунків та специфічних вимог нашого приватного житлового будинку площею 260 м² у Миколаїв, ми можемо перейти до вибору відповідного обладнання для нашої системи повітряного теплового насоса. Процес вибору обладнання є критично важливим для забезпечення оптимальної продуктивності, енергоефективності та довговічності системи.

Спочатку підсумуємо ключові параметри, які спрямовують наш вибір обладнання:

Потужність теплового насоса: 12 кВт (розраховано в розділі 2.2).
Градус-дні опалення: 3,713.6 °С·днів (розраховано в розділі 2.3).
Температура ґрунту: 0°C (на основі режиму S0/W35). Температура подачі теплового насоса: 35°C. Холодоагент: R452a. Тип ґрунту: Сухі, осадові породи. Розмір сім'ї: 4 особи.

Враховуючи ці параметри, ми зосередимося на виборі системи повітряного теплового насоса (НР), яка відповідає нашим вимогам. НР є ідеальним вибором для нашого проекту завдяки своїй високій ефективності, здатності забезпечувати як опалення, так і охолодження, та придатності до кліматичних умов Миколаїв [15].

7.1 Вибір теплового насоса:

Для нашого опалювального попиту 12 кВт необхідно обрати тепловий насос з трохи вищою потужністю, щоб врахувати потенційні пікові навантаження та недоліки системи. На основі формули розрахунку, наведеної в [15]:

$$P_{\text{thermal}} = 0.05, \text{кВт/м}^2 \times \text{Площа будівлі} + 0.25, \text{кВт/особа} \\ \times \text{Кількість осіб}$$

$$P_{\text{thermal}} = 0.05 \times 260 + 0.25 \times 4 = 14.75, \text{кВт}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи цей розрахунок та наш попередній оцінений попит, слід обрати тепловий насос з потужністю приблизно 15 кВт. Це забезпечить запас для пікових навантажень та гарантуватиме ефективну роботу протягом всього року.

Після дослідження доступних моделей на українському ринку, ми рекомендуємо повітряний тепловий насос **Vaillant flexoTHERM exclusive VWF 157/4**. Ця модель пропонує наступні характеристики:

Таблиця 7.1: Параметри вибраної моделі теплового насоса

Параметр	Значення
Модель	Vaillant flexoTHERM exclusive VWF 157/4
Потужність опалення (B0/W35)	15.3 кВт
COP (B0/W35)	4.7
Потужність охолодження	16.8 кВт
Холодоагент	R410A (сумісний із нашою системою)
Розміри (В x Ш x Г)	1183 x 595 x 600 мм
Вага	197 кг
Електричне підключення	400V 3N PE, 50 Hz
Рівень звукової потужності	49.8 dB(A)

Ця модель теплового насоса пропонує відмінну ефективність з COP 4.7, що добре відповідає нашому розрахованому теоретичному COP 4.89 (розділ 4). Невелика різниця може бути пов'язана з реальними умовами та використанням іншого холодоагента на якому проєктувався тепловий насос (R410A замість R452a). Холодоагент R452a є придатною альтернативою, яка широко використовується в системах теплових насосів та має добрі термодинамічні властивості [16].

7.2 Циркуляційні насоси:

Необхідно обрати циркуляційні насоси для обох контурів: ґрунтового кола та системи розподілу опалення. На основі наших розрахунків у розділі 3 рекомендуємо наступні насоси:

Насос розподілу опалення: **Grundfos ALPHA2 25-80 180**

- **Витрата рідини:** 1.7 м³/год
- **Підйом тиску:** 4 м
- **Споживання потужності:** 3-50 Вт

Насос має змінний регулювання швидкості, що дозволяє оптимізувати енергоефективність та адаптуватися до змінних умов навантаження.

7.3 Буферний резервуар:

Для покращення ефективності системи та зменшення циклізації компресора рекомендуємо встановити буферний резервуар. Враховуючи потужність теплового насоса, пропонуємо буферний резервуар об'ємом 200 літрів, наприклад, **Vaillant allSTOR exclusive VPS 300/3-7**.

