

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Дослідження енергоефективності компресійного обладнання  
при виробництві штучного холоду**

Виконав: студент 6 курсу, групи **ЕМм-61**  
напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	_____	<b>Огороднік В.І.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<b>Тарасенко М.Г.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<b>Вакуленко О.О.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	<b>Тарасенко М.Г.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	<b>Козак К.М.</b>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2021

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Тарасенко М.Г.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(шифр і назва)

студенту Огородніку Вадиму Ігоровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження енергоефективності компресійного обладнання  
при виробництві штучного холоду

Керівник роботи Тарасенко Микола Григорович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від 29 вересня 2021 року № 4/7-806

2. Термін подання студентом роботи 17 грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

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

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

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Гурик О.Я.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>ст. викл. Клепчик В.М.</i>		

7. Дата видачі  
завдання

*01 вересня 2021р.*

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературний огляд за напрямком дипломної роботи	01.09.21 – 01.10.21	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки дипломної роботи	01.10.21 – 20.11.21	
3	Підготовка розділу « <i>Охорона праці та безпека в надзв. ситуаціях</i> »	23.11.21 – 29.11.21	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	17.11.21 – 29.11.21	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	30.11.21 – 06.12.21	
6	Отримання відгуку та рецензії на дипломну роботу, підготовка доповіді на захист	06.12.21 – 15.12.21	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Огороднік В.І.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Тарасенко М.Г.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 64 сторінки. В роботі міститься 19 рисунків, 24 формули і 7 таблиць.

Системи охолодження одні з потужних споживачів електричної енергії в промисловості і побуті України. Вони споживають декілька мільйонів МВт · год електроенергії за рік, вартість якої становить близько 600 мільйонів доларів США.

Найбільша складова споживання електроенергії на охолодження є в харчовій, хімічній промисловості, виробництві напоїв тощо. Правильна експлуатація та визначення напрямків покращення технічних показників холодильної техніки дозволить суттєво знизити витрати на охолодження.

**Метою кваліфікаційної роботи** є підвищення ефективності роботи холодильного обладнання з метою зменшення витрат електричної енергії при виробництві штучного холоду.

**Об'єктом дослідження** є теплові та масообмінні процеси в елементах холодильних установок компресійного типу.

**Предметом дослідження** є динамічні режими холодильного обладнання.

**Перелік ключових слів:**

ХОЛОДИЛЬНА УСТАНОВКА, ХОЛОДИЛЬНЕ НАВАНТАЖЕННЯ,  
ХОЛОДИЛЬНА МАШИНА, ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ,  
КОМПРЕСІЙНІ, АБСОРБЦІЙНІ АГРЕГАТИ.

## ЗМІСТ

с.

<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	8
1.1 Аналіз основних чинників зниження ефективності роботи типових холодинних систем.....	8
1.2 Аналіз охолоджувального навантаження.....	12
1.3 Аналіз енергоефективності роботи холодинних систем.....	21
1.4 Висновки до розділу 1.....	22
<b>2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ</b> .....	24
2.1 Цикл експериментальних досліджень.....	24
2.2 Обробка дослідних даних.....	33
2.3 Тепловий розрахунок холодинної машини з одноступінчастим компресором.....	35
2.4 Розрахунок загальних енерговитрат компресійної установки.....	39
2.5 Розрахунок енерговитрат, котрі виникають через неефективне використання потужності компресорів.....	39
<b>3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b> .....	43
3.1 Опис експериментальної установки для дослідження енерго-ефективності використання електричної енергії при виробництві штучного холоду.....	43
3.2 Електрична частина дослідної установки.....	43
3.3 Схема для вимірювання температури досліджуваних об'єктів.....	49
3.4 Принципова схема експериментальної установки.....	51

3.5 Вироблення рекомендацій щодо підвищення енергоефективності холодильного обладнання при виробництві штучного холоду за результатами досліджень на базі експериментальної установки .....52

3.6. Висновки до розділу 3 .....53

#### **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....54**

4.1 Правила техніки безпеки при експлуатації обладнання, що проектується ....54

4.2 Правила безпеки при експлуатації компресорних та холодильних установок  
.....56

4.3 Безпека експлуатації компресорних установок .....58

**ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....61**

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....62**

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Системи охолодження одні з потужних споживачів електричної енергії у промисловості і побуті України. Вони споживають близько 10 мільйонів МВт×год електроенергії за рік, вартість якої становить близько 600 мільйонів доларів США. Найбільша складова споживання електроенергії на охолодження є в харчовій, хімічній промисловості, виробництві напоїв тощо. Правильна експлуатація та визначення напрямків покращення технічних показників холодильної техніки дозволить суттєво знизити затрати коштів на охолодження.

Холодильні машини служать, як для пониження температури тіла, нижче температури оточуючого середовища, так і для її підтримування.

