

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка побутового теплового насоса типу «повітря-повітря»

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТМ-23-1


Підпис

Кашук М.А.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

проф. д.т.н., Білий Л.А.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С.І. Турчиш
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

доц. к.т.н., Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

17 12 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень магістр

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр і назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»


Шифр і назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н., доцент Неймак В.С.

 . 12 . 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Кащук Максим Андрійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка побутового теплового насоса типу «повітря-повітря»

керівник роботи д.т.н., проф. Білий Л.А.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи Технологічні та технічні рішення застосування теплових насосів для побутових приміщень

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

Вступ. Огляд та аналіз технічних процесів і обладнання для виробництва тепла за допомогою теплових насосів. Розробка фізико-математичної моделі теплового насоса типу «повітря-повітря». Розробка теплового насоса типу «повітря-повітря». Експериментальне дослідження роботи теплових насосів «повітря-повітря» Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Огляд та аналіз технічних рішень теплових насосів. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Схема принципова роботи теплового насоса. Документ технологічний (A1). Аркуш 3. Фізико-математична модель роботи теплового насоса. Документ розрахунковий (A1). Аркуш 4. Структурна схема теплового насоса. Схема структурна (A1). Аркуш 5. Схема підключення зовнішнього та внутрішнього блоку теплового насоса. Схема електрична підключення (A1). Аркуш 6,7. Загальний вигляд теплового насоса. Вид загальний (2 креслення A1). Аркуш 8. Графіки досліджень роботи теплового насоса. Результати розрахунків

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Огляд та аналіз технічних процесів і обладнання для виробництва тепла за допомогою теплових насосів	до 15.10.22р.	
Розробка фізико-математичної моделі теплового насоса типу «повітря-повітря»	до 30.10.22р.	
Розробка теплового насоса типу «повітря-повітря»	до 5.11.22р.	
Експериментальне дослідження роботи теплових насосів «повітря-повітря»	до 20.11.22р.	
5. Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	до 12.12.22р.	

Студент


Підпис

М.А. Кашук
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Л.А. Білий
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Кашук Максим Андрійович

2. Тема магістерської роботи Розробка побутового теплового насоса типу «повітря-

повітря»
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень ___ арк., сторінок записки ___

5. Ця робота присвячена розробці побутового теплового насоса типу «повітря-повітря» з метою забезпечення оптимальних умов для зручності користувачів і ефективності енергоспоживання.

Запропоновано конструкцію теплового насоса, здійснено підбір його основних елементів та підбрано холодоагент, який відповідає забезпеченню оптимальних параметрів холодопродуктивності та коефіцієнту ефективності теплового насоса..

У роботі описується розробка та реалізація побутового теплового насоса типу «повітря-повітря».

В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі було розглянуто основні типи теплових насосів. Було запропоновано розглянути всі аспекти кожного типу теплових насосів і розробити та дослідити конструкцію теплового насоса «повітря-повітря», щоб отримати оптимальний режим роботи. Це пов'язано з його численними перевагами, включно з ефективністю, універсальністю та простотою використання. Тому було запропоновано розробити та дослідити конструкцію теплового насоса типу «повітря-повітря» для отримання оптимальних умов експлуатації.

У другому розділі розраховано основні параметри процесу генерації тепла тепловим насосом. Запропоновано основні рівняння для визначення холодопродуктивності (теплопродуктивності) системи, холодильного коефіцієнта, продуктивності компресора і теплового навантаження конденсатора.

У третьому розділі представлено схему теплового насоса «повітря-повітря», на якій показано основні компоненти установки. Це компресор, випарник, конденсатор і холодоагент як робоча рідина системи. Показано основні формули, зроблено розрахунок і вибір основних компонентів теплового насоса.

У четвертому розділі проведено вимірювання основних параметрів теплового насоса та представлені результати вимірювань.

Підпис студента _____
« 17 » 12 20 24 р.

РІШЕННЯ ЕК

Протокол 4 від « 26 » 12 20 24 р.

Оцінка проекту ЕК добре / B

Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____

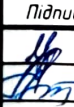


Технічний секретар _____

« 26 » 12 20 24 р.

Зміст

ст.

	Вступ.....	5
1	Огляд та аналіз технічних процесів і обладнання для виробництва тепла за допомогою теплових насосів.....	6
1.1	Огляд та аналіз технічних процесів виробництва тепла за допомогою теплових насосів.....	6
1.2	Огляд та аналіз обладнання для теплових насосів.....	8
1.3	Висновки по розділу.....	23
2	Розробка фізико-математичної моделі теплового насоса типу «повітря-повітря».....	24
2.1	Розробка фізичних і математичних моделей теплових насосів типу «повітря-повітря».....	24
2.2	Визначення основних параметрів процесу виробництва тепла на заводі.....	26
2.3	Висновки по розділу.....	34
3	Розробка теплового насоса типу «повітря-повітря».....	35
	Схема теплового насоса типу «повітря-повітря».....	35
3.2	Вибір конструктивних елементів для теплових насосів типу «повітря-повітря»	39
3.3	Висновки по розділу.....	54
4	Експериментальне дослідження роботи теплових насосів «повітря-повітря».....	55
4.1	Розробка експериментальної установки теплового насоса «повітря-повітря» для дослідження оптимального режиму роботи.....	55
4.2	Методи проведення експериментальних досліджень установок теплових насосів «повітря-повітря».....	60
4.3	Обробка результатів експериментальних досліджень.....	61
4.4	Висновки по розділу.....	67
	Висновки.....	68
	Перелік посилань.....	69

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ			
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка побутового теплового насоса типу «повітря-повітря» Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркуців
Розроб.		Кашук МА					4	70
Перевір.		Білий ЛА						
Реценз.								
Н. Контр.						ХНУ, гр. ЕТМ-23-1		
Затверд.		Неймак В.С.						

Вступ

Актуальність теми. Рік від року попит на енергію динамічно зростає в усьому світі, в середньому на 20%. Основними причинами такої тенденції є щорічне збільшення чисельності населення планети, розвиток промислового сектору, що споживає велику кількість енергії, та негативні наслідки зміни клімату. Сучасний стан виробництва та розвитку характеризується широким використанням різних джерел енергії. Тому, враховуючи попередні тенденції, альтернативні джерела енергії набувають дедалі більшого поширення [1]. Це пов'язано з тим, що вартість таких джерел енергії знижується з кожним роком, і дедалі більше людей, підприємств та організацій віддають перевагу альтернативним джерелам енергії. До альтернативних джерел енергії належать теплові насоси, сонячні батареї, фотоелектричні установки та інші пристрої, що використовують енергію сонця, вітру або припливів. Зрозуміло, використання конкретних джерел енергії як конструкцій доцільно за певних умов експлуатації, з урахуванням кліматичних (природних), економічних та інших особливостей.

Розглянемо теплові повітряні насоси [1] як пристрій, що використовує альтернативне джерело енергії. Використання теплових насосів має безліч переваг, основними з яких є тривалий термін служби, висока надійність, довговічність, екологічність та економічність. Однак основними недоліками є шум під час встановлення та залежність від температури навколишнього середовища.

Метою даної роботи є дослідження режимів роботи теплових насосів «повітря-повітря» для отримання найкращих показників ефективності.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- огляд і аналіз технічних процесів і конструкцій теплових насосів;
- розробка фізичних і математичних моделей повітряних теплових насосів;
- реалізація методики вибору параметрів для найбільш продуктивної роботи повітряних теплових насосів;
- експериментальні дослідження повітряних теплових насосів;
- аналіз різних режимів роботи повітряних теплових насосів;

						Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробка рекомендацій щодо використання повітряних теплових насосів.

Предмет дослідження - характеристики та параметри теплових насосів типу «повітря-повітря».

Об'єкт дослідження - теплові насоси типу «повітря-повітря».

									Арк.
									6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

1 Огляд та аналіз технічних процесів і обладнання для виробництва тепла за допомогою теплових насосів

1.1 Огляд та аналіз технічних процесів виробництва тепла за допомогою теплових насосів

Тепловий насос - це універсальний пристрій, що поєднує в собі опалювальний котел, джерело гарячої води та кондиціонер. Основна відмінність від звичайних джерел тепла і холоду полягає в тому, що вони можуть використовувати поновлювану низькотемпературну енергію з довкілля (води, ґрунту, сонця, повітря) для опалення та кондиціонування [1]. З наукового погляду, теплова насосна установка (ТНУ) - це пристрій, що передає теплову енергію від низькотемпературного джерела тепла (часто навколишнього середовища) до високотемпературного тепловідводу. Для роботи теплового насоса потрібна зовнішня енергія (наприклад, механічна, електрична або хімічна). Принцип роботи теплового насоса [2] показано на рисунку 1.1.

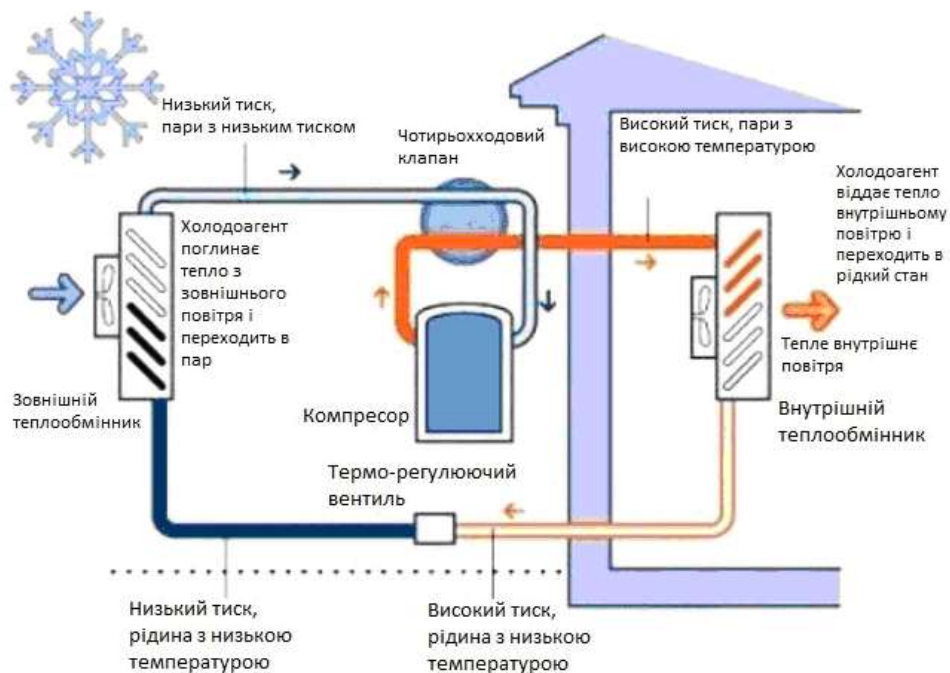


Рисунок 1.1 – Принцип роботи теплового насоса

					Арк.
					7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Основні етапи роботи теплового насоса [2]:

- циркуляція розчину пропіленгліколю в зовнішньому колекторі та отримання теплової енергії з навколишнього середовища (землі, води, повітря, сонця);
- забезпечення руху розчину трубами зовнішнього контуру через випарник (теплообмінник теплового насоса) за допомогою циркуляційного насоса;
- кипіння холодоагента (фреон - робоча рідина теплового насоса), що кипить та відбирає тепло з розчину пропіленгліколю;
- пари холодоагента з випарника надходять у компресор і подаються в конденсатор;
- перехід холодоагенту з газу в рідину під високим тиском і виділення тепла, яке використовується в системі;
- випрямлення зниженої височастотної напруги;
- прохід холодоагенту до дросельного клапана і потік у зону низького тиску, тобто у випарник, де холодоагент закипає;
- повторення всього циклу.

Сьогодні альтернативна енергетика стає дедалі популярнішою серед підприємств, організацій і населення. Основна причина цього - економічність: для передавання 1 кВт/год теплової енергії від теплового насоса в систему опалення на базі теплового насоса потрібно всього 0,2-0,35 кВт/год електроенергії. Приміром, ефективність перетворення тієї самої теплової енергії на електрику на найбільших електростанціях становить до 50 %, і в цьому разі використання теплових насосів дає змогу значно підвищити ефективність споживання палива.

Однак є, звісно, і мінуси, головний з яких - відносно висока вартість ТЕЦ. За середньою статистикою, будь-яка когенераційна установка окупується за 4-6 років експлуатації, а з урахуванням нестандартних умов, зміни клімату і неправильної експлуатації системи - за 8-10 років роботи. Теплові насоси можуть вийти з ладу або значно втратити ефективність за такої тривалої експлуатації, тому перед їх встановленням необхідно передбачити всі можливі варіанти.

Наступні елементи є спільними для всіх типів теплових насосів:

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- конденсатор;
- випарник;
- клапан пониження тиску;
- терморегулятор;
- система віддаленого керування.

Різні комбінації цих елементів можуть бути використані для реалізації всіх типів теплових насосів.

1.2 Огляд та аналіз обладнання для теплових насосів

Нині виробляється й експлуатується велика кількість теплових насосних установок, що відрізняються тепловими схемами, виконавчими механізмами, використовуваним обладнанням і джерелами енергії.

Теплові насоси класифікують за призначенням, за типом теплообмінника і теплоприймача, а також за типом зовнішньої енергії, використовуваної як основа для енергоспоживання теплового насоса.

Компресійні теплові насоси [4] отримали свою назву від слова «компресія». Стиснення в таких теплових насосах майже завжди здійснюється компресором (тому їх також називають компресорними тепловими насосами).

Теплові насоси включають в себе теплові насоси з газовим стисненням і теплові насоси з паровим стисненням. Газокомпресійний тепловий насос - це система, в якій робоча рідина залишається в газоподібному стані протягом усього процесу. У повітряних теплових насосах необхідна температура досягається за рахунок адіабатичного розширення повітря під час роботи на відкритому повітрі. Схему роботи ідеальної повітряної машини показано на рис. 1.2, а її цикл зображено на діаграмі T-S на рис. 1.3.

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

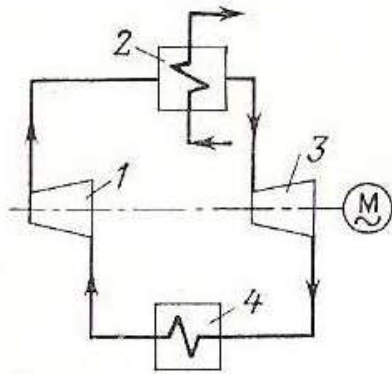


Рисунок 1.2 – Схема теплового насоса з газовим стисненням

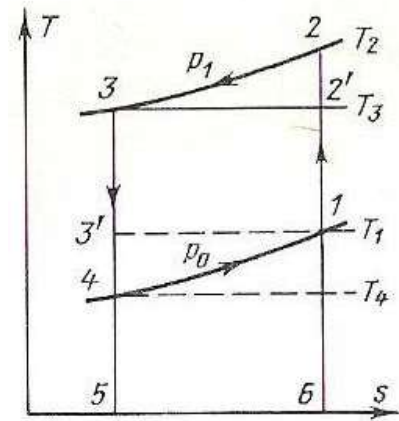


Рисунок 1.3 – T-S-діаграма циклу теплового насоса з газовим стисненням

Повітря з об'єму 4, охолоджене до температури T_1 , всмоктується компресором 1, адіабатично стискається і подається в охолоджувач 2, де охолоджується водою за постійного тиску. Стиснене охолоджувальне повітря надходить у детандер 3 (розширювач), де здійснює корисну роботу в процесі адіабатичного розширення до початкового тиску. У теплому насосі з газовим стисненням робоча рідина залишається в газоподібному стані протягом усього процесу. Найпоширенішими є повітря і гелій. Цей тип систем не знайшов практичного застосування через низьку ефективність і велике споживання повітря (через низьку теплоємність холодоагенту), що робить систему громіздкою і дорогою. Однак відомі історичні приклади, наприклад, машина Томсона (такі установки іноді називають тепловими насосами Томсона).

Парокомпресор - це пристрій, у якому робоча рідина в процесі роботи зазнає фазового переходу (газ у рідину) [5]. Цикл роботи парокомпресійної холодильної машини містить у собі безперервну зміну фаз робочої рідини (кипіння, випаровування і конденсацію). Схему одноступеневої ідеальної парової машини показано на рис. 1.4, а її цикл - на рис. 1.5.