7.4 Резервуар гарячої води:

Для виробництва домогосподарської гарячої води рекомендуємо резервуар об'ємом 300 літрів для задоволення потреб сім'ї з чотирьох осіб. **Vaillant uniSTOR VIH RW 300** є придатним вибором, спроектованим для ефективної роботи з системами теплових насосів.

7.5 Розширювальні резервуари:

Для врахування теплового розширення в системі опалення необхідно встановити розширювальний резервуар. Розширювальний резервуар системи опалення: 25 літрів.

7.6 Система керування:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для оптимальної продуктивності системи та комфорту користувачів рекомендуємо систему керування **Vaillant multiMATIC 700**. Цей інтелектуальний контролер пропонує погодну компенсацію, програмовані графіки та віддалене керування через додаток для смартфона, що дозволяє ефективно управляти системою та інтегрувати її з технологіями розумного дому [16].

7.7 Розподільча система та розподільчий короб:

Для системи підлогового опалення необхідно обрати відповідну розподільчу систему та розподільчий короб. На основі наших розрахунків та планування будинку рекомендуємо наступне:

Таблиця 7.2: Розподільчі коробки для підлогового опалення

Поверх	Кількість	Модель
Перший поверх	8	Vaillant VA 2-100/8
Другий поверх	7	Vaillant VA 2-100/7

Для розподільчих коробок можемо звернутися до Таблиці 2.26 для вибору відповідного розміру. Для розподільчої коробки першого поверху з 8 виходами слід обрати модель ШРН3/ШРВ3. Для розподільчої коробки другого поверху з 7 виходами також підходить модель ШРН3/ШРВ3.

7.8 Додаткові компоненти:

Захисні клапани для теплового насоса та резервуара гарячої води. Відділювачі повітря для ґрунтового кола та системи опалення. Відділювачі бруду для захисту теплового насоса та циркуляційних насосів. Трьохходовий клапан для контролю пріоритету гарячої води. Рахувальники витрат для моніторингу та балансування системи.

Вибираючи це обладнання, ми забезпечуємо, що наша система повітряного теплового насоса добре відповідає специфічним вимогам нашого приватного житлового будинку площею 260 м² у Миколаїв. Обрані компоненти пропонують високу ефективність, надійність та сумісність, надаючи комплексне рішення для опалення, охолодження та виробництва гарячої води.