Тепло, яке відводиться від охолоджуваного тіла холодильному агенту, що випаровується, чи розсолу, котрий циркулює в приладах охолодження при низькій температурі, передається потім охолоджуючому середовищу – воді чи повітрю, що знаходиться при більш високій температурі. Для такої передачі тепла від низького температурного рівня до більш високого, необхідно затратити механічну роботу, котра перетвориться в тепло і передається потім охолоджуючому середовищу.

В залежності від способу здійснення кругового процесу, парові холодильні машини підрозділяють на :компресійні та абсорбційні.

Коли мова заходить про проектування охолоджувальних систем, або коли оцінюється ефективність їх роботи, необхідно знати найбільшу кількість тепла, яку повинна відводити система, або, інакше, найбільше охолоджувальне навантаження. Тут треба звертати увагу на основне навантаження технологічного процесу і на паразитне навантаження, що виникає внаслідок певних порушень. Основною метою вивчення холодильного навантаження є:

- встановлення можливості зменшення або усунення холодильного навантаження;
- оптимізація температурного режиму охолодження;

- оцінка правильності вибору компресора для даного типу установки;
- аналіз можливих шляхів економії енергії, як, наприклад, заміна компресора на кращий, заміна теплообмінника, акумулювання тепла тощо.

Витрата електроенергії є важливим параметром, що визначає економічність холодильника. Вона залежить від низки факторів: типу, конструктивного виконання і місткості (об'єму); теплоприпливів в камеру; температури оточуючого повітря; режиму роботи холодильника; наявності снігової шуби; стану теплоізоляції.

Головними складовими витрат, що визначають вартість штучного холоду, є:

- електроенергія 35 - 50%;
- ремонтні роботи 10-15%;
- охолоджуюча вода 5-10%;
- експлуатаційні матеріали та інші витрати 5-10%.

**Метою кваліфікаційної роботи** є підвищення ефективності роботи холодильного обладнання з метою зменшення витрат електричної енергії при виробництві штучного холоду.

**Об'єктом дослідження** є теплові та масообмінні процеси в елементах холодильних установок компресійного типу.

**Апробація роботи.** Огороднік В.І. Дослідження енергоефективності компресійного обладнання при виробництві штучного холоду. // М.Г. Тарасенко, В.І. Огороднік // Збірник тез доповідей. Матеріали X міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» ( м. Тернопіль, 24 - 25 листопада 2021р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2021. – Т.2. С. 40.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (33 найменування).

Загальний обсяг текстової частини – 64 сторінки, 7 таблиць, 19 рисунків.



## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Аналіз основних чинників зниження ефективності роботи типових холодильних систем

Холодильний агрегат - це найбільш енергоємний прилад у побуті. Він постійно увімкнений в мережу. Протягом року він споживає досить багато електроенергії - від 250 до 1400 кВт×год ( залежно від типу, об'єму та умов експлуатації), що складає близько 30-70% від загального її споживання в побуті. Правильна експлуатація холодильника зменшує споживання на 15-20%.

Системи штучного охолодження застосовуються для охолодження та замороження продуктів, конденсації парів, створення екологічних умов та умов холодного зберігання. Розрізняють холодильні і криогенні установки. Холодильні системи призначені для охолодження і підтримання низької температури різних об'єктів і технічних систем, які працюють при температурі вищій від 120 К. Криогенні установки мають аналогічне призначення, але у системах з температурою нижчою 120 К.

У різних галузях відсоток споживання електроенергії на охолодження складає: молоко і молочні продукти - 30; виробництво морозива - 70; переробка м'яса, птиці та риби - 50; заморожування овочів і фруктів - 70; виробництво какао, шоколаду, кондитерських виробів - 20; пивоваріння - 30; холодне зберігання - 90; виробництво та зберігання хімікатів - (5-30). Внаслідок різноманітності хімічних процесів важко вивести однозначну цифру енергоспоживання на охолодження, тому тут вказаний наближений діапазон (проаналізовано споживання на отримання холоду у нафтохімічній промисловості, промисловості неорганічної хімії, тонкого хімічного синтезу, фармацевтиці, виробництві смол та пластмас).

Системи охолодження одні з потужних споживачів електричної енергії у промисловості і побуті України. Вони споживають близько 10 мільйонів

МВт×год електроенергії за рік, вартість якої становить близько 600 мільйонів доларів США. Найбільша складова споживання електроенергії на охолодження є в харчовій, хімічній промисловості, виробництві напоїв тощо. Правильна експлуатація та визначення напрямків покращення технічних показників холодильної техніки дозволить суттєво знизити затрати коштів на охолодження.

Енергетична ефективність роботи холодильного приладу оцінюється за наступними питомим техніко-економічними показниками:

- витрати електроенергії;
- витрати охолоджуючого середовища;
- витрати холодоагенту, холодоносія і змащувального масла на поповнення системи.

Вартість штучного холоду коливається в широких межах, через те, що залежить від температурного режиму, способу охолодження, величини холодопродуктивності і типу холодильних машин, рівня автоматизації установки, вартості електроенергії і охолоджуючої води.