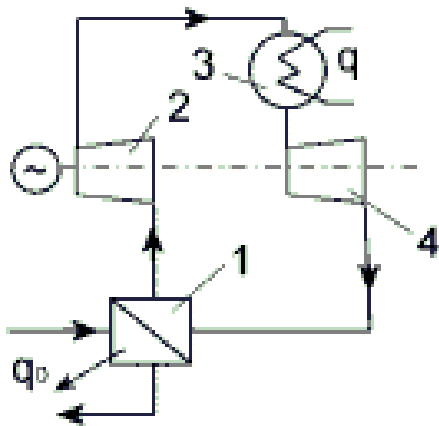


Рисунок 1.4 – Схема теплового насоса з паровим стисненням

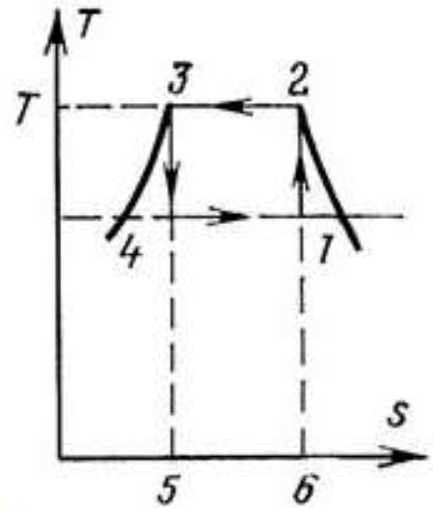


Рисунок 1.5 – Цикл теплового насоса з паровим стисненням (Т-S діаграма)

Основними елементами обладнання установки є компресори, конденсатори, детандери (розширювачі) і випарники. Механічний цикл, зворотний циклу Карно, відбувається в зоні вологої пари. Холодоагент кипить за низького тиску і температури у випарнику 1 і відбирає тепло в об'єкта, що охолоджується. Газ із випарника всмоктується компресором 2 і адіабатично стискається при підвищенні його температури. Компресор подає газ у конденсатор 3, де газ конденсується за високого постійного тиску і високої температури, віддаючи тепло об'єкту, що нагрівається. Рідкий холодоагент надходить у детандер 4, де він адіабатично розширюється і здійснює корисну роботу, використовуючи свою внутрішню енергію. Потім холодоагент надходить у випарник, і робочий цикл повторюється знову.

Компресійний - найпоширеніший тип теплового насоса (не тільки теплових насосів, а й усього холодильного обладнання). Такі насоси надзвичайно ефективні. Практично всі побутові теплові насоси (опалення будинків, басейнів, гаряча вода) працюють за цим принципом. Головна перевага цього типу теплових насосів - найвища ефективність серед усіх сучасних теплових насосів.

						Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Адсорбція належить до дії поглинання або адсорбції:

- поглинання - це об'ємне злиття двох речовин, що перебувають у різних когезійних станах (наприклад, рідина поглинається твердим тілом або газом, газ поглинається рідиною тощо), - явище, за якого весь об'єм адсорбенту поглинає поглинаючу речовину. Під адсорбцією зазвичай розуміють поглинання газу рідиною або, рідше, твердим тілом.

- адсорбція - це фізичне приєднання іонів або молекул до поверхні об'єкта, що перебуває в іншому стані (наприклад, реактиви адсорбуються на всій поверхні каталізатора) - явище поглинання адсорбату в усьому об'ємі адсорбенту. Під адсорбцією часто розуміють поглинання домішок у газі або рідині на адсорбенті, який являє собою тверду речовину.

Абсорбційні (випарні, дифузійні, абсорбційно-дифузійні, випарно-абсорбційні, випарно-дифузійні) теплові насоси - це пристрої, в яких стиснення пари базується на поглинанні робочої рідини за температури доквілля (з розчину або газової суміші твердим тілом чи рідиною) та десорбції за вищою температурою (із твердого тіла в навколишнє середовище) [6]. Цей тип обладнання дуже поширений завдяки своїй простоті, надійності та ефективності.

В абсорберах за однакового тиску використовуються бінарні суміші з різними температурами кипіння.

Холодоагент повинен мати нижчу температуру кипіння, а абсорбент (поглинач) - вищу.

Найпоширенішим типом є водно-аміачний, у якому аміак є холодоагентом, а вода - абсорбентом. Принципова схема водоаміачного теплового насоса показана на рис. 1.6.

						Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

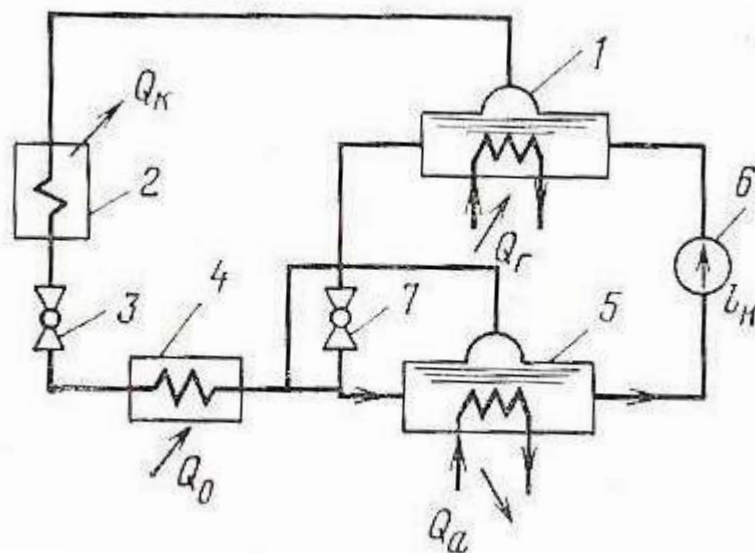


Рисунок 1.6 – Схема теплового насоса з водяним джерелом тепла

Пари аміаку, що утворюються у випарнику 4 при тиску P_0 і температурі t_0 , надходять в абсорбер 5, де поглинаються у водно-аміачний розчин. Тепло Q_a , що виділяється під час абсорбції парів аміаку, відводиться охолоджувальною водою. Процес абсорбції [7] відбувається за постійного тиску, дещо меншого, ніж тиск P_0 у випарнику. Отриманий в абсорбері розчин спрямовується насосом 6 у генератор (котел) 1, де одночасно насос споживає роботу I_{in} . У генераторі водно-аміачний розчин випаровується за тиску, що дещо перевищує тиск у конденсаторі.

Тепло Q_g , що витрачається на виробництво водоаміачної пари, надходить ззовні (пара, гаряча вода). Водно-аміачна пара з високим вмістом аміаку надходить у конденсатор 2, де конденсується і віддає тепло Q_c охолоджувальній воді. З конденсатора рідкий аміак через регульовальний клапан (дросель) 3 надходить у випарник, де закипає і створює ефект охолодження Q_0 .

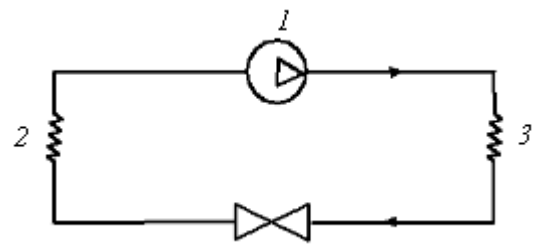
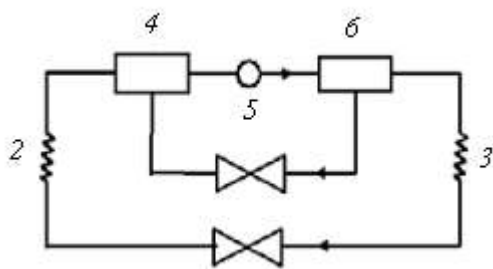
Головна перевага абсорбційних теплових насосів полягає в тому, що вони можуть використовувати не лише електрику, а й джерела тепла з достатньою температурою та потужністю (перегріту пару, відпрацьовану пару, полум'я газового або бензинового пальника, вихлопні гази або навіть сонячну енергію).

Основними недоліками цього типу теплових насосів є дуже низький ККД, складність самого агрегату і досить високе корозійне навантаження від робочого тіла.

Абсорбційні теплові насоси менш ефективні та більш дорогі, ніж компресійні, але їх можна використовувати там, де немає електрики або доступні великі об'єми тепла (наприклад, відпрацьована пара, гарячі вихлопні гази або димові гази).

Для мандрівників, особливо автомобілістів і яхтсменів, пропонуються спеціальні моделі з газовими пальниками.

Для порівняння на рис. 1.7 і рис. 1.8 показано просте порівняння абсорбційного та компресійного циклів теплових насосів, відповідно.



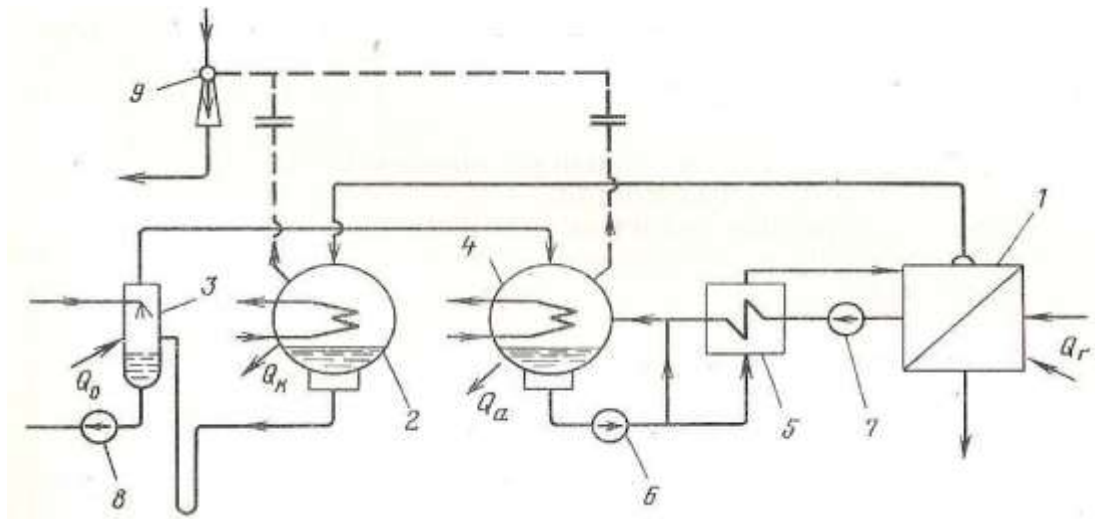
1 – компресор; 2 – випарник; 3 – конденсатор; 4 – абсорбер; 5 – насос;
6 – генератор.

Рисунок 1.7 – Схема абсорбційного теплообмінного насоса.

Рисунок 1.8 – Принципова схема компресійного теплообмінного насоса

Слід виділити теплові насоси з абсорбцією бромистого літію [9], оскільки як теплоносії використовують воду, а абсорбент являє собою водний розчин бромистого літію. Процес роботи установок на основі бромистого літію аналогічний процесу роботи аміачних установок.

Принципова схема теплового насоса на основі бромистого літію показана на рис. 1.9.



1 – генератор; 2 – поверхневий конденсатор; 3 – випарник; 4 – абсорбер;
 5 – теплообмінник; 6, 7 – насоси для розчину; 8 – насос для охолодженої
 води; 9 – вакуум-насос

Рисунок 1.9 - Схема бромисто-літійового теплового насоса

Насичений водою розчин бромистого літію перекачується насосом 6 з абсорбера в генератор, де розчин випаровується під дією зовнішнього тепла (пари, гарячої води або газу). Отримана чиста водяна пара, що не потребує ректифікації (у водоаміачних системах частина абсорбенту циркулює разом з аміаком), надходить у поверхневий конденсатор і конденсується з охолоджувальною водою. Конденсат через водяне ущільнення надходить у випарник. Сюди ж надходить гаряча вода від холодного споживача. Оскільки температура води, що надходить у випарник, вища, ніж температура розчину в абсорбері, тиск (пружність) водяної пари над розчином в абсорбері нижчий, ніж у випарнику. Тому у випарнику відбувається часткове випаровування води, і більша частина води охолоджується (зазвичай до температури 5°C). Охолоджена вода з випарника спрямовується насосом 8 до низькотемпературного споживача, а утворена пара надходить до абсорбера, де поглинається в розчині броміду літію.

У процесі поглинання водяної пари виділяється тепло, яке відводиться охолоджувальною водою. Насичений водою розчин броміду літію подається на-

						Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сосом 6 у двох напрямках. Частина його спрямовується через теплообмінник у генератор для випарювання, як описано вище, а інша частина змішується з міцним розчином, що надходить із генератора. Отриманий змішаний розчин подається в абсорбер через розпилувач обладнання. Обладнання апарату для отримання бромистого літію працює під вакуумом. Повітря, що надходить в обладнання, видаляється з абсорбера і конденсатора за допомогою вакуумного насоса.

Особливості бромисто-літієвого охолодження:

- у цій холодильній системі концентрація хлористого водню в генераторі збільшується, а концентрація хлористого водню в абсорбері зменшується (і навпаки для водно-аміачного охолодження);
- холодоагентом у бромисто-літієвому охолодженні є вода, тому температура кипіння у випарнику має бути вищою за 0°C.

До недоліків машин із бромистим літієм належать:

- у зв'язку з агресивністю бромистого літію щодо чорних металів, трубки поглинача генератора виготовляють із неіржавкої сталі або мідно-нікелевого сплаву, а поверхня корпусу приладу має спеціальне покриття;
- робота установки під глухим вакуумом ускладнює експлуатацію і вимагає енергоспоживання вакуумного насоса;
- неможливість отримання холодного тепла за відносно низьких або високих температур.

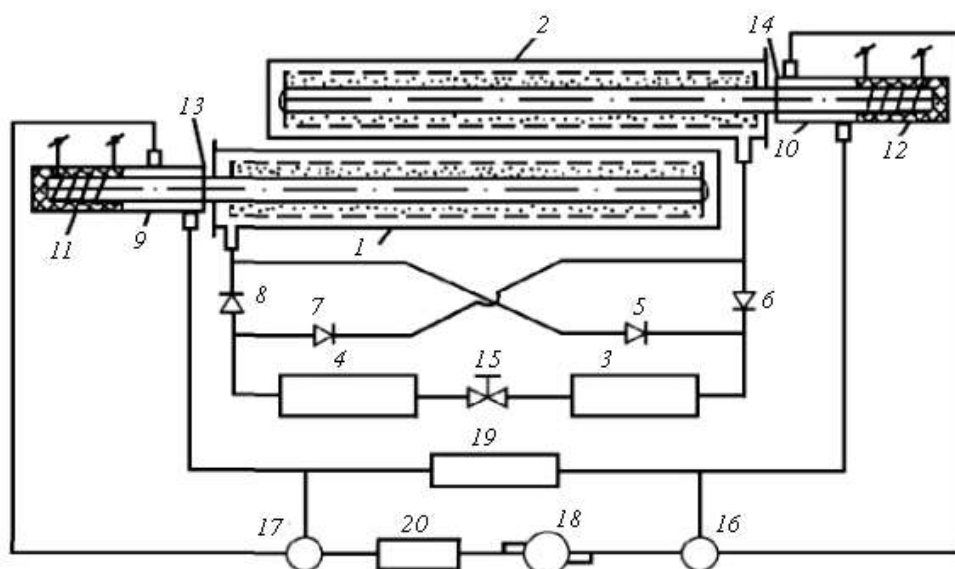
Однак у машин з бромистим літієм є безліч переваг. Основні переваги машин із бромистим літієм:

- бромід літію нетоксичний, незаймистий і невибухонебезпечний;
- пар, одержуваний у пристрої, не містить домішок бромистого літію, тому не потрібен випрямляч, а ефективність (коефіцієнт теплопередачі) підвищується;
- легший і компактніший за водоаміачні холодильні агрегати.

Бромисто-літієві охолоджувачі здебільшого використовують для охолодження/нагрівання води, особливо в системах кондиціонування/опалення, але все частіше вони переходять на компресійні охолоджувачі.

						Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи адсорбційних теплових насосів [8] заснований на явищі адсорбції парів рідини твердою речовиною (адсорбентом). Схема адсорбційного теплового насоса, що складається з двох адсорберів із системою терморегулювання та рекуперації тепла (тепловою трубою), показана на рис. 1.10.



1,2 – адсорбери; 3 – конденсатор; 4 – випарник; 5 – 8 вентилі; 9,10 – рідинні теплообмінники; 11,12 – випарники теплових труб з електронагрівачами; 13,14 – теплові труби; 15 – дросель; 16,17 – вентилі; 18 – насос; 19 – ротаметр; 20 – термостат.

Рисунок 1.10 - Адсорбційні теплові насоси з тепловими трубами та контурами рекуперації тепла

Активоване вугілля, цеоліти і силікагель є найбільш широко використовуваними адсорбентами. Останніми роками вивчається можливість використання силікагелю в поєднанні з солями металів. Активоване вугілля й аміак, волокна, відмінні від активованого вугілля й аміаку, цеоліти й вода становлять великий інтерес для виробництва теплових насосів. Найпростіші теплові насоси складаються з одного адсорбера, випарника, конденсатора і клапанів. Їхня ефективність роботи (COP) залежить від конструктивних особливостей і обраної пари адсорбент (рідина)/адсорбент (тверде тіло). Адсорбційні теплові насоси працюють за

тим самим циклом, що й інші теплові насоси, але після закінчення процесу система вакуумується. Через вакуумну технологію вартість обладнання значно вища. На так званій фазі десорбції в теплообмінник, вкритий шаром силікагелю або цеоліту, надходить тепло, наприклад, від джерела згоряння газу. Рідка частина твердого матеріалу (силікагелю або цеоліту) перетворюється на пару, яка надходить у другий теплообмінник. На першому етапі цей теплообмінник передає тепло, що виділяється під час конденсації парів, у систему опалення. Коли цеоліт зневоднений, досягнуто бажаного ступеня сушіння і вода конденсується в другому теплообміннику, перша стадія закінчується і пальники вимикаються. На другому етапі теплообмінник працює як випарник, додаючи до води тепло навколишнього середовища. На цій стадії співвідношення тисків становить близько 6 мілібар, і холодоагент випаровується під час додавання тепла навколишнього середовища. Потім водяна пара повертається в теплообмінник, де вона знову адсорбується силікагелем або цеолітом. Тепло, що виділяється силікагелем і цеолітом, спрямовується в систему опалення. Щойно вся пара буде адсорбована, весь цикл буде завершено. Адсорбційні теплові насоси для житлових приміщень все ще перебувають у стадії розробки. Такі теплові насоси іноді називають твердими тепловими насосами, оскільки робоче середовище завжди перебуває у твердому стані. Розроблено нові адсорбенти з високою ефективністю. До твердих адсорбційних теплових насосів належать водневі теплові насоси, які використовують як адсорбент гідриди металів, таких як: LaNi_4 , $\text{Al}_{0.52}$, $\text{Mn}_{0.37}$, $\text{Ti}_{0.99}$, $\text{Zr}_{0.01}$, $\text{V}_{0.43}$, $\text{Fe}_{0.09}$, $\text{Cr}_{0.05}$ і $\text{Mn}_{1.5}$.

Робочою рідиною в гідравлічних теплових насосах є циркулюючий водень. Адсорбція водню виділяє тепло, а десорбція поглинає тепло з навколишнього середовища (виробляючи холодне повітря). Температурний діапазон роботи таких теплових насосів становить від -50 до 200 °C. Найбільших успіхів у цій галузі нині досягли японські вчені, причому основним напрямком досліджень і розробок є виробництво гарячої води.

						Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Водневі теплові насоси володіють високою термодинамічною ефективністю і широким діапазоном зміни температури, але вимагають високої надійності та експлуатації і відносно дорогі.

Переваги адсорбційних теплових насосів: їх можна використовувати в ширшому діапазоні температур, ніж адсорбційні теплові насоси, і вони менше схильні до впливу сили тяжіння (це особливо важливо, коли теплові насоси використовуються для транспортування).

Недоліками адсорбційних теплових насосів є низький ККД, періодичність роботи (потрібен періодичний нагрів/охолодження адсорбенту), додаткова витрата енергії на нагрів/охолодження адсорбенту і корпусу адсорбера, а також низька теплопровідність пористого матеріалу, що сповільнює процес нестационарного нагріву/охолодження та збільшує час циклу, що знижує ефективність теплового насоса.

Використання конвективного нагріву/охолодження адсорбенту прискорює цикл роботи теплового насоса і вирішує цю проблему. Практичні застосування теплових насосів для твердих адсорбентів: опалення, транспорт, системи охолодження електроніки, сушка.

Вихрові теплові насоси [9] (вихрові теплогенератори, вихрові трансформатори тепла) - це пристрої, що використовують ефект Ранке для розділення теплового і холодного повітря [10]. Суть цього ефекту полягає в тому, що гази, які подаються в трубу по дотичній з великою швидкістю, закручуються і розділяються в трубі. Це означає, що охолоджений газ відбирається з центру труби, а нагрітий - з периферії. Той самий ефект, але меншою мірою, поширюється і на рідини. Після поділу в ланкійській трубі гарячий газ (рідина) прямує до теплообмінника системи опалення, а холодний газ (рідина) - до теплообмінника низькопотенційного контуру, де він нагрівається (тим самим отримуючи додаткову енергію), змішується зі зворотнім газом (рідиною), що вже виділив тепло, і повертається в трубу за допомогою компресора. Потім він повертається в трубу за допомогою компресора.

						Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На жаль, нині ефективність цих пристроїв значно поступається ефективності компресійних пристроїв.

Крім того, для ефективної роботи потрібні високі швидкості потоку робочої рідини (максимальна ефективність спостерігається за швидкості вхідного потоку, що дорівнює 40-50% від швидкості звуку).

Такі швидкості потоку самі по собі створюють багато шуму і, крім того, вимагають потужних компресорів з високою продуктивністю.

Основна перевага вихрових теплових насосів - простота конструкції.

Недоліки вихрових теплових насосів: ефективність цього пристрою дуже низька (коефіцієнт перетворення не перевищує 1,5), а шум зростає як від потужного компресора, так і від потоку (максимальна ефективність спостерігається за вхідного потоку, що дорівнює 40-50% від швидкості звуку).

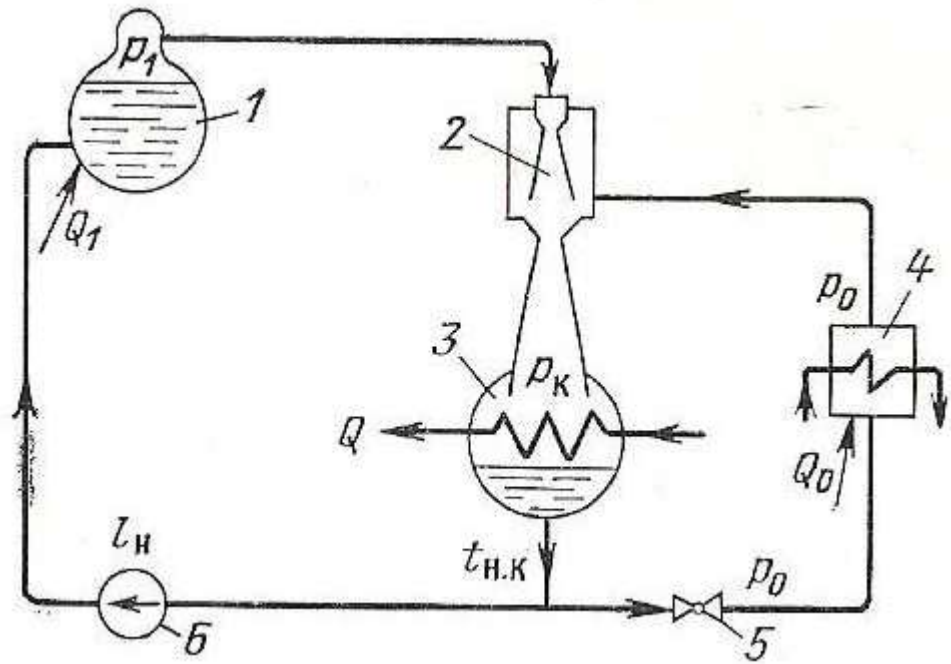
Цей тип теплового насоса ще не запущено в серійне виробництво, а всі дослідження мають експериментальний та емпіричний характер.

Струменевий (паровий, паро ежекторний) ежектор - це тепловий насос, у якому відбувається обмін енергією під час контакту активного потоку (робочої пари) і пасивного потоку (парогазової суміші ежектора) з утворенням парогазової суміші з енергією, що нижча за активний потік і вища за пасивний потік [11].

Парові ежекторні холодильні машини характеризуються використанням для роботи кінетичної енергії робочого парового струменя.

У цих машинах [12] як холодоагент зазвичай використовують воду. Принципова схема парового ежекторного теплового насоса показана на рис. 1.11.

						Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- 1 – парогенератор; 2 – ежектор; 3 – конденсатор; 4 – випарник;
5 – регулюючий вентиль; 6 – насос

Рисунок 1.11 - Схема пароелектричного теплового насоса

Оскільки в парогенераторі немає проміжного теплоносія, температура охолоджувальної води може бути такою самою, як температура кипіння випарника, що підвищує теплову ефективність і економічність холодильної установки.

Переваги пароелектричних теплових насосів: проста конструкція, простота обслуговування в процесі експлуатації. Недоліки пароелектричних теплових насосів: дуже низький ККД, можуть працювати тільки за позитивних температур. Через низький ККД цей тип установок використовується в промисловості для утилізації тепла відведеної опалювальної води або конденсату, для утилізації тепла від системи охолодження установки, а також для утилізації тепла вторинної пари або відпрацьованої пари.

Термоелектричні теплові насоси - це пристрої, що використовують ефект Пельтьє для передачі енергії. Суть ефекту Пельтьє [13] полягає в тому, що під час подавання невеликої постійної напруги на обидві сторони спеціально підготовленої напівпровідникової пластини один її бік нагрівається, а інший охолоджується. Іншими словами, пластина Пельтьє (також звана термоелектричним

оохолоджувачем або ТЕС) складається з двох шарів із різними рівнями енергії електронів у смугі провідності. Коли під впливом зовнішньої напруги електрони переходять у більш високоенергетичну смугу провідності іншого напівпровідника, вони повинні отримати енергію. Коли цю енергію отримано, область контакту напівпровідників охолоджується (під час протікання струму у зворотному напрямку виникає зворотний ефект: область контакту шарів нагрівається).

Переваги термоелектричних теплових насосів полягають у тому, що вони надзвичайно прості за конструкцією, не мають рухомих частин, потоку рідини або газу і, як наслідок, безшумні, компактні та стійкі до вібрацій і ударних навантажень. Недоліками термоелектричних теплових насосів є їхній низький ККД (приблизне перетворення тепла становить 1,5), висока вартість, складність ізоляції через можливі перепади довкілля та висока питома вартість. У повсякденному житті елементи Пельтьє використовують у малопотужних (5...30 Вт) портативних автомобільних холодильниках, теплоізованих кухлях та інших пристроях, що вимагають малої потужності і невеликих розмірів.

Перераховані вище типи теплових насосів є найпоширенішими і практично використовуваними. Інші типи, такі як хімічні теплові насоси, термодинамічні теплові насоси і теплові насоси з фазовим переходом, не набули широкого поширення і не застосовуються на практиці.

Побутові кондиціонери слід розглядати окремо, як один із можливих типів повітряно-конвективних теплових насосів. Сучасні кондиціонери розрізняються за способом регулювання температури, застосуванням і місцем встановлення. В інверторних [14] кондиціонерах використовується принцип інвертування змінного струму в постійний для генерації змінного струму необхідної частоти. Це змінює швидкість обертання двигуна компресора і продуктивність кондиціонера. Такі кондиціонери можна плавно регулювати. Неінверторні кондиціонери [14] споживають більше енергії, оскільки підтримують необхідну температуру шляхом циклічного увімкнення та вимкнення компресора. Неінверторні кондиціонери складні в налаштуванні і повільно змінюють температуру повітря в приміщенні. Єдина їхня перевага перед інверторними кондиціонерами - нижча ціна.

						Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Різниця у зміні температури між інверторними та неінверторними кондиціонерами показана на рис. 1.12.



Рисунок 1.12 – Графік різниці температур між інверторними та неінверторними кондиціонерами

Побутові кондиціонери призначені для встановлення у квартирах, приватних будинках, котеджах і невеликих офісах. Основними типами побутових кондиціонерів є:

- настінні кондиціонери (спліт- і мультиспліт-системи);
- віконні кондиціонери (моноблочного типу);
- підлогові кондиціонери (моноблочного типу).

Існує два основних типи настінних кондиціонерів: спліт-системи та мультиспліт системи [15]. Спліт-кондиціонери складаються з двох блоків: маленького внутрішнього і великого зовнішнього. Мультиспліт-системи показано на рис. 1.13.

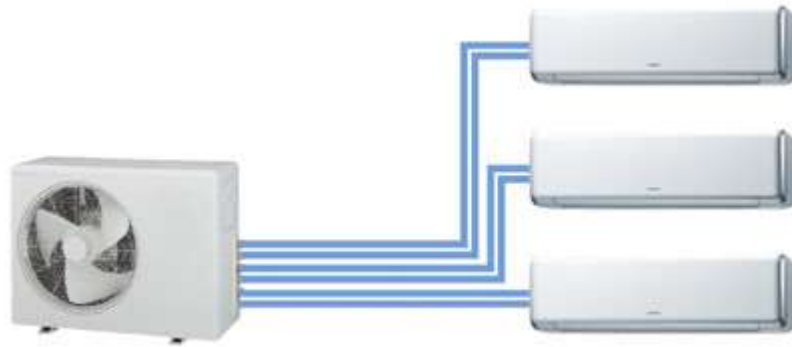


Рисунок 1.13 - Схема мультиспліт-системи кондиціонування повітря

У зовнішньому блоці знаходяться найгаласливіші елементи. Мультиспліт-системи створюються шляхом під'єднання кількох внутрішніх блоків до одного зовнішнього. Це забезпечує максимальний зовнішній вигляд будівлі.

Віконні кондиціонери вбудовуються у віконний отвір, причому частина з панеллю керування знаходиться всередині, а частина з компресором - зовні. Старі моделі відрізнялися високим рівнем шуму, але сучасні значною мірою вирішили цю проблему. Такі кондиціонери зазвичай найбюджетніші та найпростіші в установці.

Підлогові кондиціонери (моноблочного типу). Основна перевага цього типу кондиціонера в тому, що він дуже простий в установці, і ви можете під'єднати кондиціонер самостійно, без допомоги фахівця Друга основна відмінність - мобільність: підлогові кондиціонери можна переміщати з однієї кімнати в іншу, а також встановлювати в будь-якому приміщенні. Підлогові кондиціонери оснащені коліщатами, і їх можна переміщати з кімнати в кімнату. Недоліки: вони більш галасливі і коштують дорожче за спліт-системи.

1.3 Висновки по розділу

У цьому розділі було розглянуто основні типи теплових насосів. Було запропоновано розглянути всі аспекти кожного типу теплових насосів і розробити та дослідити конструкцію теплового насоса «повітря-повітря», щоб отримати

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимальний режим роботи. Це пов'язано з його численними перевагами, включно з ефективністю, універсальністю та простотою використання. Тому було запропоновано розробити та дослідити конструкцію теплового насоса типу «повітря-повітря» для отримання оптимальних умов експлуатації. До недоліків можна віднести залежність роботи агрегату від температури довкілля та відносний шум.

										Арк.
										25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2 Розробка фізико-математичної моделі теплового насоса типу «повітря-повітря»

2.1 Розробка фізичних і математичних моделей теплових насосів типу «повітря-повітря»

Тепловий насос - це установка, що складається з певних компонентів. Основними компонентами є компресор, випарник із вентилятором примусової тяги, розширювальний клапан, конденсатор із вентилятором, що подає нагріте повітря в приміщення, і, як додатковий компонент, мідні труби для перекачування фреону між дорогою і будинком. Компресор, випарник і розширювальний клапан є частиною зовнішнього блоку, тоді як інші компоненти належать до внутрішнього блоку. Для забезпечення безперервної передачі охолоджувальної води між цими модулями в спліт-системі використовуються теплоізовані мідні трубки. Принципову схему теплового насоса типу «повітря-повітря» показано на рис. 2.1.