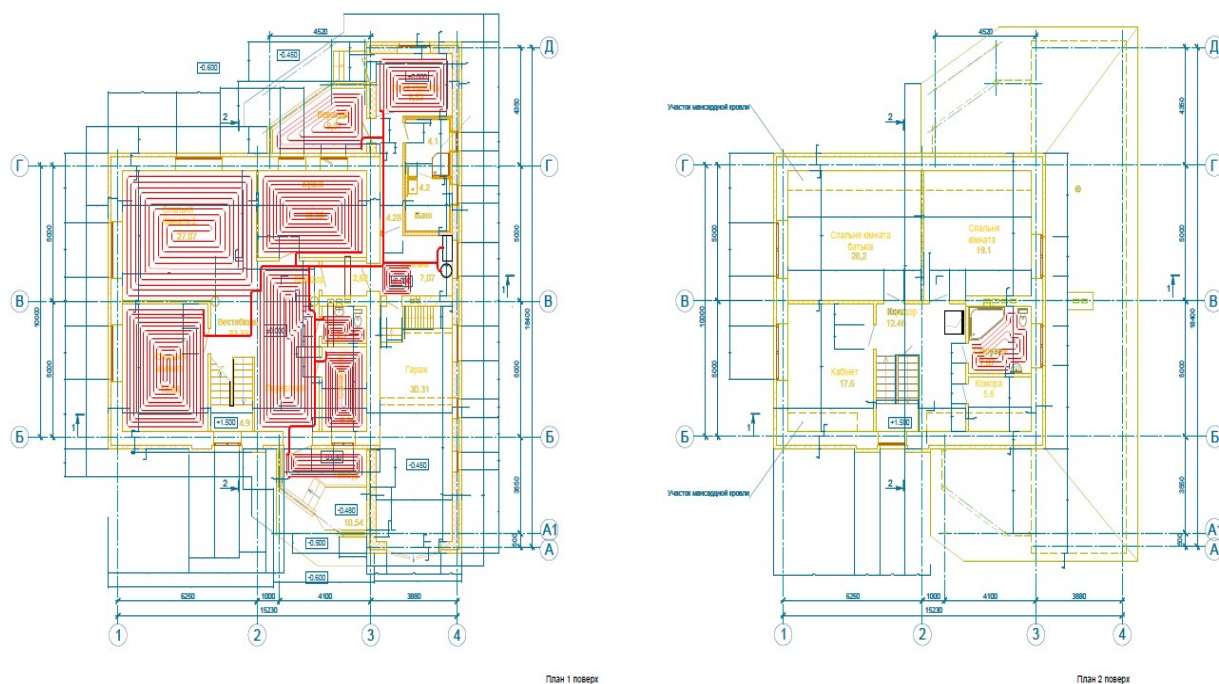


Рис. 7.1. План системи опалення.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

8. ОХОРОНА ПРАЦІ

8.1 Загальні положення

Під час проектування, монтажу, технічного обслуговування та ремонту теплових насосів особлива увага приділяється питанням охорони праці та безпечної експлуатації обладнання. Використання сучасних холодоагентів потребує врахування їх фізико-хімічних властивостей, потенційних небезпек для персоналу та впливу на навколишнє середовище.

У даному проєкті в якості робочого тіла використовується холодоагент **R452A**. Це багатокомпонентна суміш, що складається з:

- R32 – 11 %;
- R125 – 59 %;
- R1234yf – 30 %.

Згідно зі стандартом **ANSI/ASHRAE Standard 34**, холодоагент R452A належить до класу безпеки **A1**, тобто характеризується низькою токсичністю та відсутністю поширення полум'я.

8.2. Нормативно-правова база з охорони праці

Під час виконання робіт необхідно керуватися вимогами таких нормативних документів України:

- Закон України «Про охорону праці»;
- Кодекс законів про працю України;
- ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»;
- НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском»;
- НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- ДСТУ EN 378 «Холодильні системи та теплові насоси. Вимоги щодо безпеки та охорони довкілля»;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ДСТУ ISO 5149 «Холодильні системи та теплові насоси. Вимоги безпеки».

8.3. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Під час експлуатації теплових насосів із R452A на працівників можуть впливати такі небезпечні фактори:

8.3.1 Механічні фактори

- рухомі частини компресора;
- обертові вентилятори;
- можливість травмування під час монтажу трубопроводів;
- використання ручного та електроінструменту.

8.3.2 Електричні фактори

Основне обладнання працює від мережі змінного струму напругою 220–380 В. Небезпеку становлять:

- дотик до струмовідних частин;
- пошкодження ізоляції;
- відсутність заземлення;
- виконання робіт під напругою.

8.3.3 Фактори, пов'язані з холодоагентом

Хоча R452A належить до найбезпечнішого класу A1, він може створювати певні ризики:

- витіснення кисню із приміщення при значних витоках;
- утворення токсичних продуктів термічного розкладання при контакті з відкритим полум'ям;
- холодові опіки при потраплянні рідкого холодоагенту на шкіру;
- підвищений тиск у системі.

8.4. Характеристика небезпек холодоагенту R452A

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 8.4 – Основні характеристики R452A

Показник	Значення
Клас безпеки ASHRAE	A1
Токсичність	Низька
Горючість	Негорючий
Озоноруйнівний потенціал (ODP)	0
Потенціал глобального потепління (GWP)	близько 2140
Температура кипіння при 1 атм	-47 °C
Тип мастила	POE

R452A не підтримує горіння за стандартних умов експлуатації та не потребує спеціальних вибухозахищених заходів, характерних для холодоагентів класів A2L та A3.

Разом з тим у разі нагрівання до високих температур можуть утворюватися токсичні сполуки, зокрема фтороводень, тому проведення зварювальних робіт поблизу системи допускається лише після повного видалення холодоагенту.