Головними складовими витрат, що визначають вартість штучного холоду, є:

- електроенергія 35 – 50%;
- ремонтні роботи 10 – 15%;
- охолоджуюча вода 5 – 10%;
- експлуатаційні матеріали та інші витрати 5 – 10%.

Найбільш поширеними є такі типи холодильників: компресійні, абсорбційні та термоелектричні.

Компресійний холодильник складається з компресора, що приводиться в рух електродвигуном, випарника - конденсатора і регулювального пристрою, які з'єднані між собою трубопроводом і утворюють замкнену систему. Охолодження відбувається внаслідок циркуляції в каналах випарника холодоагенту. Як холодоагент використовують здебільшого фреон (R12. R22) та інколи аміак (NH<sub>3</sub>).

Витрата електроенергії є важливим параметром, що визначає еконо-

мічність холодильника. Вона залежить від низки факторів: типу, конструктивного виконання і місткості (об'єму); теплоприпливів в камеру; температури оточуючого повітря; режиму роботи холодильника; наявності снігової шуби; стану теплоізоляції.

Перш за все споживання електроенергії холодильника чи морозильника залежить від його типу, конструктивного виконання і місткості (об'єму).

Холодильний агрегат компресійного типу є набагато економічнішим від абсорбційного, оскільки усі компресійні холодильники обладнані пристроями регулювання температури. Крім того, процеси охолодження і досягнення від'ємної температури в компресійному холодильнику проходять значно швидше й вимагають менше енергії, ніж в абсорбційному холодильнику.

Практично всі абсорбційні холодильні агрегати не мають терморегуляторів і тому працюють неперервно, споживаючи приблизно у два рази більше електроенергії, ніж компресійні. Наприклад, абсорбційний агрегат потужністю 100 Вт без терморегулятора за рік споживає близько 875 кВт×год., а компресійний агрегат такої ж потужності працює близько шести годин на добу (2200 годин на рік) і за рік споживає 365 кВт×год електроенергії. Тобто в 2,397 разів більше потрібно оплачувати споживання електроенергії у разі використання абсорбційного холодильника. Залежно від об'єму камери холодильної машини, компресійні споживають за рік 250-450 кВт×год а абсорбційні - 500-1400 кВт×год електроенергії.

Ще одним досить важливим фактором на величину електроспоживання є температура оточуючого повітря.

Збільшення температури оточення призводить до збільшення енерговитрат. Розглянемо детальніше вплив цього фактора на роботу холодильника, що проявляється у двох моментах.

Усе можна пояснити виходячи з принципу дії холодильника. Відомо що для конденсації холодоагенту (тобто успішної віддачі забраного тепла від продуктів в оточуюче середовище) потрібно: довести пари агента до температури конденсації - стиснути їх та відібрати від насиченої пари теплоту

пароутворення - для цього температура оточення повинна бути нижчою від температури конденсації на 7-12°C. У випадку підвищеної температури оточення умови конденсації погіршуються, бо потрібно досягати вищої температури і тиску конденсації. Тоді зростає протитиск пари в конденсаторі, що збільшує тривалість увімкнення компресора і споживання електроенергії. У випарник може поступати суміш пари і рідини, що зменшує кількість тепла, яку зможе відвести від об'єктів охолодження холодоагент.

Чим вища температура зовнішнього повітря, тим більша кількість тепла потрапляє в холодильник. Збільшення температури оточуючого середовища (у випадку сталої температури всередині холодильника викликає збільшення витрат електроенергії на 7-10% на кожен градус.

1. Для покращення ефективності роботи холодильних установок потрібно систематично оцінювати якість її роботи.

2. Ефективність роботи конденсаторів покращується у разі регулярного стравлювання неконденсівних газів, очищення поверхні конденсатора, вибору правильної уставки регуляторів.

3. Випарники працюють ефективніше, якщо правильно заправити їх холодоагентом, підтримувати у чистоті поверхні та здійснювати регулярне розморожування.

4. Контролюйте роботу розширювального клапана.

5. Уникайте роботи компресорів з недовантаженням, правильно сплануйте черговість увімкнення у ході експлуатації багатокомпресорних установок.

6. Стежте за роботою допоміжних пристроїв. Вимикайте зайві допоміжні пристрої.

7. Зменшіть до мінімуму інфільтрацію тепла та підтримуйте сухою ізоляцію холодильних систем.

Для одержання штучного холоду теплоту від тіла з низькою температурою необхідно передати середовищу зі значно вищою температурою, тобто треба здійснити процес, внаслідок якого зменшиться ентропія. Такий процес згідно

з другим законом термодинаміки довільно проходити не може: для його реалізації необхідно здійснити допоміжний процес, який проходить із зростанням ентропії.