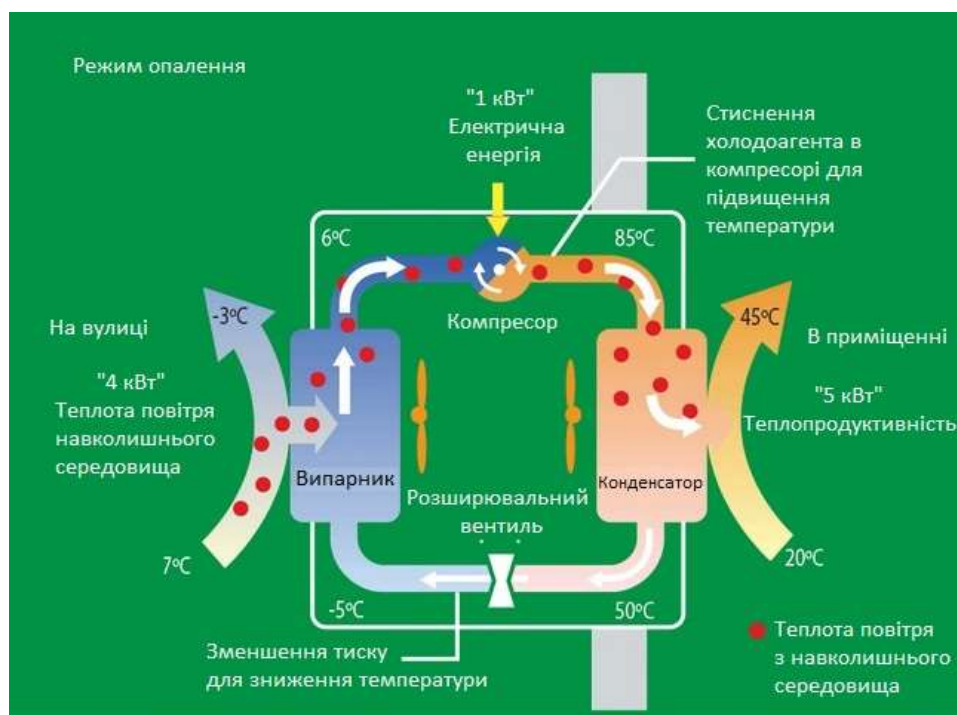


Рисунок 2.1 – Схема теплового насоса типу «повітря-повітря»

Системи теплових насосів працюють у кілька циклів. У першому циклі тепло поглинається з навколишнього середовища і холодоагент закипає. Тепловий насос забирає тепло з навколишнього середовища за температури від -3 до 7 °С. У випарник (теплообмінник) надходить холодоагент у рідкому стані під низьким тиском 280 кПа. Як відомо, за низьких температур (нижче 0 °С) холодоагент кипить і випаровується. Процес випаровування необхідний для того, щоб речовина поглинала тепло. Згідно з другим законом термодинаміки, тепло переходить від об'єктів із вищою температурою до об'єктів із нижчою температурою. На цьому етапі роботи теплового насоса низькотемпературний холодоагент проходить через теплообмінник і відбирає тепло у теплоносія [3]. Після того як теплоносієм забрав тепло з довкілля, він надходить у теплообмінник (випарник) теплового насоса, де «зустрічається» з більш холодним холодоагентом. Відповідно до другого закону термодинаміки відбувається теплообмін. Тепло від більш нагрітого холодоагенту передається менш нагрітому холодоагенту. Поглинання тепла відбувається під час випаровування речовини, а передача тепла - під час конденсації. Коли холодоагент нагрівається теплоносієм, його фазовий стан змінюється. Холодоагент перетворюється з рідини на газ (холодоагент кипить і випаровується). Після проходження через випарник холодоагент переходить у газову фазу. Це означає, що він уже не рідина, а газ, який втратив тепло від холодоагенту.

У другому циклі холодоагент стискається компресором. Тут холодоагент надходить у компресор у газоподібному стані, а компресор стискає фреони, які нагріваються до 85 °С за швидкого підвищення тиску до 2350 кПа. Компресор у звичайному побутовому холодильнику працює аналогічним чином. Єдина суттєва відмінність між компресором холодильника та компресором теплового насоса полягає в їх значно меншій продуктивності.

У третьому циклі тепло передається в систему опалення, тобто відбувається конденсація. Після стиснення в компресорі гарячий холодоагент надходить у конденсатор. У цьому випадку конденсатор також є теплообмінником, де тепло передається від холодоагенту до теплоносія під час конденсації. У конденсаторі холодоагент знову переходить із газової фази в рідку. При цьому відбувається

						Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виділення тепла, яке використовується в системі повітряного опалення будівлі. Таким чином, конденсатор виділяє 20-45°C тепла за того самого високого тиску.

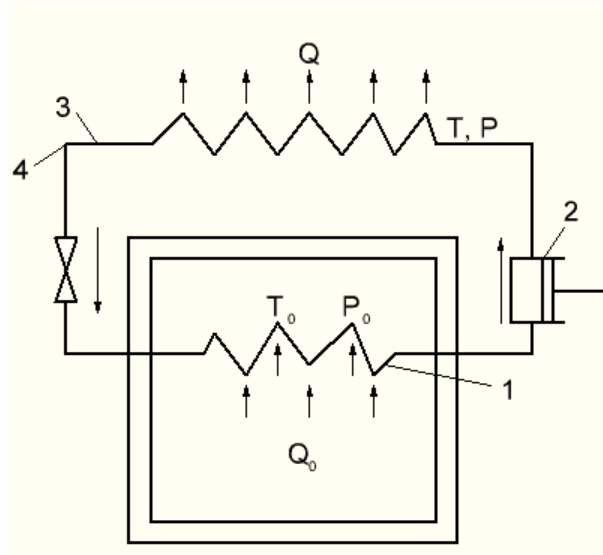
У четвертому й останньому циклі тиск холодоагенту знижується, тобто розширюється спеціальним розширювальним клапаном. Холодоагент проходить через вузький отвір у терморегулювальному вентилі (розширювальному клапані). Там, після «примусового» стиснення, холодоагент розширюється, що призводить до підвищення температури до -5 і падіння тиску до 280 кПа. Тепер холодоагент перебуває під тиском, за якого він може закипіти і знову випаруватися, що необхідно для поглинання тепла з охолоджувальної води. Інакше кажучи, роль термостатичного клапана полягає в зниженні тиску за рахунок розширення фреону на виході з пори. Тепер фреон знову готовий до кипіння і поглинання тепла. Цей цикл повторюється доти, доки система опалення не отримає необхідну кількість тепла від теплового насоса.

2.2 Визначення основних параметрів процесу виробництва тепла на заводі

Аналіз конструкцій теплових насосів показав, що кожен тип установки має свої переваги та недоліки. З огляду на всі аспекти, планувалося розробити конструкцію теплового насоса «повітря-повітря» з максимальним коефіцієнтом теплопередачі та максимальною холодопродуктивністю. Для цього необхідно було врахувати такі параметри: холодопродуктивність агрегату, роботу, виконувану агрегатом, холодильний коефіцієнт, продуктивність компресора і розрахунок теплового навантаження на конденсатор. Останній показник дуже важливий, оскільки визначає теплову продуктивність агрегату. Розрахунок цих параметрів допоможе знайти оптимальні робочі параметри агрегату за найменших витрат.

Для початку розглянемо схему ідеального компресійного теплового двигуна [17], показану на рисунку 2.2.

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор; 4 – розширювальний циліндр

Рисунок 2.2 - Схема ідеального теплообмінника компресійного типу

Коли рідкий холодоагент надходить у випарник під тиском P_0 , він закипає за від'ємної температури T_0 і поглинає з охолоджуваного простору певну кількість тепла Q_0 за одиницю часу, яка називається холодопродуктивністю машини. Пери холодоагенту всмоктуються компресором, який підтримує постійний тиск кипіння P_0 у випарнику, і відводяться в конденсатор під тиском P . За тиску $P > P_0$ і температури T пара холодоагенту конденсується і віддає тепло конденсації Q навколишньому середовищу. Рідкий холодоагент надходить у розширювальний циліндр, і тиск холодоагенту падає від тиску конденсації P до тиску кипіння випарника P_0 . При цьому відбувається певна робота у вигляді ходів поршня. Коли рідкий холодоагент надходить у випарник під тиском P_0 , він знову закипає, і тепло холодильної камери Q_0 витрачається на випаровування. Поки компресор працює, цей замкнутий цикл переміщення холодоагенту в замкнутій системі машини відбувається безперервно.

Холодопродуктивність Q_0 машини прямо пропорційна швидкості циркуляції холодоагенту G в одиницю часу (кг/год) і питомій холодопродуктивності q_0 холодоагенту (кДж/кг). Тепло Q , що передається від холодоагенту в навколишнє середовище, називається тепловим навантаженням конденсатора і вимірю-

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

ється в кДж/год, як і холодопродуктивність машини. Тепловий баланс машини відповідно до першого закону термодинаміки має такий вигляд:

$$Q = Q_0 + W, \quad (2.1)$$

де W – кількість енергії, затраченої на перенос тепла Q_0 , кДж/год.

Розділивши формулу (2.1), на G – кількість циркулюючих холодоагентів, отримаємо:

$$q = q_0 + A, \quad (2.2)$$

де A – робота затрачено на проходження холодильного циклу, кДж/год;

q_0 - складова теплових балансів, кДж/год. Ця одиниця вимірів зручна для побудов ентропійної S, T - діаграми холодильних циклів, що зображена на рисунку 2.3.

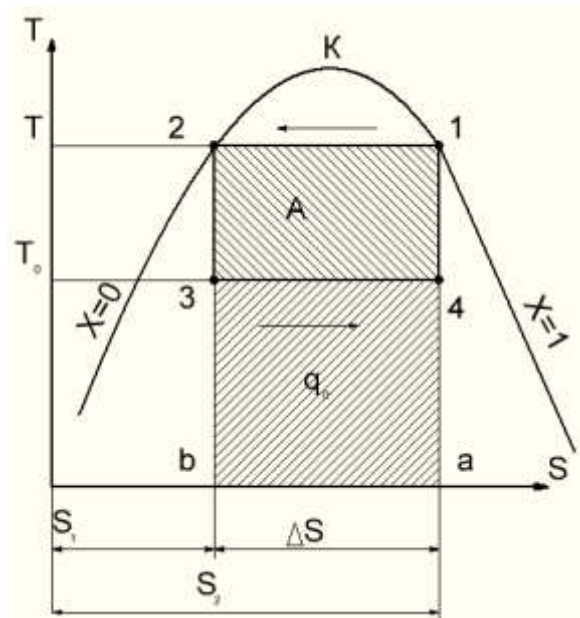


Рисунок 2.3 – Цикл Карно холодильних машин

Ентропія S робочої речовини (холодоагенту) є математичним параметром її стану i , як відомо, залежить від температури та питомого об'єму. Як відомо, термодинамічна крива стану холодоагенту складається з нижньої прикордонної кривої $X = 0$ (де X визначає сухість пари) і верхньої прикордонної кривої $X = 1$. Критична точка K між цими кривими характеризує киплячу рідину ($X = 0$) і суху насичену пару ($X = 1$) з однаковими параметрами стану. Таким чином, лінія $X = 0$ визначає геометричне положення точки кипіння холодоагенту за різних тисків, а лінія $X = 1$ - геометричне положення точки, в якій закінчується випаровування 1 кг холодоагенту. Якщо на ентропійну діаграму нанести ізотерму температури конденсації T холодоагенту, то на перетині з термодинамічною кривою виходять точки 1 і 2. Точка 1 характеризує початок процесу конденсації сухої насиченої пари, а точка 2 - кінець процесу конденсації. При цьому ентропія холодоагенту зменшується на $\Delta S = S_1 - S_2$ за рахунок передання конденсату в навколишнє середовище. Кількість тепла q , що виділяється в 1 кг холодоагенту під час конденсації, визначається, як відомо, площею, обмеженою лінією процесу, вертикальною віссю екстремальних значень і проекцією лінії процесу на вісь S , тобто $q = p_1(a-1-2-b)$. Слід зазначити, що завдяки певній швидкості циркуляції машини процеси конденсації та кипіння холодоагенту можна вважати ізотермічними, тобто такими, що протікають за постійної температури конденсації T та температури кипіння T_0 .

Процес швидкого розширення (стиснення) рідкого холодоагенту в розширювальному циліндрі можна вважати адіабатичним, тобто без теплообміну з навколишнім середовищем a , і тому він протікає лінією постійної ентропії 2-3.

Процес стиснення вологої пари холодоагенту в компресорі до стану сухої насиченої пари (точка 1) також можна вважати адіабатичним, тобто таким, що відбувається без теплообміну з навколишнім середовищем a і тому протікає лінією постійної ентропії 1-4..

Ізотермічне кипіння рідкого холодоагенту у випарнику за тиску P_0 і температури T_0 позначається ізотермою 3-4 на діаграмі S, T і збігається з ізотермою

						Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

P_0 в області вологої пари. Кількість тепла q_0 (питома холодопродуктивність холодоагенту), поглинута 1 кг холодоагенту у випарнику, дорівнює площі $a-4-3-b$.

Тому теоретичний холодильний цикл компресора зображується на діаграмі S, T лінійним контуром 1-2-3-4-1, що складається з двох ізотерм і двох адіабатичних ліній [17]. Виходячи з рівняння (2.2), робота, що витрачається в цьому холодильному циклі, визначається площею, укладеною в контурі холодильного циклу, тобто площею (1-2-3-4). Таким чином, цей холодильний цикл є ідеальним оборотним циклом Карно. Робота, що витрачається в цьому холодильному циклі, визначається таким рівнянням:

$$A = \Delta S(T - T_0) = \frac{q_0}{T_0} (T - T_0), \quad (2.3)$$

У загальному випадку холодильний коефіцієнт визначає кількість тепла, що відводиться від охолоджувального середовища (тіла) за одиницю роботи. Холодильний коефіцієнт циклу, що розглядається, визначається таким співвідношенням:

$$E_k = \frac{\text{Пл.}(a - 4 - 3 - b - a)}{\text{Пл.}(1 - 2 - 3 - 4 - 1)} = \frac{T_0}{T - T_0}. \quad (2.4)$$

Теоретичні теплові розрахунки циклу визначають холодильний коефіцієнт, теоретичну продуктивність і потужність компресора та теоретичне теплове навантаження конденсатора. Для визначення цих величин необхідно знати такі температури: кипіння холодоагенту у випарнику t_0 ; конденсації t ; переохолодження рідини t_p ; температуру парів, що всмоктуються компресором t_{vs} . Ці температури визначають робочу температуру і визначаються такими значеннями температур: $t_0 = 15$; $t = 30$; $t_p = 25$; $t_{vs} = 15$.

Тепловий розрахунок холодильного циклу починається з побудови S, T -діаграми. Однак, оскільки визначити площину, обмежену контурними лініями,

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

практично незручно, використовують і,р-діаграми. і,р-діаграми холодильного [17] циклу на і,р-діаграмі показано на рис. 2.4.