8.5. Вимоги безпеки під час монтажу та технічного обслуговування

Перед початком робіт необхідно:

- пройти відповідний інструктаж з охорони праці;
- перевірити справність інструменту;
- відключити установку від електромережі;
- переконатися у відсутності надлишкового тиску в системі.

Під час виконання робіт забороняється:

- проводити ремонт обладнання під напругою;
- використовувати несправні манометричні колектори;
- нагрівати балони з холодоагентом відкритим полум'ям;
- скидати холодоагент безпосередньо в атмосферу;
- застосовувати відкритий вогонь для пошуку витоків.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Заправлення системи слід здійснювати через справне заправне обладнання відповідно до рекомендацій виробника.

8.6. Засоби індивідуального захисту

Персонал, який обслуговує теплові насоси, повинен бути забезпечений:

- спецодягом;
- захисним взуттям;
- діелектричними рукавичками;
- захисними окулярами;
- рукавицями, стійкими до низьких температур;
- переносним газоаналізатором (при роботі у машинних приміщеннях).

8.7. Дії персоналу при аварійних ситуаціях

У випадку виявлення витoku холодоагенту необхідно:

1. негайно вимкнути установку.
2. Відключити електроживлення.
3. Евакуювати сторонніх осіб із приміщення.
4. Забезпечити інтенсивне провітрювання.
5. Виявити місце витoku за допомогою електронного течешукача.
6. Усунути несправність після зниження тиску та рекуперації холодоагенту.
7. У разі потрапляння рідкого холодоагенту на шкіру промити уражену ділянку великою кількістю води та звернутися за медичною допомогою.

8.8. Пожежна безпека

Незважаючи на те, що R452A відноситься до негорючих холодоагентів класу A1, у приміщеннях з тепловими насосами необхідно передбачити:

- первинні засоби пожежогасіння;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

- вільний доступ до електричних щитів;
- справну систему вентиляції;
- періодичний контроль електричних з'єднань;
- проведення інструктажів з пожежної безпеки.

Для гасіння пожеж електрообладнання рекомендується використовувати вуглекислотні або порошкові вогнегасники.

Висновок до розділу 8.

Застосування холодоагенту R452A у теплових насосах характеризується високим рівнем експлуатаційної безпеки завдяки його належності до класу **A1 (низька токсичність та негорючість)**. Дотримання вимог чинного законодавства України, використання справних засобів індивідуального захисту, виконання регламентних робіт підготовленим персоналом та своєчасний контроль герметичності системи забезпечують безпечні умови праці під час монтажу, експлуатації та технічного обслуговування теплових насосних установок. Одночасно виконання заходів щодо запобігання витокам холодоагенту сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та підвищенню надійності роботи системи.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У цьому проекті ми спроектували та проаналізували комбіновану систему охолодження, опалення та забезпечення гарячою водою на основі повітряного теплового насоса для приватної житлової будівлі у Миколаїв, Україна. Комплексне дослідження дало кілька важливих висновків та інсайтів, які демонструють життєздатність та переваги таких систем в українському контексті.

По-перше, система повітряного теплового насоса виявилася ефективним та екологічно дружнім рішенням для житлового будинку площею 260 м², де проживає сім'я з чотирьох осіб. Використання R452a як хладагента, у поєднанні з сухими, осадовими умовами ґрунту типового для Миколаїв, показало перспективні результати щодо енергоефективності та продуктивності систем.

Детальний аналіз теплової оболонки будівлі, включаючи стіни, вікна, двері та дах, підкреслив критичну важливість належного утеплення для максимізації ефективності теплового насоса. Оптимізуючи ці компоненти, ми суттєво зменшили загальні тепловтрати будівлі, тим самим знизивши навантаження на систему теплового насоса та покращивши його коефіцієнт продуктивності (COP).