При розв'язуванні технічних задач (наприклад, зменшення теплових втрат в трубопроводі, будівельних конструкцій, охолодження або нагрівання різних виробів при їх обробці, розрахунку тепло і електроопалювальних пристроїв, тощо) спостерігається теплообмін між окремими тілами.

Теорією теплообміну, або теплопередачі, називається вчення про процеси розповсюдження теплоти в просторі із неоднорідним полем температур. Тобто теплопередача в загальному – це вчення про перенос теплоти.

Для вивчення теплообміну зручно розділяти процеси теплопровідності, конвекції і випромінювання. Однак в дійсності, дуже часто зустрічається складний теплообмін, при якому теплота передається двома або навіть всіма трьома способами.

Теплові процеси досліджують за допомогою датчиків температури. Ними можуть служити термопарні датчики та терморезистивні.

Робота термопарних датчиків базується на термоелектричних явищах. Вони виготовляються із металічних або напівпровідникових матеріалів.

Основною складовою терморезистивного датчика є терморезистори (термоопори).

## **1.2 Аналіз охолоджувального навантаження**

Джерелом інформації на цьому етапі є опис технологічного процесу та бесіда з основним (ключовим) персоналом - технологами, менеджерами, інженерами і т.п.

Вивчення холодильного навантаження починається зі збору даних про холодильну систему. Це доволі клопітка робота, бо необхідно:

- вивчити і уявити технологічний процес чи систему для якої необхідне

охолодження;

- виявити максимальне холодильне навантаження у кВт;
- вивчити обсяги потреби холоду протягом визначеного часу у кВт;
- побудувати залежність навантаження від часу у технологічному процесі;
- в'яснити початкову і кінцеву температуру рідини чи твердого тіла, яке підлягає охолодженню;

- отримати дані про холодоагент та інші.

Компонентами холодильного навантаження є:

- технологічна складова;
- втрати тепла;
- тепло, генероване допоміжним обладнанням.

Холодильне навантаження - це термодинамічне навантаження, яке створюється охолодженням певної кількості продукції (рідини, твердих тіл). Це основна кількість тепла, яку необхідно відвести від охолоджуваного середовища. Таке навантаження може задаватися, наприклад, масою продукту з початковою температурою, яку треба охолодити до кінцевої температури за певний час. Це технологічна складова навантаження.

Втрати тепла - це холодильне навантаження внаслідок напливу тепла через стіни, двері, отвори, від навколишніх предметів, яке необхідно вивести з камери охолодження.

Частину тепла, яку необхідно вивести з охолоджувальної камери, генерують машини, механізми, двигуни вентиляторів і pomp, освітлення тощо. Тут треба звернути увагу на розташування привідних пристроїв і розглянути можливість виведення їх за межі охолоджуваного простору.

Розглянемо детальніше, як перелічені фактори впливають на витрату електроенергії побутовими холодильниками чи морозильниками.

1. Перш за все споживання електроенергії холодильника чи морозильника залежить від його типу, конструктивного виконання і місткості (об'єму).

Холодильний агрегат компресійного типу є набагато економічнішим від абсорбційного, оскільки усі компресійні холодильники обладнані пристроями регулювання температури. Крім того, процеси охолодження і досягнення від'ємної температури в компресійному холодильнику проходять значно швидше й вимагають менше енергії, ніж в абсорбційному холодильнику.

Практично всі абсорбційні холодильні агрегати не мають терморегуляторів і тому працюють неперервно, споживаючи приблизно у два рази більше електроенергії, ніж компресійні. Наприклад, абсорбційний агрегат потужністю 100 Вт без терморегулятора за рік споживає близько 875 кВт×год., а компресійний агрегат такої ж потужності працює близько шести годин на добу (2200 годин на рік) і за рік споживає 365 кВт×год. І електроенергії. Тобто в 2,397 разів більше потрібно оплачувати споживання електроенергії у разі використання абсорбційного холодильника. Залежно від об'єму камери холодильної машини, компресійні споживають за рік 250-450 кВт×год. а абсорбційні - 500-1400 кВт×год електроенергії.

Двокамерні холодильники з відокремленим низькотемпературним відділенням економічніші, ніж однокамерні з вбудованим низькотемпературним відділенням. Це пояснюється тим, що перші дозволяють підтримувати низьку температуру за меншої витрати електроенергії в низькотемпературному відділенні (за рахунок покращеної ізоляції та менших теплоприпливів ззовні під час експлуатації холодильника). Наприклад, холодильник „Мінськ-126” – двокамерний місткістю 240 л за паспортними даними споживає за добу 1,5 кВт×год. Однокамерний „Апшерон 2Е» місткістю 240 л споживає за добу 1.7 кВт×год електроенергії в нормальних умовах (табл. 1), а двокамерний „Норд” місткістю 255 л (з покращеною ізоляцією) за паспортними даними у тих самих умовах споживає всього 0,9 кВт×год за добу.