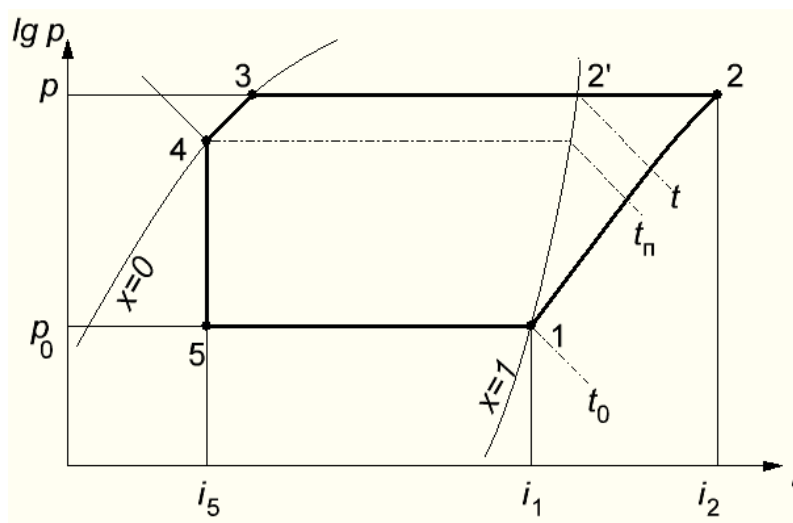


Рисунок 2.4 - Цикл роботи холодильних машин

З Р-діаграми і холодильного циклу випливає, що питома продуктивність 1 кг холодоагенту дорівнює різниці ентальпій і в точках 1 і 5, тобто:

$$Q_0 = i_1 - i_5, \quad (2.5)$$

Робота 1 кг холодоагенту, витрачена компресором на стиснення пари, визначається різницею ентальпій у двох точках і в одній точці, тобто таким рівнянням:

$$A = i_2 - i_1. \quad (2.6)$$

Коефіцієнт охолодження циклу теплового насоса визначається таким рівнянням:

$$E_T = \frac{q_0}{A}, \quad (2.7)$$

Продуктивність компресора теплового насоса визначається за такою формулою:

$$V = G \cdot V_1 = \frac{Q_0}{q_0} V_1, \quad (2.8)$$

де $G = \frac{Q_0}{q_0}$ – кількість холодоагенту, наявного в холодильному агрегаті, кг/год;

V_1 – питомий об'єм всмоктуючих пар, м³/кг;

Q_0 – задана холодопродуктивність агрегатів, ккал/год.

Потужність компресора теплових насосів:

$$N_T = G \cdot A = \frac{Q_0}{E_T}. \quad (2.9)$$

Холодопродуктивність компресора визначається таким рівнянням:

$$Q_0 = q_v \cdot V_v \cdot \lambda, \quad (2.10)$$

де $q_v = \frac{q_0}{V_1}$ – обсяг холодоагенту;

V_v – часова продуктивність компресорів, м³/год;

λ – коефіцієнт подач компресорів.

З попередніх рівнянь випливає, що теплове навантаження на конденсатор теплового насоса становить:

						Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q = Q_0 + N_T = Q_0 \frac{E_T + 1}{E_T} . \quad (2.11)$$

2.3 Висновки по розділу

У цьому розділі розраховано основні параметри процесу генерації тепла тепловим насосом. Запропоновано основні рівняння для визначення холодопродуктивності (теплопродуктивності) системи, холодильного коефіцієнта, продуктивності компресора і теплового навантаження конденсатора.

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Розробка теплового насоса типу «повітря-повітря»

3.1 Схема теплового насоса типу «повітря-повітря»

Вивчивши фізичні процеси, що відбуваються в теплому насосі «повітря-повітря», і пояснивши їх за допомогою математичних рівнянь, було встановлено, що основні параметри системи залежать від кількох ключових компонентів, включно з компресором, теплообмінниками (випарник і конденсатор) і розширювальними клапанами. Найпростішу структурну схему системи теплового насоса показано на рис 3.1.



Рисунок 3.1 – Структурна схема теплових насосів

Вузли з'єднані один з одним і взаємодіють у замкнутому контурі. Цей замкнутий цикл дає змогу фізичним процесам відбуватися всередині пристрою доки, доки не буде досягнуто бажаного результату, тобто охолодження або нагрівання до температури, необхідної для ефективного обігріву приміщення.

На схемі показано випарник, де відбувається процес випаровування і холодоагент поглинає тепло. На наступному етапі технологічної схеми компресор

стискає і нагріває холодоагент. Слід зазначити, що компресор є найважливішим у цьому процесі, оскільки його продуктивність безпосередньо впливає на первинну продуктивність системи. Поруч із компресором знаходиться конденсатор, де тепло передається робочій рідині. Далі процес іде у зворотному напрямку, проходячи через розширювальний клапан, де тиск падає, температура холодоагенту знову надходить у теплообмінник і процес повторюється знову. Такий процес роботи теплонасосної установки можливий за умови правильного підбору параметрів елементів і досягнення найкращих показників продуктивності.

Схеми підключення зовнішнього та внутрішнього блоків наведені для отримання детальної інформації про ланцюг.

Електричну схему зовнішнього блоку теплового насоса типу «повітря-повітря» показано на рис. 3.2.

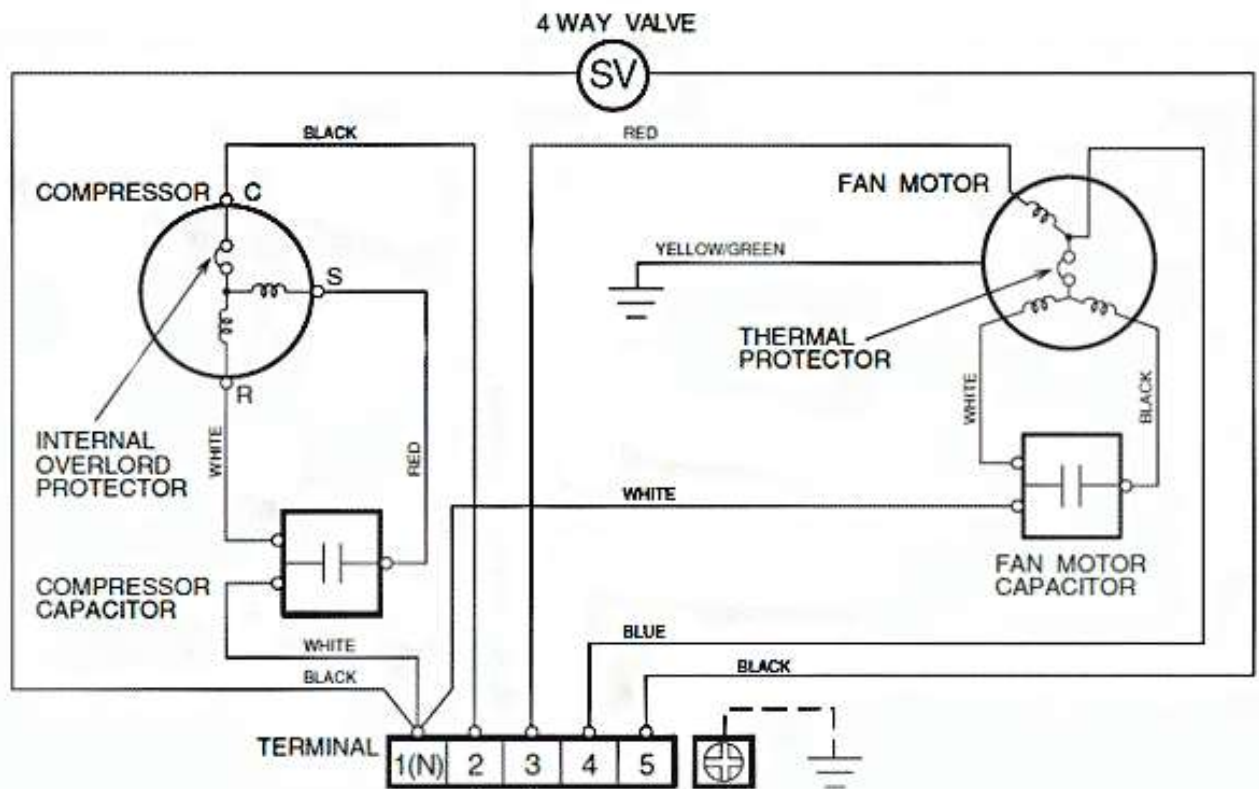


Рисунок 3.2 - Схема підключення зовнішнього блоку теплового насоса

Ця схема містить такі параметри:

Клема - клемна колодка для під'єднання міжблочного кабелю до внутрішнього блоку:

N - електрична нейтраль;

2 - живлення від панелі керування внутрішнього блоку до компресора;

3 - живлення двигуна вентилятора для роботи на першій швидкості;

4 - на другій швидкості живлення двигуна вентилятора для роботи на другій швидкості;

5 - живлення приводу чотириходового клапана для перемикання в режим опалення;

Розглянемо компресор:

C - common - загальний вивід обмотки компресора;

R - running - обмотка компресора, що працює;

S - starting - фазозсувна обмотка двигуна компресора, пускова;

Internal overload protector - внутрішній захист від перевантаження;

Compressor condenser - електричний конденсатор, у цьому разі працюючий (для пуску також наявний, але наразі не використовується в холодильній техніці);

fan motor - двигун, мотор вентилятора;

thermal protector - захист від перегріву, зазвичай встановлюють безпосередньо в обмотку двигуна, який перериває ланцюг у разі підвищення температури;

fan motor condenser - робочий конденсатор мотора вентилятора;

SV - the Електромагнітний клапан - електромагнітний клапан, який приводить у дію механізм чотириходового клапана.

Відповідно до цієї схеми і для розуміння взаємодії між зовнішнім і внутрішнім блоками системи теплового насоса «повітря-повітря» на рис. 3.3 також показано електричну схему внутрішнього блоку теплового насоса.

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

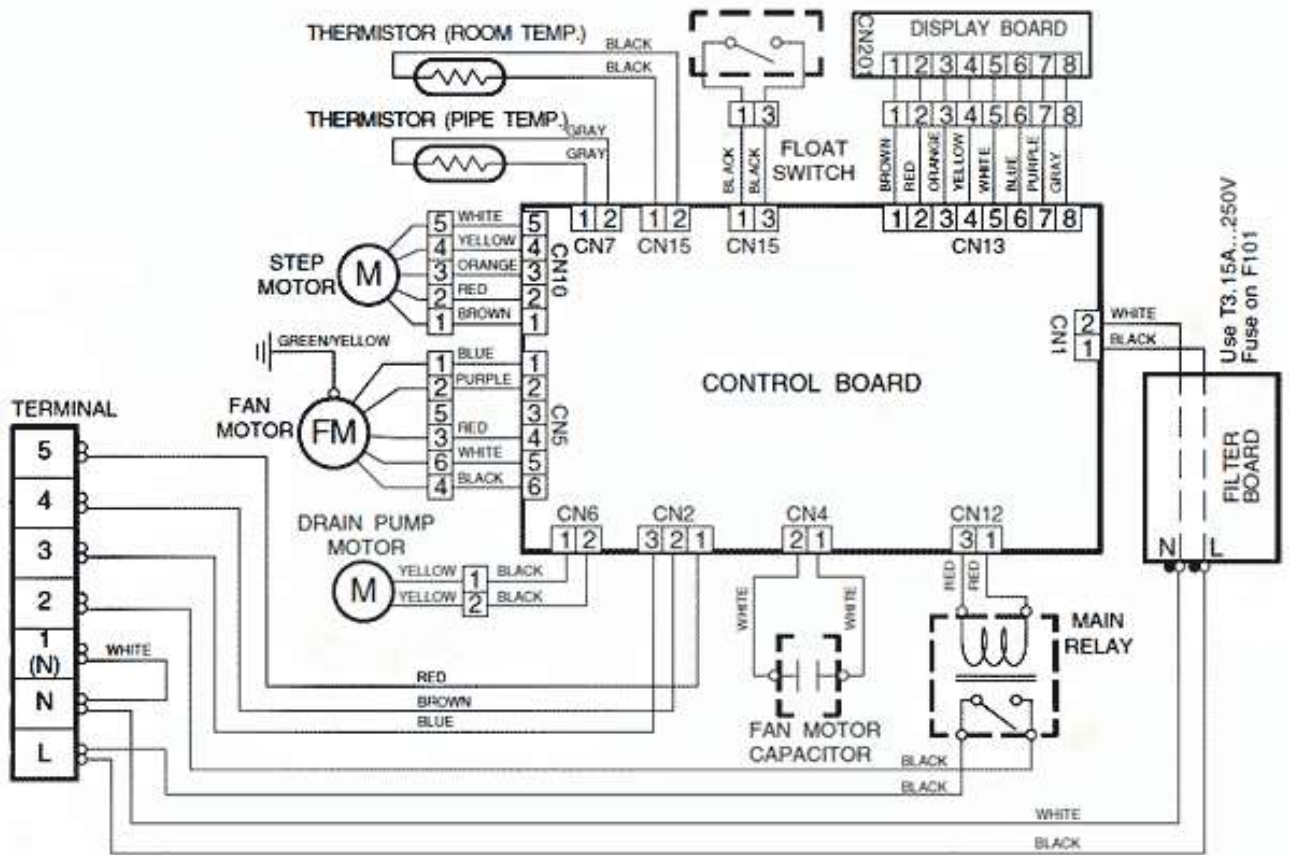


Рисунок 3.3 - Схема підключення внутрішнього блоку теплового насоса

Ця схема містить такі елементи:

Клемний блок:

крім міжблочних з'єднань, на клемному блоці також є клеми для подачі живлення (живлення можна подавати на зовнішній блок і навпаки);

L, N: однофазні лінії живлення і нейтраль; плата фільтра: силова мережа. Плата фільтра для зменшення перешкод;

Control board - плата керування - керує всіма пристроями, отримує дані від усіх датчиків, здійснює контроль температури, відображає інформацію для користувача на дисплеї та здійснює самодіагностику;

Main relay - головне реле - силове реле, що подає напругу на компресор;

Display Плата - модуль дисплея, може являти собою лінійку світлодіодів, що відображають наявність або відсутність живлення, обраний режим, коди помилок, або дисплей, на якому також відображається температура;

					Арк.
					39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Терморезистори - Терморезистори, термістори, датчики температури;
Кімнатна температура. - Датчики температури повітря в приміщенні;
Датчики температури в трубах. - Датчики температури також можуть бути встановлені в наступних місцях:

панель управління - для підтримки температури в точці панелі управління;
випарник на вході, виході та в середній точці; кроковий двигун;

- кроковий двигун, Застосовується для відкривання жалюзійних ґрат, штопки, що закриває вентилятор;

Двигуни дренажних насосів - дренажні насоси, які рідко використовуються в цьому типі установки; поплавкові вимикачі

- поплавкові датчики рівня, які рідко використовуються в цьому типі установки.

3.2 Вибір конструктивних елементів для теплових насосів типу «повітря-повітря»

Під час розробки системи було обрано основні конструктивні елементи та робочу рідину.

Компресор служить для відбору парів холодоагенту з випарника і подачі їх у конденсатор. Він є найскладнішим і найважливішим компонентом холодильної системи і здебільшого визначає її продуктивність. Оскільки він споживає переважно електроенергію, компресор також визначає ефективність холодильної системи.

Найефективнішою системою теплового насоса для такого типу застосування є спіральний холодильний компресор, також відомий як спіральний насос (рис. 3.4). Спіральні холодильні компресори - це механічні пристрої, що належать до категорії об'ємних машин і призначені для стиснення парів холодоагенту [16].

						Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

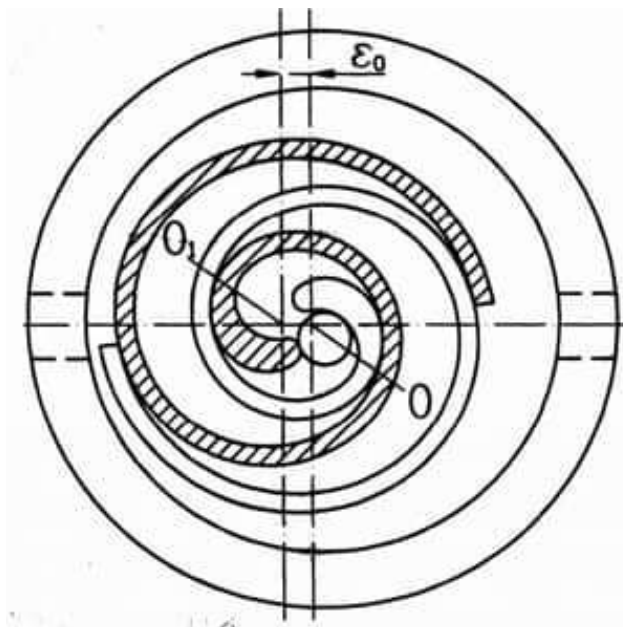


Рисунок 3.4 – Принципова схема спірального компресора

Камери стиснення і нагнітання (порожнини) спіральних компресорів бувають двох типів: з нерухомими спіралями і з рухомими спіралями. Під час переміщення рухомої спіралі відносно нерухомої змінюється об'єм камери стиснення, відповідно відбувається стиснення і нагнітання газу.