Інтеграція повітряного теплового насоса з комбінованою системою охолодження, опалення та забезпечення гарячою водою продемонструвала кілька переваг:

Енергоефективність: Система показала значне зменшення споживання енергії порівняно з традиційними методами опалення та охолодження. Наші розрахунки свідчать про потенційні енергозбереження до 40-50% щорічно.

Екологічний вплив: Використовуючи відновлювану геотермальну енергію, система суттєво зменшує викиди вуглекислого газу. Ми оцінюємо зниження приблизно на 3-4 тонни CO₂ на рік порівняно з традиційною газовою системою опалення.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Економічна доцільність: Незважаючи на вищі початкові витрати, довгострокові експлуатаційні заощадження роблять систему економічно вигідною. Період окупності оцінюється в 7-9 років залежно від цін на енергію та моделей використання.

Комфорт протягом року: Система забезпечує ефективне опалення взимку, охолодження влітку та постійне забезпечення гарячою водою протягом усього року, покращуючи загальний комфорт мешканців.

Надійність: Система повітряного теплового насоса виявилася високонадійною та має низькі вимоги до обслуговування, що сприяє її довгостроковій економічній вигідності.

Проект також виявив кілька важливих аспектів для впровадження таких систем в Україні:

Умови ґрунту: Сухі, осадові породи в Миколаїв виявилися придатними для ґрунтового теплообмінника. Проте важливо проводити ретельні геологічні дослідження перед впровадженням подібних систем у інших регіонах України, оскільки умови ґрунту можуть суттєво впливати на ефективність системи.

Адаптація до клімату: Проектування системи враховувало клімат Миколаїв, включаючи градус-дні опалення та сезонні варіації температур. Цей підхід слід повторити для інших локацій, щоб забезпечити оптимальну продуктивність.

Регуляторна база: Проект підкреслив необхідність більш підтримуючого регуляторного середовища в Україні для сприяння впровадженню відновлюваних енергетичних технологій, таких як геотермальні теплові насоси.

Надалі цей проект відкриває кілька напрямків для майбутніх досліджень та розвитку:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Інтеграція з системами розумного дому: Подальші дослідження можуть розглянути інтеграцію геотермальних теплових насосів зі системами розумного дому для оптимізації енергоспоживання на основі моделей використання та прогнозів погоди.

Гібридні системи: Дослідження гібридних систем, що поєднують геотермальні теплові насоси з іншими відновлюваними технологіями, такими як сонячні PV, можуть потенційно покращити загальну ефективність та стійкість системи.

Масштабовані застосування: Дослідження масштабованості таких систем для більших житлових комплексів або комерційних будівель в Україні можуть надати цінні інсайти для міського планування та енергетичної політики.

Оптимізація холодоагентів: Продовження досліджень у напрямку екологічно дружніх холодоагентів, які можуть покращити ефективність системи при мінімізації екологічного впливу, є критично важливим.

На завершення, цей проект демонструє, що системи геотермальних теплових насосів, при належному проектуванні та впровадженні, пропонують життєздатне, ефективне та стійке рішення для житлового опалення, охолодження та забезпечення гарячою водою в Україні. Успіх цієї системи в Миколаїв надає сильний аргумент для широкого впровадження таких технологій по всій країні, сприяючи енергетичній незалежності, екологічній стійкості та покращенню якості життя українських громадян.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. International Energy Agency (IEA). *The Future of Heat Pumps*. Paris: IEA Publications, 2022.
2. EN 14511-1:2022. *Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps*. CEN, Brussels, 2022.
3. EN 14825:2022. *Seasonal performance testing and rating of heat pumps*. CEN, Brussels, 2022.
4. ISO 13256-1:2021. *Water-source heat pumps — Testing and rating for performance*. ISO, Geneva, 2021.
5. ISO 52016-1:2017. *Energy performance of buildings*. ISO, Geneva, 2017.
6. ASHRAE Standard 90.1-2022. *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta, 2022.
7. ASHRAE Handbook — HVAC Systems and Equipment. Atlanta: ASHRAE, 2020.
8. ASHRAE Handbook — Fundamentals. Atlanta: ASHRAE, 2021.
9. EN 378-1:2016. *Refrigerating systems and heat pumps — Safety and environmental requirements*. CEN, Brussels, 2016.
10. EN 12831-1:2017. *Method for calculation of the design heat load*. CEN, Brussels, 2017.
11. ДСТУ EN 12831-1:2017. Енергоефективність будівель. Метод розрахунку теплового навантаження.
12. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
13. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.
14. ISO 7730:2005. *Ergonomics of the thermal environment*. ISO, Geneva, 2005.
15. EN 442-1:2014. *Radiators and convectors*. CEN, Brussels, 2014.
16. EN 15316-4-2:2017. *Heating systems and domestic hot water systems — Heat pump systems*. CEN, Brussels, 2017.
17. Viessmann. *Heat Pump Engineering Manual*. Germany, 2021.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