2. Значний вплив на споживання електроенергії холодильником чи морозильником мають теплоприпливи які складаються з теплоприпливів: крізь, ізоляцію холодильника: внесених разом з продуктами: експлуатаційних (під час

відкривання дверей холодильника). Було підраховано, що трикратне відкривання дверей збільшує споживання на 1%.

3. Ще одним досить впливовим фактором на величину електроспоживання є температура оточуючого повітря.

Усе можна пояснити виходячи з принципу дії холодильника. Відомо що для конденсації холодоагенту (тобто успішної віддачі забраного тепла від продуктів в оточуюче середовище) потрібно: довести пари агента до температури конденсації - стиснути їх та відібрати від насиченої пари теплоту пароутворення - для цього температура оточення повинна бути нижчою від температури конденсації на 7-12°C. У випадку підвищеної температури оточення умови конденсації погіршуються, бо потрібно досягати вищої температури і тиску конденсації. Тоді зростає протитиск пари в конденсаторі, що збільшує тривалість увімкнення компресора і споживання електроенергії. У випарник може поступати суміш пари і рідини, що зменшує кількість тепла, яку зможе відвести від об'єктів охолодження холодоагент.

4. Залежно від температури оточення холодильник повинен працювати з таким охолодженням регулятора температури, яке необхідне для підтримання в камері потрібної температури, а не нижчою. Не потрібно занадто охолоджувати камеру холодильника, адже продукти будуть добре зберігатись і при температурі  $+7\pm 5^\circ\text{C}$ , а перевитрати електроенергії зростуть з пониженням температури в камері.

Нормальна робота холодильника характеризується значенням коефіцієнта робочого часу в межах 0,2-0,3. Тобто час роботи агрегату 3-4 хв., простою - 12-14 хв. (вмикається 4-5 разів на годину). Але можливе і збільшення включень до 15-20 на годину. У цьому випадку підвищене споживання зумовлено частими пусками двигуна компресора. Спостереження показали, що під час пуску компресор витрачає 0,00078-0,0015 кВт год. При увімкненні 20 разів на годину це забере 0,0156-0,023 кВт×год, а 5 разів - 0,0039-0,007 кВт×год електрики. Звичайно, за місяць це будуть величини досить значні.

V. Снігова шуба утворюється на поверхні приладів охолодження (на



випарнику) через приплив вологи ззовні та випаровування її з поверхні продуктів, які внаслідок цього зменшуються в об'ємі і засихають. Іній створює теплоізолюючу оболонку, яка погіршує віддачу тепла в камеру через стінки випарника. Теплопровідність матеріалу випарника (алюміній) - 204 Вт/м-град. а льоду - 2.326 Вт/м-град. тобто загальна теплопровідність зменшується, що зменшує холодовиробництво і холодильник працює у важкому режимі, що зумовлює перевитрату електроенергії.

Експериментальне було виявлено, що при товщині шару інею 3 мм температура, камери підвищується на 3-4°C і для підтримки заданої температури ручку терморегулятора приходиться переводити в положення „холод”, що збільшить споживання на 35%.

Одним з найбільших ефективних засобів зменшення витрат електроенергії є використання саморозтоплення інею. У випадку відсутності такого пристрою потрібно розморозувати холодильники вже при товщині шуби 0,5 см. Для зменшення вологи в камері слід тримати продукти запакованими, наприклад, в поліетилен, чи у добре закритому посуді.

Теплоізоляція в холодильнику знижує припливи тепла в камеру і перешкоджає утворенню конденсату на зовнішніх поверхнях стінок камери. Коефіцієнт теплопровідності ізоляції знаходиться в межах 0,047-0,18 Вт/(м-К). Товщина шару теплоізоляції - 30-40 мм.

З часом теплоізоляція старіє. Велика різниця зовнішньої та внутрішньої температури зумовлює перепад вологовмісту. Тому водяна пара повітря може проникати крізь шар ізоляції в її пори (через найменші негерметичності корпусу). Проникаючи в пори, пара конденсується, зволожуючи ізоляцію. Оскільки теплопровідність води 0,6 Вт/(м-К), то теплопровідність ізоляції збільшується в 3 рази. Звичайно, щоб уникнути швидкого старіння ізоляції, її покривають спеціальними мастиками. У випадку старіння ізоляції на 10% її теплопровідність збільшується у 1,5 рази, що веде до збільшення витрат електроенергії.

Для забезпечення необхідного притискання дверного ущільнювача до

шафи і утримання дверей в закритому положенні використовують магнітні вставки, закріплені в балоні ущільнювача.

Дверний ущільнювач з часом також старіє. Тоді він нещільно прилягає до шафи і пропускає вологу й тепло всередину холодильника. Виробник гарантує, що за 10-15 років ізоляція практично не постаріє. Якщо ж вашому холодильнику більше 20 років, варто задуматись про його заміну.

Розглядають два основні типи навантаження охолодження.

#### 1. Теплове навантаження технологічного процесу:

- явне;
- приховане;
- теплота реакцій.