Призначення спіральних холодильних компресорів таке саме, як і в інших типах компресорів у холодильних установках..

Порівняно з іншими типами компресорів, такими як звичайний поршневий компресор, спіральні компресори мають безліч переваг. Спіральні компресори компактніші, легші, менш галасливі, менш схильні до вібрації та більш ефективні.

Спіральні компресори - це одновальні компресори з примусовим витісненням. Спіральні компресори мають просту конструкцію з малою кількістю компонентів і відсутністю впускних і випускних клапанів, що підвищує надійність і знижує витрати на виробництво компресора. Як холодоагенти можна використовувати більшість із таких холодоагентів.

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Спектр застосування спіральних компресорів дуже широкий, наприклад, охолодження в харчовій промисловості, компресори для теплових насосів та інших малих і середніх холодильних систем.

На основі вихідних даних і досвіду було обрано високоякісний спіральний компресор типу ZH11K1P від Copeland. Основними параметрами цього компресора є номінальна потужність 3,6 к.с., максимально можлива потужність 10,9 кВт, холодильний коефіцієнт 3,0 і номінальна об'ємна продуктивність 6,9 м³/год.

Випарник - це теплообмінник, у якому холодоагент випаровується за низьких температур завдяки теплу, що поглинається з охолоджувального середовища (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Випарник теплового насоса типу «повітря-повітря»

Через низьку температуру випарника з охолодженого повітря поглинається волога, яка конденсується і замерзає, утворюючи снігову плівку, що осідає на поверхні. Через деякий час ця плівка відтає. Для захисту алюмінієвих випарників від корозії використовують гальванічні або лакові покриття. Трубчасті випарники являють собою трубчасті зміювки з ламельними ребрами, встановленими на трубі. Охолоджувальне повітря женеться вентилятором з постійною швидкістю в

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напрямку, перпендикулярному поздовжній осі трубки теплообмінника. Велика кількість пластинчастих ребер, розташованих із постійним кроком, значно збільшує площу теплообміну випарника і відповідно підвищує інтенсивність тепловіддачі від холодоагенту повітря. Випарник [17] розраховується за тепловим навантаженням.

Поверхня випарника визначається за таким рівнянням:

$$F_B = \frac{Q_0}{K \cdot \Delta T_{cp}}, \quad (3.1)$$

де Q_0 – холодопродуктивність холодильного агрегату (теплове навантаження на випарник),

K – коефіцієнт теплопередачі від охолоджувального повітря до киплячого фреону, ккал/(год · м² · °С);

Δt_{cp} – середня логарифмічна різниця температур між охолоджувальним повітрям і киплячим фреоном, °С.

Середня логарифмічна різниця температур зазвичай визначається за таким рівнянням:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln(\Delta t_1) / \Delta t_2}, \quad (3.2)$$

де Δt_1 і Δt_2 – різні температури повітря і холодоагенту на вході і виході з випарника, відповідно, °С.

У практичних розрахунках логарифмічна різниця може бути замінена на середньоарифметичну різницю $\Delta t_{cp} = 8-10$ °С через невеликі зміни температур повітря і холодоагенту. Значення коефіцієнта теплопередачі K залежить від конструкції випарника, різниці температур Δt_{cp} , вологості, швидкості циркуляції повітря і товщини снігового шару.

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У кожному випадку коефіцієнт теплопередачі K визначається за рівнянням теплопередачі з урахуванням усіх основних факторів, що впливають. У разі листових трубчастих випарників, де товщина стінки мала порівняно з діаметром проточної частини, коефіцієнт теплопередачі може бути визначений з достатньою практичною точністю за таким рівнянням:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_0} + \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda}}, \quad (3.3)$$

де α_0 і α - Коефіцієнт теплопередачі від охолоджувального повітря до стінки випарника і від стінки випарника до киплячого холодоагенту;

δ – товщина стінки каналів випарника, м;

λ – теплопровідність стінових матеріалів, ккал/(год · м² · °С).

Інтенсивність теплообміну і якість конструкції теплообмінника характеризуються питомим тепловим навантаженням або тепловіддачею на одиницю поверхні апарата q_F :

$$q_F = \frac{Q_0}{F_B} = K\Delta t_{cp}, \quad (3.4)$$

Значення K і q_F наведено в довідкових таблицях для протестованих конструкцій випарників. Використовуючи відомі дані, необхідну площу поверхні для обраного типу випарника визначають за таким рівнянням:

$$F_B = \frac{Q_0}{q_F}, \quad (3.5)$$

Плоский пластинчастий випарник площею 1,61 м² слід обирати із запасом у 15%, враховуючи номінальну потужність компресора.

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конденсатор побутового холодильного агрегату відповідає за передачу тепла, поглинутого холодоагентом через випарник, у більш тепле середовище. (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Конденсатор теплового насоса типу «повітря-повітря»

Тепло передається шляхом конденсації парів холодоагенту під високим тиском. Якість конденсатора здебільшого оцінюється за інтенсивністю процесу теплопередачі від холодоагенту, що конденсується, до навколишнього повітря. Інтенсивність процесу теплопередачі в конденсаторі залежить від його конструкції та швидкості циркуляції холодоагенту й охолоджувального повітря. У разі збільшення швидкості видалення конденсату з поверхні теплообміну значення коефіцієнта тепловіддачі від холодоагенту зростає, відповідно, збільшується інтенсивність теплообміну в конденсаторі. Аналогічно, швидкість теплопередачі конденсатора залежить від швидкості циркуляції охолоджувального повітря. Необхідна швидкість видалення рідкого холодоагенту з конденсатора забезпечується роботою компресора. Циркуляція охолоджувального повітря може бути природною або примусовою (за допомогою вентилятора), причому примусова циркуляція зі швидкістю 2-3 м/с значно збільшує інтенсивність теплообміну, але вартість агрегату з примусовою циркуляцією вища. З цієї причини в побутових холодильних установках здебільшого використовуються конденсатори, що охолоджуються природною циркуляцією зовнішнього повітря. Якість конструкції конден-

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

саторів оцінюють за простотою виготовлення, зручністю і безпекою експлуатації, габаритами, масою і вартістю.

Загальне теплове навантаження конденсатора, отримане з рівняння теплового балансу [17], дорівнює необхідній холодопродуктивності холодильного агрегату і тепловому еквіваленту адіабатичної потужності компресора, тобто такому рівнянню:

$$Q = Q_0 + N_T = Q_0 \left(\frac{E + 1}{E} \right), \quad (3.6)$$

поверхні конденсатора розраховується за рівнянням (3.1). Загальне теплове навантаження Q конденсатора включає три компоненти: тепло, що передається під час охолодження перегрітої пари до температури конденсації, тепло, що передається під час конденсації пари, і тепло, що передається під час часткового переохолодження рідкого холодоагенту. Швидкість теплообміну між перегрітою парою і навколишнім повітрям, що конденсується, згідно з експериментальними даними, майже така сама, як і під час конденсації насиченої пари. Тому частини конденсатора, в яких відбувається охолодження і конденсація, зазвичай розраховують разом для загального теплового навантаження, приймаючи коефіцієнт теплопередачі і температурний напір секції конденсатора.

Поверхня зони переохолодження рідкого холодоагенту може бути поєднана із зоною конденсації конденсатора. У цьому разі конденсатор розрахований на загальне теплове навантаження Q . Однак у багатьох випадках зону переохолодження рідкого холодоагенту проектують в окремому пристрої, який називають переохолоджувачем. У побутових холодильних системах переохолоджувач являє собою капілярну трубку, з'єднану з всмоктувальною трубкою, яка утворює з ним теплообмінник. Оскільки коефіцієнт теплопередачі та середній температурний напір переохолоджувача різні, зони переохолодження рідини розраховують окремо.

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приблизний розрахунок конденсатора і переохолоджувача визначає необхідну площу на основі питомого теплового навантаження q_F з експериментальних даних.

Виходячи з параметрів компресора і його продуктивності, обирається конденсатор площею 1,26 м² із запасом у 15%..

Вентилятори [18] - це машини, призначені для переміщення різних повітряних і газових сумішей, підвищуючи їхній тиск до максимального значення 12-15 кПа. Вентилятори характеризуються простою одноступеневою конструкцією і роботою на малих швидкостях. Вентилятор складається з корпусу, робочого колеса з лопатками, встановленого на валу в корпусі, і приводу. Вентилятор приводиться в дію електродвигуном.

Вентилятори широко використовуються як у побуті, так і в промисловості. До промислових вентиляторів висуваються певні вимоги у зв'язку з більш екстремальними умовами експлуатації. Крім відповідності параметрам технічного процесу, промислові вентилятори мають відповідати високим вимогам до надійності та безпеки конструкції.

Вентилятори використовуються для переміщення різноманітних повітряних і газових сумішей із різними критичними температурами, абразивними властивостями, вмістом пилу та вологи. Тому важливим критерієм під час виготовлення вентиляторів є правильний вибір матеріалу.

Загальна класифікація вентиляторів ґрунтується на напрямку потоку середовища, що транспортується. Відповідно, існує два основних типи вентиляторів: з осьовим і радіальним потоком.

В осьових вентиляторах, як випливає з назви, потік робочого середовища рухається вздовж осьової лінії або вала вентилятора. У радіальних вентиляторах робоче середовище рухається вздовж лопаток від центру до кінців робочого колеса під дією відцентрових сил, що виникають під час обертання, і потім викидається через спіральний корпус і нагнітальний патрубок. Машини, що використовуються в промислових цілях для переміщення різних рідин і газоповітряних сумішей, схожі за конструкцією. Тому основні технічні параметри однакові. Зале-

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

жно від призначення та умов експлуатації виробляються різні вентиляційні системи, вибір яких ґрунтується на основних технічних параметрах, таких як продуктивність, тиск і потужність.

Продуктивність Q визначає кількість переміщеної газоповітряної суміші за одиницю часу.

Продуктивність вентилятора [18] варіюється від 1 до 100 000 м³/с і розраховується за таким рівнянням:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (3.7)$$

де V - витрата робочого середовища, що транспортується, м³;
 t – час.

Напір - це кількість енергії, що передається повітрю або газоподібному середовищу під час проходження через вентилятор, і ця характеристика вентилятора зазвичай виражається в одиницях тиску.

Загальний тиск, створюваний вентилятором, складається зі статичної та динамічної складових:

$$P_{\Pi} = P_{ст} + P_{дин}, \quad (3.8)$$

де P_{Π} – повний тиск, Па;
 $P_{ст}$ – статичний тиск в Па;
 $P_{дин}$ – динамічний тиск, Па, який визначається як:

$$P_{дин} = \rho \omega^2 / 2, \quad (3.9)$$

де ω – середня швидкість робочого середовища, м/с;
 ρ - щільність робочого середовища, кг/м³.

						Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність являє собою кількість енергії, необхідну для переміщення робочого середовища. Її можна розділити на підводну потужність і корисну потужність.

Підводна потужність - це енергія, що передається від приводу до вентилятора, а корисна потужність відображає реальну вартість енергії, що витрачається на переміщення робочого середовища.

Потужність вентилятора (кВт) визначається за таким рівнянням:

$$N = \frac{Q \cdot P}{1000 \cdot \eta}, \quad (3.10)$$

де Q – продуктивність вентилятора, м³/с;

P – тиск створюваний вентилятором, Па;

η – ККД вентилятора.

Поряд з основними технічними параметрами вентиляторів, про які йшлося вище, важливу роль відіграють такі другорядні показники, як кліматичне виконання, рівень шуму під час роботи, габаритні розміри та корозійна стійкість.

Ці характеристики відіграють важливу роль під час вибору вентиляторів, більшість із яких підбирається за спеціальними таблицями.

На підставі відомих даних [19] для зовнішнього блока установки СС-АФ-4D-600 S-type CoolCraft було обрано два вентилятори (рис. 3.7) з такими параметрами: максимально можливий об'єм повітря 10820 м³/год, споживана потужність 780 Вт.

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.7 – Вентилятор зовнішнього блоку теплового насоса

Для встановлюваного внутрішнього блоку необхідно вибрати двигун вентилятора і крильчатку: виберіть багатообмотковий двигун HD YDK-10F-6D, 10 Вт, струм 0,15 А (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Двигуни внутрішнього блоку теплового насоса

						Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також підбираємо крильчатку під двигун довжиною в 1,4 м і діаметром 0,18 м, що зображена на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 – Крильчатка внутрішнього блоку теплового насоса з двигуном у зборі

Холодоагенти, або, як їх називають у царині штучного охолодження, хладони, - це особливі робочі речовини, які широко використовують у процесах теплопередачі. Відносно низька температура кипіння робить їх придатними для використання в процесах охолодження. Холодоагенти можуть переходити з газоподібного стану в рідкий і одночасно відводити тепло від об'єкта, що охолоджується. Це явище можливе завдяки особливим властивостям і термодинамічним можливостям холодоагентів.

Холодильне обладнання, призначене для використання холодоагентів [20], має відповідати певним критеріям.

Основні типи холодоагентів включають такі речовини:

– вода найкраще підходить для механізмів кондиціонування повітря, де оптимальна температура охолоджувальної рідини вища за 0°C, і широко використовується в ежекторах і абсорбційних механізмах;

						Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- аміак широко використовується в поршневих компресорах і абсорбційних системах. Речовина має низький питомий об'єм по відношенню до температури кипіння -70°C , високу швидкість пароутворення і не розчиняється в маслі;
- хладони, або фреони які зазвичай позначають символом, що вказує на тип і кількість кладонів;
- повітря, діоксин вуглецю та інші схожі речовини.

Найоптимальнішим рішенням з точки зору ефективності холодоагенту та робочих параметрів є фреон R22. Однак інші холодоагенти, як-от R407с і R410а, стають дедалі популярнішими, оскільки вони були заборонені через їхній шкідливий вплив на озоновий шар [20]. Тому ми вибрали холодоагент R410а, оскільки він є найоптимальнішим рішенням цієї проблеми (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Холодоагент фреон R410а

Таблиця 3.1 – Параметри холодоагенту R410а

Параметр	Значення
Температури кипіння (T_0)	$-51,5^{\circ}\text{C}$
Критичні температури (T_c)	72°C
Критичні тиски (p_c)	4,93 мПа (49,7 атм)

Діаграма стану $lg p-h$ робочої речовини R410a приведена в додатку Б.

3.3 Висновки по розділу

У цьому розділі представлено схему теплового насоса «повітря-повітря», на якій показано основні компоненти установки. Це компресор, випарник, конденсатор і холодоагент як робоча рідина системи. Показано основну формулу для розрахунку і вибору основних компонентів теплового насоса.

									Арк.
									53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

4 Експериментальне дослідження роботи теплових насосів «повітря-повітря»

4.1 Розробка експериментальної установки теплового насоса «повітря-повітря» для дослідження оптимального режиму роботи

Для експериментальних цілей було розроблено тепловий насос типу «повітря-повітря». Мета експерименту - підібрати оптимальні робочі параметри теплового насоса й отримати найкращі показники ефективності. Блок-схему, що включає датчики для вивчення роботи пристрою, показано на рис. 4.1.