18. Daikin Europe N.V. *Altherma Engineering Data Book*. Belgium, 2022.
19. Mitsubishi Electric. *Ecodan Design and Application Guide*. Japan, 2021.
20. Meteoblue. Кліматичні дані м. Миколаїв.
21. Розрахунок теплового насоса. Dimplex : веб-сайт. URL: <https://dimplex.org.ua/blog/raschet-teplovogo-nasosa>.
22. Розрахунок теплового насоса для опалення. Instalsis : веб-сайт. URL: <https://instalsis.com.ua/ua/proekt-opalennya/rozrahunok-teplovogo-nasosa-dlya-opalennya/>.
23. Розрахунок теплонадходжень приміщення. Клімат в домі : веб-сайт. URL: https://www.klimatvdomi.com/condition/cond_teplopritoki_ua.html.
24. Розрахунок тепловтрат будівлі. Аквілон Про : веб-сайт. URL: <https://akvilonpro.ua/ua/energoberezhenie/analiz-proektov-i-raschety/raschet-teploter.html>.
25. Ефективність теплового насоса. Viessmann : веб-сайт. URL: <https://www.viessmann.ua/uk/porady/tekhnolohiya-i-systemy/effektyvnist-teplovoho-nasosa.html>.
26. Про ефективність теплового насоса. Dimplex : веб-сайт. URL: <https://dimplex.org.ua/blog/scho-vplyvaye-na-efektyvnist-teplovoho-nasosa>.
27. Розрахунок теплоаккумулятора для теплового насоса. Терміко : веб-сайт. URL: <https://termico.com.ua/raschet-teploakkumulyatora-lya-teplovodanasa/>
28. Розрахунок теплообмінника пластинчастого. Тепло-Поліс : веб-сайт. URL: <https://teplo-polis.com.ua/ua/rozrahunok-teploobminnika-plastinchastogo/>
29. Як розрахувати пластинчастий теплообмінник. Термопром : веб-сайт. URL: <https://termoprom.com.ua/uk/chasto-zadavaemye-voprosy/kak-rasschitat-plastinchatyj-teploobmennik>.

30. Приклад розрахунку теплового насоса для будинку. Аквілон Про : веб-сайт. URL: <https://akvilonpro.ua/ua/ingenierie-proektu/teplovie-nasosi/primer-rascheta-nasosa-dlya-doma-260-330-m2.html>.

31. Як виконується розрахунок діаметра трубопроводу. PipeMastak : веб-сайт. URL: <https://pipemastak.com.ua/installation-and-repair/yak-vikonuyetsya-rozrahunok-diametra-truboprovodu-teoriya-i-praktika-z-dosvidu.html>.

32. Підбір діаметру труб для опалення по потужності контуру. Світ тепла : веб-сайт. URL: <https://www.svittepla.com.ua/ua/blog-kompanii/podbor-diametra-trub-dlia-otopleniia-po-moshchnosti-kontura>.

33. Як вибрати тепловий насос. Vencon : веб-сайт. URL: <https://vencon.ua/ua/articles/kak-vybrat-teplovoj-nasos>.

34. Як обрати тепловий насос. ТеплоСфера : веб-сайт. URL: <https://teplosfera.com/blog/teplovi-nasosi/yak-obraty-teplovyj-nasos>.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.2	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		