#### 2. Теплові втрати:

- втрати через стінки (огороження);
- інфільтрація (проникнення через двері, отвори тощо);
- теплота допоміжного обладнання.

Явне охолодження - це зменшення температури речовини (внаслідок відведення від неї певної кількості енергії) без зміни її фазового стану. Кількість відведеного від тіла тепла за одиницю часу (за одну секунду) розраховується за такою формулою:

$$Q = m \times C_p \times (T_{кін} - T_{поч}) \quad 1.1$$

де:  $Q$  - кількість відведеного тепла (навантаження охолодження), кВт;

$m$  - маса речовини, що охолоджується протягом секунди, кг/с.;

$C_p$  - питома теплоємність речовини, кДж/(кг×°С);

$T_{кін}, T_{поч}$  - початкова та кінцева температура речовини, °С.

Прихована енергія пароутворення, це енергія, яка необхідна для перетворення рідини у пару чи навпаки. Температура конденсації та випаровування залежить від тиску.

Кількість тепла, яка відводиться від речовини при охолодженні за одну

секунду розраховується за такою формулою:

$$Q = m \times (h_{\text{поч}} - h_{\text{кін}}) \quad 1.2$$

де:  $m$  - маса речовини, що охолоджується за одну секунду, кг/с;

$h_{\text{поч}}, h_{\text{кін}}$  - питома прихована теплота, кДж/кг.

Навантаження на систему охолодження внаслідок інфільтрації теплого повітря у холодильну камеру також можуть складати значний відсоток. Замерзання вологи, що попадає у приміщення разом з теплим повітрям, може погіршити тепловіддачу стінок випарника, зменшувати отвори для проходження повітря обдуву тощо. Намерзання вологи вимагає витрат енергії на її розморожування (видалення намерзання).

Як зазначалося вище, додаткове навантаження від тепла допоміжних пристроїв (вентиляторів, освітлення, технологічних машин, обладнання розморожування, pomp для перепомповування охолоджувальної рідини) приблизно дорівнює потужності цих пристроїв. Робота цих пристроїв кваліфікується як „багатократний енергетичний штраф”, оскільки спочатку вони споживають електроенергію для виконання роботи, а пізніше електроенергія споживається для видалення генерованого ними тепла. Тому раціональна експлуатація та розташування привідних машин цих пристроїв може дати суттєву економію навантаження охолодження.

Серед питань, які тут треба розглянути, є такі:

- графік охолоджувального навантаження;
- сезонні коливання навантаження;
- середньорічні навантаження охолодження.

Навантаження охолодження може значно змінюватися протягом часу експлуатації і залежати, в тому числі, від сезонних умов. У холодний період часу можливо, що навантаження від інфільтрації може бути від’ємним, тобто температура повітря зовні нижча від внутрішньої температури камери. За річним графіком навантаження можна визначити величину навантаження для вибору потужності холодильної установки. Треба мати на увазі, що робота холодильних

систем з навантаженням, яке значно менше від номінального, погіршує їх коефіцієнт корисної дії.

З метою аналізу необхідно побудувати графік (чи скласти таблицю) кожного навантаження охолодження зокрема. Це дозволить виявити резерви зниження охолоджувального навантаження, а також розробити вимоги до охолоджувальної системи в цілому.

В загальному випадку графік навантаження нерівномірний і на ньому спостерігаються виражені піки навантаження (залежно від технологічного процесу, який обслуговує холодильна система). Такий графік (рис.1.1) разом з температурною характеристикою є підставою для вибору параметрів холодильного устаткування.



Рисунок 1.1 – Реальний графік довільно вибраної установки

Довільно вибрана установка, що працює у діапазоні температур від  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Звідси видно, що для відведення теплоти від охолоджуваного середовища при малій різниці температур у холодильній камері і навколишнього середовища потрібно значно меншу потужність компресора ніж при великій різниці температур.

Тому, можливо, треба відмовитися від одного компресора, робота якого малоефективна при температурі  $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а встановити два компресори малої

потужності, тобто розділити холодильне навантаження на два окремі.

Після розділення навантаження частина його з вищою температурою випаровування  $T$ , буде мати більший холодильний коефіцієнт ніж у вихідній установці, тому ефективність установки у цілому покращиться. Можливо, що побудова двох установок буде коштувати дорожче, тому рішення треба обґрунтувати техніко-економічними розрахунками.

Таким чином, на підставі аналізу холодильного навантаження можливо:

- зменшити рівні навантаження;
- виявити пріоритетні холодильні навантаження, на забезпечення яких витрачаються найбільші кошти;
- оптимізувати рівні температур охолодження;
- переглянути потужність компресора;
- оцінити можливості економії енергії.
- стверджувати, що графіки охолоджувального навантаження та температурних рівнів дуже важливі для визначення потужності компресора.