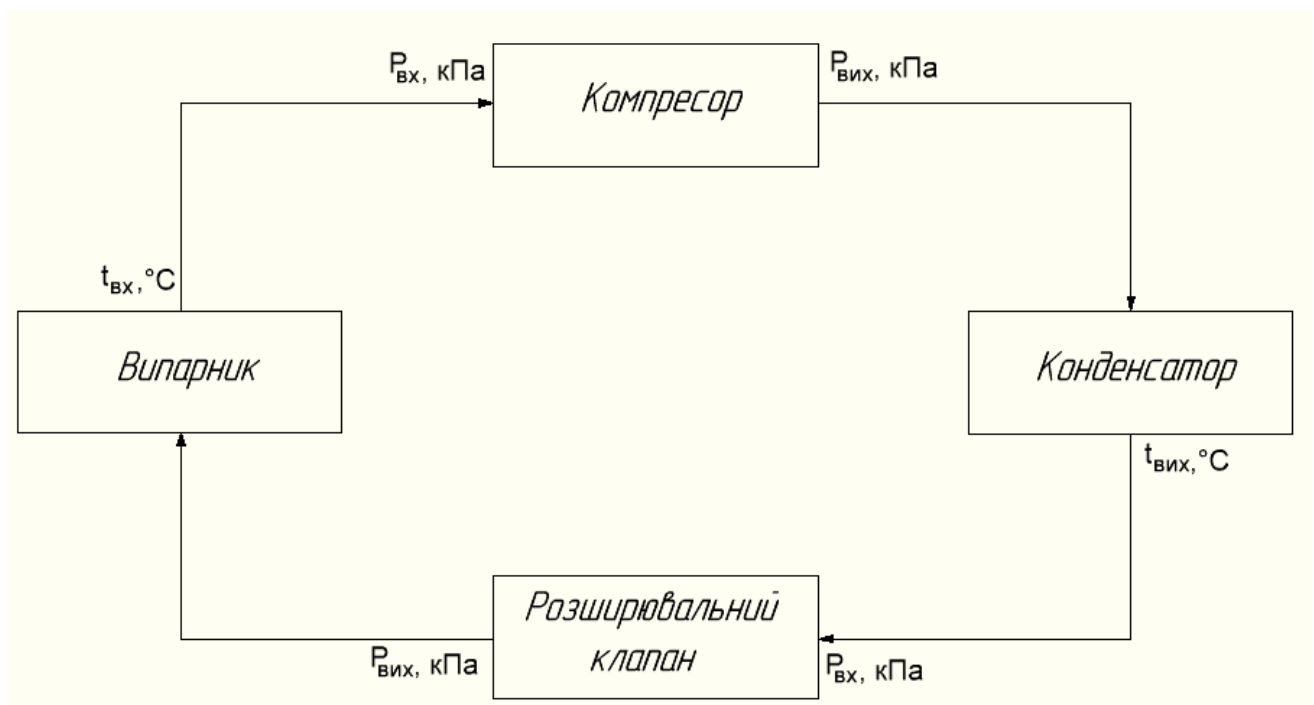


Рисунок 4.1 – Схема установки, оснащеної датчиками для вимірювання робочих параметрів установки

На випробувальній установці було встановлено датчики для вимірювання основних параметрів теплового насоса відповідно до схеми, наведеної на рис. 4.1. Термопари були встановлені для вимірювання температури довкілля і при-

міщення. Манометри використовувалися для контролю тиску, мультиметри - для контролю споживаної потужності компресора та інших параметрів, а витратоміри - для підрахунку кількості повітря, що проходить через теплообмінник. У цьому обладнанні температура є основним показником роботи установки.

Термопара - це чутливий елемент, що складається з двох ізольованих провідників з різних матеріалів, з'єднаних на одному кінці, принцип дії якого заснований на використанні термоелектричного ефекту для вимірювання температури. Крім використання в пристроях для вимірювання температури, вони також застосовуються для перетворення теплової енергії безпосередньо в електричну, коли бажано обійтися без рухомих частин (наприклад, у космічному просторі). Поглинання тепла під час проходження струму через контакти використовується в холодильниках [9].

Термопари використовуються як чутливі елементи (первинні вимірювальні перетворювачі) в пристроях контролю температури в печі. Термопара являє собою металевий дріт зі спеціального сплаву, дві жили якої зварені між собою, а стик поміщений у зону контролю печі. Вільний кінець дроту виводиться із зони нагріву і під'єднується до пристрою, який відображає реконструйований сигнал, отриманий від спаю термопари. Термопари поміщені у вогнетривкий корпус для захисту від агресивного середовища всередині печі. Принцип дії термопар заснований на ефекті Зеєбека, також відомому як термоелектричний опір. Коли два кінці провідника піддаються впливу різних температур, між ними виникає різниця потенціалів, пропорційна різниці температур, і цей коефіцієнт пропорційності називається термоелектричним коефіцієнтом. Різні метали мають різні термоелектричні коефіцієнти і, відповідно, різницю потенціалів між двома кінцями різних провідників. Якщо помістити спай із металів із різними термоелектричними коефіцієнтами в середовище з температурою T_1 , то між протилежними контактами, що піддаються впливу різних температур T_2 , виникає напруга, пропорційна різниці температур T_1 і T_2 [10]. Для проведення експерименту було обрано перехід типу мідь-мідь [21], показаний на рисунку 4.2.

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.2 – Термопара типу мідь-копелль

Цей пристрій дуже зручний і простий у використанні. Технічні характеристики термопари наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики термопари типу мідь-копелль

Параметр	Значення
Діапазон вимірюваних температур,	-200 ... +100 °C
Чутливість	19 - 51 мкВ/°C
Гранично допустиме відхилення при температурі -200 ... 0 °C	1,3 °C
Гранично допустиме відхилення при температурі 0 ... +100 °C	1,0 °C

Ці термопари є найкращим варіантом завдяки високій чутливості та достатньому діапазону вимірювання температури.

Мультиметр - це електронний вимірювальний прилад, що поєднує в собі кілька вимірювальних функцій. Типовий мультиметр [22] містить такі основні функції, як вимірювання напруги, струму та опору. Цифрові мультиметри зазвичай більш точні, ніж аналогові прилади. Типові аналогові мультиметри мають точність близько $\pm 3\%$. Точність стандартних портативних портативних цифрових мультиметрів зазвичай становить $0,5\%$ у діапазоні постійного струму. Точність приладів лабораторного класу становить кілька мільйонних часток відсотка. Під час вимірювання напруги вхідний імпеданс приладу має бути дуже високим щодо опору вимірюваного кола.

Більшість сучасних мультиметрів з електронними підсилювачами на вході мають вхідний опір, достатньо високий, щоб змінити роботу більшості схем. Зазвичай цей опір становить ~ 10 МОм. Стандартизація вхідного опору дає змогу використовувати зовнішні високоомні щупи для формування дільників напруги, що розширює діапазон вимірюваних напруг до десятків тисяч вольт. Вольтметр показано на рис. 4.3.



Рисунок 4.3 – Мультиметр D832

					Арк.
					57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Наведемо характеристики мультиметра в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики мультиметра D832

Параметр	Значення
Напруга (постійна)	200 мВ, 2000 мВ, 20 В, 200 В, 1000 В
Напруга (змінна)	200 В, 750 В
Постійний струм	2000 мкА, 20 мА, 200 мА
Опір	200 Ом, 2000 Ом, 20 кОм, 200 кОм, 2000 кОм

Манометри використовують у всіх випадках, коли необхідно знати, контролювати і регулювати тиск. Часто манометри використовують у теплоенергетиці, на хімічних і нафтохімічних підприємствах, у харчовій промисловості.

Найпоширенішими є манометри, в яких чутливим елементом є трубка Бурдона, поршень, мембрана або інше тіло.

Манометри з трубкою Бурдона для холодоагентів MAN-R-T [23] використовуються для контролю зміни тиску на вході та виході компресора і після проходження робочої рідини через розширювальний клапан. Манометри з трубкою Бурдона для холодильних систем призначені для одночасного вимірювання залежності тиску пари і температури пари, відповідно. Вони розраховані на використання з найпоширенішими неорганічними та органічними холодоагентами. У цьому випадку необхідно враховувати опір матеріалу манометра.

Принцип механічного вимірювання тиску ґрунтується на використанні пружного вимірювального елемента, який піддається стискаючому навантаженню, деформується в чітко визначений спосіб і може відтворити випробувану деформацію. За допомогою покажчика ця деформація перетворюється на обертальний рух покажчика, і, відкалібрувавши циферблат, можна зчитати тиск, який випробовує вимірювальний елемент, і відповідну температуру парів. Цей манометр показано на рис. 4.4.



Рисунок 4.4 – Манометр з трубкою Бурдона для холодоагентів MAN-R-T

Зобразимо характеристики манометра в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики манометра

Параметр	Значення
Приєднання:	G 1/4, 7/16 - 20 UNF
Приєднання:	Латунь, емаль
Діапазон вимірювання	-1 ... 4000 кПа
Застосування у вибухонебезпечних зонах	Дозволено

4.2 Методи проведення експериментальних досліджень установок теплових насосів «повітря-повітря»

Теплові насоси «повітря-повітря» вивчаються шляхом керування процесом зміни температури довкілля (t_x) і температури в приміщенні (t_v). Також контролюється зміна потужності компресора і пов'язана з цим зміна споживаної потужності при зміні температури навколишнього середовища. З рівняння (2.11) видно, що теплове навантаження конденсатора, тобто t_c , залежить від холодопроду-

ктивності системи Q_0 , тобто t_c , і потужності NT компресора, яка безпосередньо впливає на споживану компресором потужність і безпосередньо залежить від температури навколишнього середовища t_c .

Термопара підключається до зовнішнього блоку, щоб отримати температуру навколишнього середовища від теплообмінника. Потім вимірюється тиск стиснення компресора. Тиск стиснення збільшується приблизно у 8 разів, і температура робочої рідини також збільшується. За допомогою мультиметра виміряйте потужність компресора. Потім за допомогою термопари виміряйте температуру внутрішнього теплообмінника. Ця температура є основним показником, який необхідно дослідити і знайти оптимальний режим установки, за якого цей параметр збільшується. У наступному циклі тиск знову вимірюється за допомогою манометра перед розширювальним клапаном, потім знову вимірюється тиск, який є в кілька разів меншим, і також вимірюється температура робочої рідини. Потім весь цикл повторюється. Оскільки тиск у кожній частині циклу змінюється майже однаково, ці дані під час розрахунку не враховуються. Розглянемо температури теплообмінника, їхню залежність і вплив цих температур на продуктивність компресора теплового насоса. Експеримент проводиться сім разів через кожні дві години з урахуванням постійної зміни температури навколишнього середовища. За даними, отриманими за допомогою датчиків, складається експериментальна таблиця, виводяться середні арифметичні значення і будується графік результатів дослідження для установок теплового насоса «повітря-повітря».

4.3 Обробка результатів експериментальних досліджень

Дослідження теплового насоса «повітря-повітря» проводили шляхом вимірювання температури і потужності в теплообміннику з інтервалом у дві години, при цьому для підвищення точності експериментальних даних було проведено сім вимірювань. Результати представлені в таблиці 4.4.

						Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.4 – Вимірювання температури зовнішнього теплообмінника кожні дві години

	Номер досліду							
	1	2	3	4	5	6	7	сер.
$t_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$	6	4	-3	-1	-2	0	3	1

Графік зміни температури $t_{\text{вх}}$ за кожні 2 години зображено на рис. 4.5.

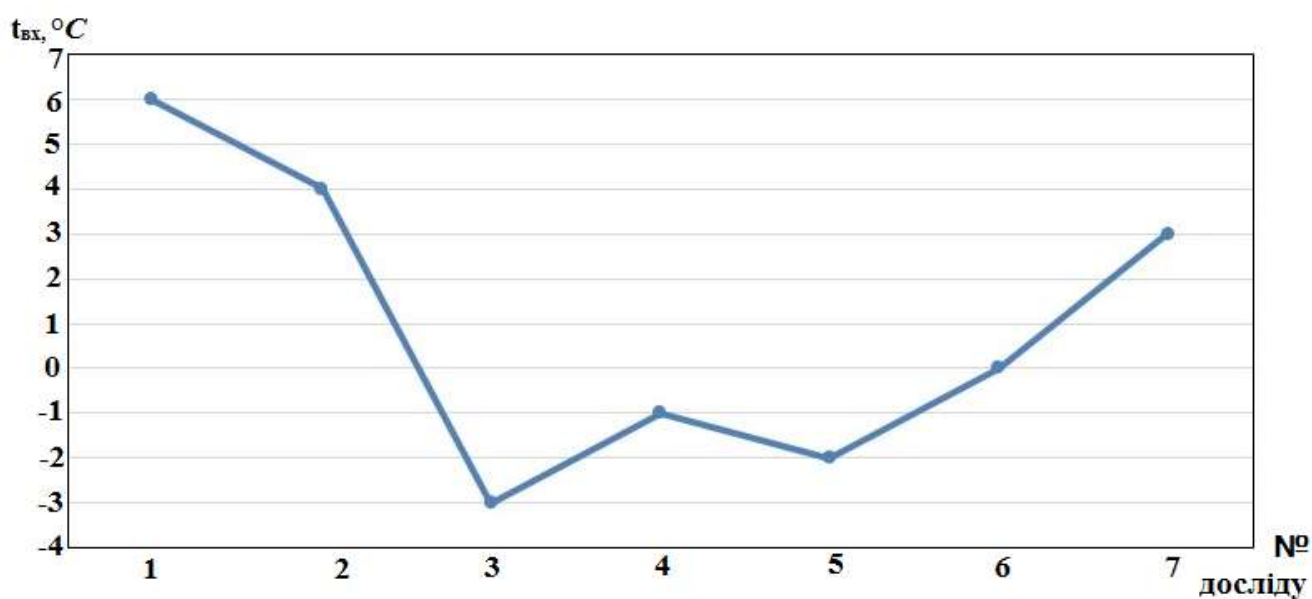


Рисунок 4.5 – Графік зміни температури $t_{\text{вх}}$ з часом

Тому для підвищення точності експерименту температуру внутрішнього теплообмінника також вимірювали одночасно з інтервалом у дві години, і було проведено сім вимірювань. Результати наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Температура всередині теплообмінника вимірюється з інтервалом у дві години.

	Номер досліду							
	1	2	3	4	5	6	7	сер.
$t_{\text{вих}}, ^\circ\text{C}$	30	26	17	18	17	18	19	20,7

Графік зміни температури $t_{\text{вих}}$ за кожні 2 години зображено на рисунку 4.6.

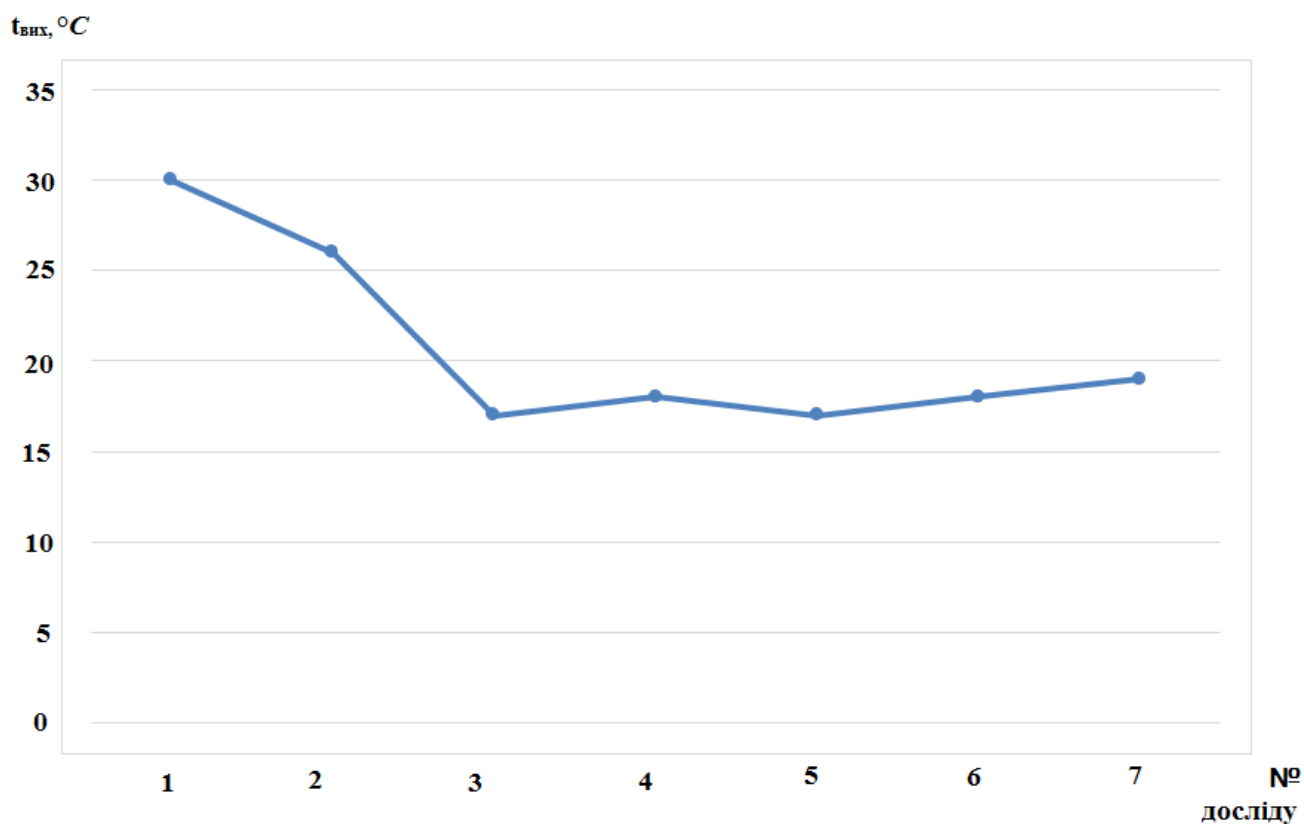


Рисунок 4.6 – Графік зміни температури $t_{\text{вих}}$ з часом

Згідно з отриманими результатами, дані порівнюють і виводять пряму залежність між $t_{\text{вх}}$ і $t_{\text{вих}}$, відповідно.