Для отримання найбільшої ефективності установки важливо, щоб охолодження здійснювалося при можливо вищій температурі. Досвід та розрахунки дозволяють стверджувати, що невелика зміна параметрів може суттєво впливати на затрати:

- збільшення температури конденсації  $T_k$  на  $1^\circ\text{C}$  призводить до збільшення затрат на 2 - 4 %;
- зменшення температури випаровування  $T_v$  на  $1^\circ\text{C}$  призводить до збільшення затрат на 2 - 4%;

Якщо  $T_k$  збільшити до 311 K, то затрачена робота на охолодження збільшиться до 0,282  $Q_{ох}$ , тобто на 2,17%.

Витрати на охолодження від неефективної роботи розширювальних клапанів, неправильного керування компресорами, неправильної експлуатації допоміжного обладнання можуть збільшуватися на 20% від кожного зазначеного недоліку.

### 1.3 Аналіз енергоефективності роботи холодильних систем

У ході аналізу використання холодильних систем необхідно звертати увагу на такі характеристики:

- капітальні вкладення у холодильну техніку;
- енерговитрати (використання електроенергії);
- інші експлуатаційні затрати;
- надійність системи;
- екологічні фактори, пов'язані з використанням холодоагентів.

Зі сказаного випливає, що першим кроком до створення ефективнішої і рентабельнішої установки є інформація про вартість об'єкта. Необхідно аналізувати не тільки експлуатаційні витрати, бо холодильні системи промислового охолодження часто складають основу технологічного процесу і капітальні затрати можуть мати вирішальне значення у ході аналізу енергоефективності.

Екологічні чинники, які слід враховувати, зумовлені впливом, в основному, холодильних агентів на навколишнє середовище. Холодоагентами називають речовини, які мають порівняно низьку температуру кипіння при атмосферному тиску (0,1 МПа). Ця температура називається нормальною температурою кипіння. Сьогодні ще експлуатуються холодильні системи з холодоагентами на базі хлорфторвуглеводнів (ХФТ). Нормальні температури кипіння холодоагентів складають: фреон -12 (R-12) кипить при  $-128\text{ }^{\circ}\text{C}$ , фреон -14 (R-14) -  $128\text{ }^{\circ}\text{C}$ , фреон -143 (R-143) -  $47,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , аміак (R-717) -  $33,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) -  $-78,52\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Фреони визнані матеріалами, що мають техногенний вплив на навколишнє середовище. Критеріями впливу є потенціал руйнування озонового шару (ООР - Ozone Depletion Potential) і потенціал глобального потепління.

Правильна експлуатація і належне технічне обслуговування є основою для зменшення витрат енергії. Обстеження показують, що експлуатовані сьогодні холодильні системи споживають до 20% енергії більше ніж це необхідно. Значна

кількість причин надмірного енергоспоживання усувається без великих затрат.

Серед чинників, що обумовлюють зниження ефективності роботи холодильних систем спеціалісти з енергоаудиту виділяють такі:

- відносна складність холодильних систем і відсутність розуміння шляхів підвищення ефективності їх роботи;

- обслуговуючий персонал (інженери) прагне досягти максимальної надійності в роботі, допускаючи зниження ефективності;

- вартість електроенергії часом складає малу частку в сумі експлуатаційних витрат, тому на заходи з економії електроенергії звертають менше уваги;

- недостатня увага з боку інженерно-технічного персоналу до ефективності роботи холодильних систем (на відміну від уваги, що надається котельним установкам) і, як наслідок, відсутність продуманих заходів з покращення роботи холодильних установок.

Причини неефективної роботи холодильних систем зумовлені:

- недостатньою підготовкою інженерно-технічного персоналу і операторів;

- складністю і відносною тривалістю діагностики несправностей;

- відсутністю належного розуміння економічного потенціалу від економії енергії;

- відсутністю явних критеріїв оцінки якості роботи холодильної системи.

#### **1.4 Висновки до розділу 1**

1. Проведено аналіз основних типів та енергоефективності роботи холодильних систем.

2. Проведено аналіз холодильного навантаження довільної установки з метою виявлення резервів зниження цього навантаження, а також для розробки вимог до охолоджувальної системи в цілому.

3. В ході огляду літературних джерел було наведено основні відмінності між холодильними системами, вивчено основні складові холодильного навантаження та запропоновано основні кроки до створення енергоефективних охолоджувальних систем.



## 2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Цикл експериментальних досліджень

Експериментальна установка, яка розроблена в рамках виконання магістерської роботи, дозволяє виконувати цілий цикл лабораторних вишукувальних робіт, зокрема наступні:

1. Дослідження ефективності роботи холодильної установки.
2. Дослідження теплових полів та теплових процесів при охолодженні рідини до температури, нижчої її затвердіння.
3. Дослідження теплопередачі та тепловіддачі при різних умовах охолодження.

Експериментальні дослідження спрямовані насамперед на дослідження ефективності використання електричної енергії при виробництві штучного холоду та визначення оптимального режиму при якому споживається мінімальна кількість електроенергії.