Температурні співвідношення внутрішнього і зовнішнього теплообмінників наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Кореляція температур, виміряних усередині і зовні теплообмінника з інтервалом у 2 години

	Номер досліду						
	1	2	3	4	5	6	7
$t_{вх}, ^\circ C$	6	4	-3	-1	-2	0	3
$t_{вих}, ^\circ C$	30	26	17	18	17	18	19

Графік залежності зміни температури теплообмінника зовнішнього блоку (t_{ex}) і температури теплообмінника внутрішнього блоку (t_{iv}) представлено на рисунку 4.7.

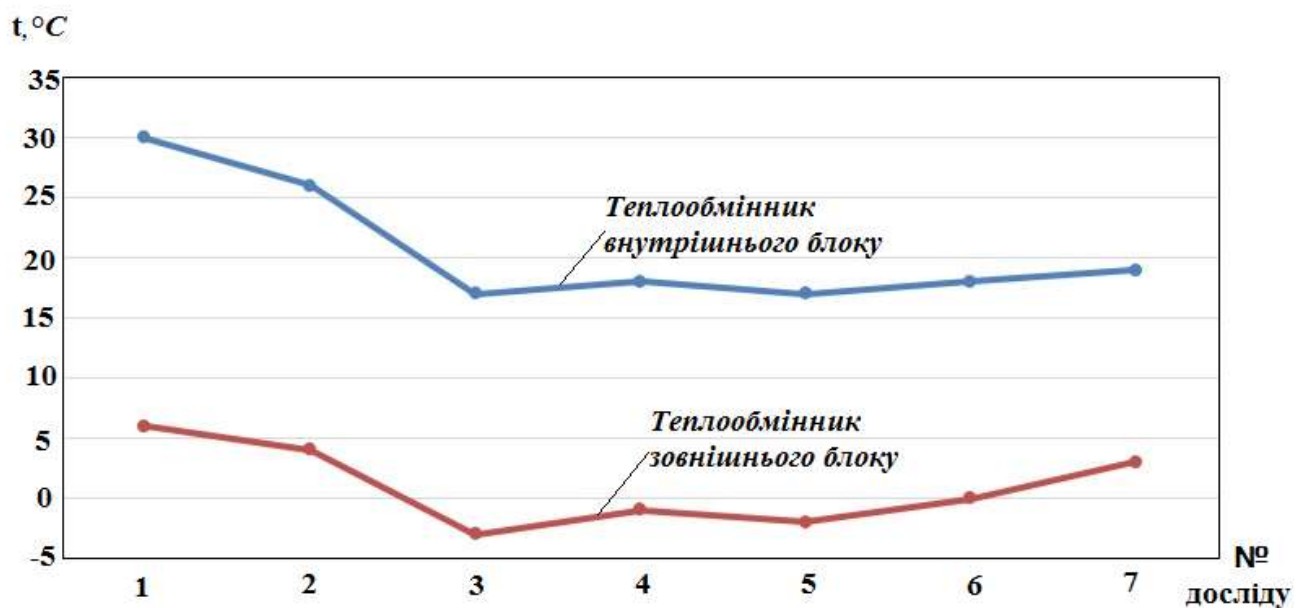


Рисунок 4.7 – Діаграма зміни температури в теплообмінниках зовнішнього і внутрішнього блоків

Зміни продуктивності компресора вимірювали сім разів кожні дві години, результати наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Вимірювання продуктивності компресора кожні дві години за різної температури зовнішнього теплообмінника

	Номер досліду						
	1	2	3	4	5	6	7
N_T , кВт	2	3	7	5	5	4	3

На підставі таблиці 4.7 було побудовано графіки зміни потужності компресора для кожного нового експерименту, тобто кожні дві години (рис. 4.8).

N_T , кВт

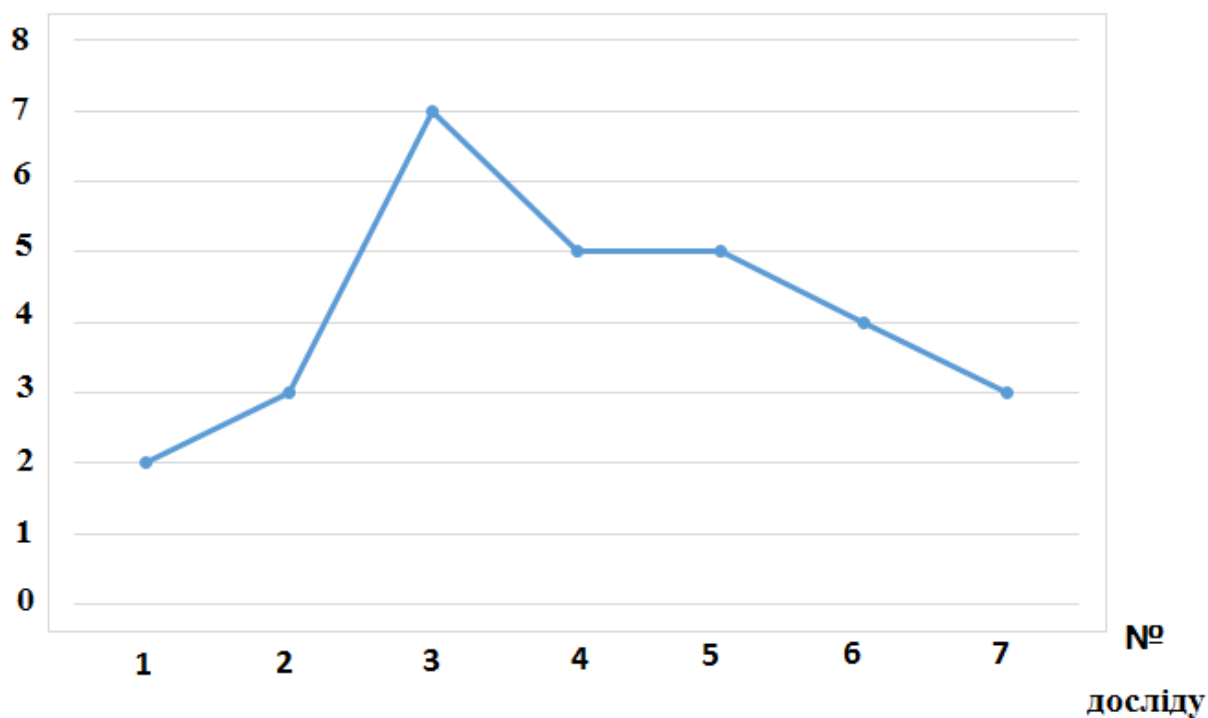


Рисунок 4.8 – Графік зміни потужності компресора з часом

Покажемо, що зміна продуктивності компресора залежить від температури на вході в систему, тобто від температури зовнішнього теплообмінника (ТВХ), згідно з графіком, представленим на рисунку 4.8.

Залежність продуктивності компресора від температури на вході наведено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Кореляція між температурою внутрішнього теплообмінника і продуктивністю компресора, виміряною з інтервалом у 2 години

	Номер досліду						
	1	2	3	4	5	6	7
$t_{вх}, ^\circ C$	6	4	-3	-1	-2	0	3
$N_T, кВт$	2	3	7	5	5	4	3

Залежність продуктивності компресора від температури зовнішнього теплообмінника показано на рисунку 4.9.

$N_T, кВт / t_{вх}, ^\circ C$

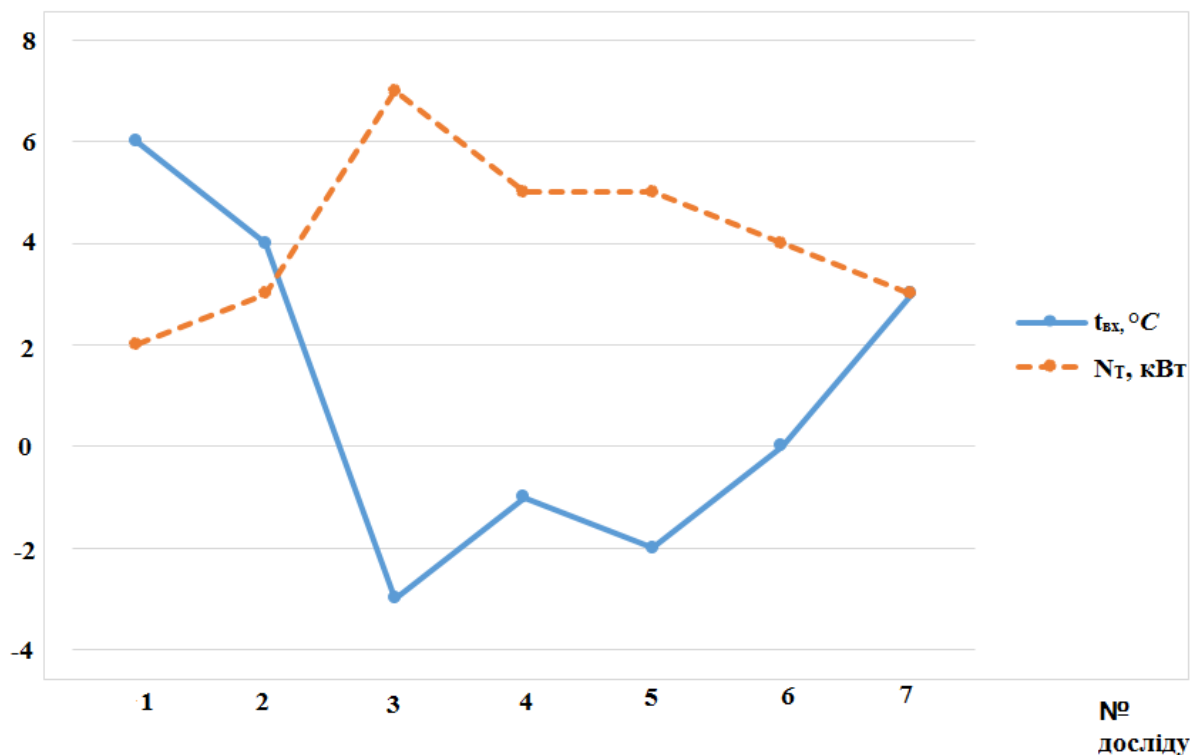


Рисунок 4.9 – Тимчасова залежність продуктивності компресора від температури зовнішнього теплообмінника

Графік на рисунку 4.9 показує, що вихідна потужність компресора і відповідне споживання електроенергії безпосередньо залежать від температури на-

вколишнього середовища. Таким чином, видно, що при зниженні температури навколишнього середовища твх (зовнішнього теплообмінника) потужність компресора збільшується, а споживана потужність, відповідно, зростає. З огляду на ці моменти, стає зрозуміло, що за нижчих температур навколишнього середовища теплове навантаження на конденсатор нижче, а ефективність агрегату, відповідно, менш важлива.

4.4 Висновки по розділу

Аналіз даних, отриманих під час дослідження оптимальних режимів роботи теплових насосів «повітря-повітря», показав таке:

- теплове навантаження на конденсатор залежить від холодопродуктивності агрегату і потужності компресора;
- ефективність роботи пристрою безпосередньо залежить від температури навколишнього середовища;
- що нижча температура довкілля, то вища споживана компресором потужність;
- не рекомендується використовувати пристрій за низької температури навколишнього середовища.

						Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У даній магістерській дисертації було розроблено та досліджено теплову насосну установку типу «повітря-повітря» з метою отримання оптимального режиму роботи. Основні результати дослідження такі:

- для аналізу технічних процесів і відомих конструкцій теплових насосів було проведено патентний пошук;
- впровадження теплових насосів є перспективним завдяки їхньому тривалому терміну служби, надійності, довговічності, екологічності та економічній ефективності;
- для експериментальних досліджень було розроблено загальну структуру та електричні схеми внутрішніх і зовнішніх блоків установки з підключеними датчиками;
- представлено методику розрахунку теплових насосів «повітря-повітря», розроблену на основі інженерних методів розрахунку і дослідження холодильного циклу кожної машини;
- розроблено фізичні та математичні моделі систем теплових насосів «повітря-повітря»;
- отримані результати розрахунків можуть бути використані на практиці під час розроблення та проектування теплонасосних установок.

						Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навчальний посібник / В. М. Арсеньєв, С. С. Мелейчук. – Суми: Сумський державний університет, 2018. – 364 с.
2. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: лабораторний практикум з дисципліни для здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/ О.С. Поліщук, М.Є. Скиба, С.П. Лісевич, А.О. Поліщук, С.В. Каретний, О.В. Вишинський. Хмельницький: ХНУ, 2022. 185 с.
4. Теплові насоси та їх застосування: навч.посібник/ О.П.Піддубняк.ю Р.Жилла, О.С.Поліщук, МЄ. Скиба та інш. Хмельницький: ХНУ, 2023. 146 с.
5. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://studopedia.org/4-66040.html>.
6. Принцип дії теплового насоса. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.siriusone.net/index.php?action=page&page_id=118.
7. Снежкін Ю. Ф. Енергоефективні теплонасосні технології: стан і перспективи впровадження в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://old.minregion.gov.ua/attachments/content>.
8. ДСТУ Б В.2.5-44:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами (60810)
9. Zhang Z. Effect of Suction Nozzle Pressure Drop on the Performance of an Ejector-Expansion Transcritical CO₂ Refrigeration Cycle / Z. Zhang, L. Titan // Enrropy. – 2015. – № 16. – P. 4309–4321.
10. Пристрій і принцип дії вихрових насосів. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://edinrosnn.ru/9261/>
11. Морозюк Т. В. Теорія холодильних машин и теплових насосів / Т.В. Морозюк – Одеса: Студія «Негоціант», 2006. – 712 с.

						Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Струменеві насоси, пристрій, застосування, принцип роботи. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://babrompro.ru/other/1175-strumenevi-nasosi-pristrii-zastosuvannja-princip.html>

13. Безродний М.К., Притула Н.О., Мішко П.І. Оптимальні характеристики теплообмінника для використання теплоти природньої води і ґрунту в теплонасосних системах опалення./ Безродний М.К., Притула Н.О., Мішко П.І. //Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2022. – Т.33(72), № 4, Частина 1. – С. 136-143.

14. Xiao Chen, Yuqian Wang, Zhiwei Zhu, Jingyue Tang, Maojun Zhou A comprehensive study on the impacts of isolation heat exchangers on the energy performance of surface water heat pump systems, Geothermics, Volume 111, June 2023, 102713.

15. Shengqing Xiao, Dimitri Nefodov, Markus Richter, Michael Wördemann, Thorsten Urbaneck Large heat pumps with hot water store in local heating systems – Investigation of operation strategies, Journal of energy storage, Volume 63, July 2023, 106924.

16. Biao Li, Zongwei Han, Chenguang Bai, Honghao Hu The influence of soil thermal properties on the operation performance on ground source heat pump system, Renewable Energy, Volume 141, October 2019, p. 903-913.

						Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

									Арк.
									70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					