Вимірюванню підлягають:

- температура на ділянці компресор - конденсатор ;
- температура на вході в теплообмінник;
- температура охолоджуючої речовини;
- температура на ділянці теплообмінник - терморегулюючий вентиль;
- споживання електроенергії холодильною установкою.

Споживання електроенергії холодильною установкою вимірюється за допомогою лічильника електричної енергії, фото якого наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Трифазний індукційний лічильник експериментальної установки

За результатами вимірювань визначається питома витрата електричної енергії.

При підготовці до початку досліджень спочатку заповнюємо робочий бункер 14 (див. рис. 2.2) водою або її сумішшю, об'ємом який може змінюватись в залежності від тривалості досліджень та параметрів отримуваних результатів. Після чого записуємо початкові покази трифазного індукційного лічильника який виконаний окремим блоком і під'єднаний до блоку електрообладнання 5. Вмикають компресор 1. Через 10 хв. після пуску установки приступають до заняття показів прикладів, трифазний індукційний лічильник фіксує дослідні витрати електроенергії на охолодження робочої

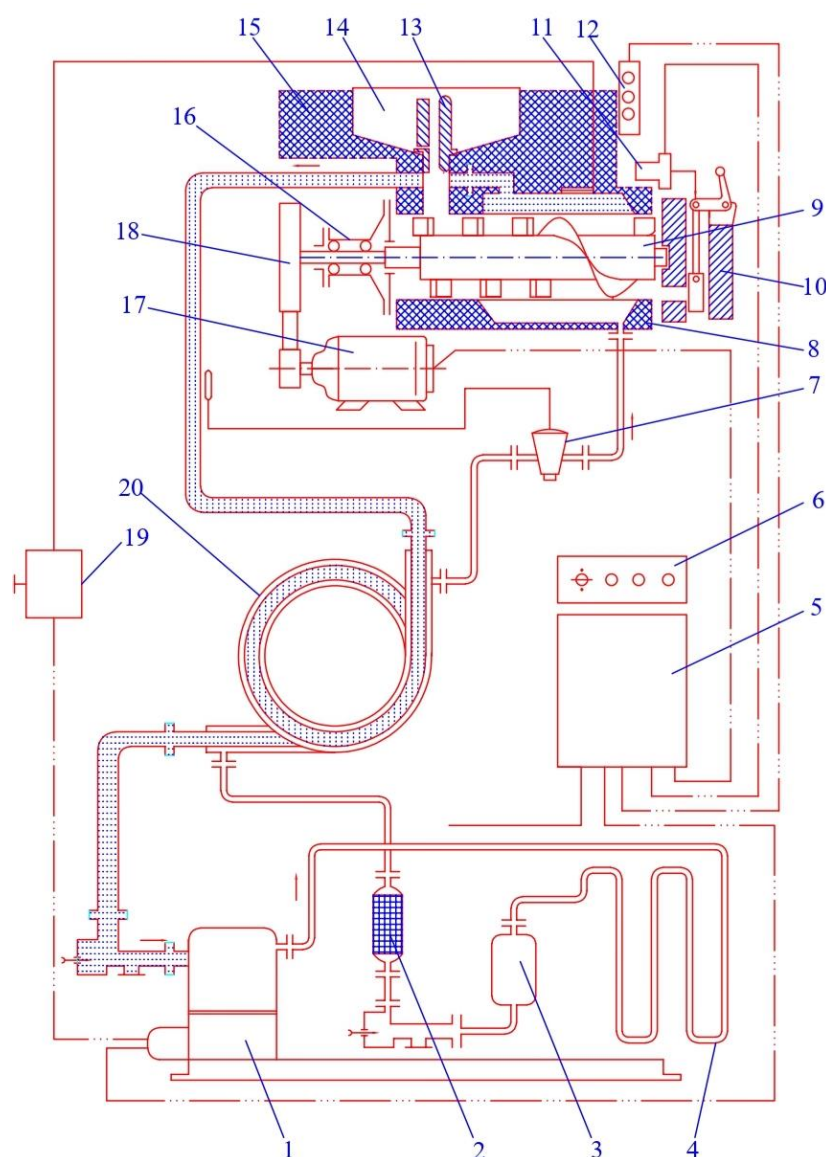


Рисунок 2.2 – Будова компресійної установки для дослідження ефективності використання електричної енергії

На рисунку 2.2 наведено будову холодильної установки, що складається з компресора 1, фільтра-осушувача 2, дроселя 3, конденсатора 4 (ці елементи умовно складають холодильний блок), блоку електрообладнання 5, блоку управління 6, терморегулюючого вентиля 7, випаровувача 8, мішалки 9, дозатора 10, автомату переключення 11, блоку сигналізації 12, входної трубки 13, приймального бункера 14, термоізоляції 15, опору 16, електродвигуна 17, вузла приводу 18, датчика-реле температури 19, теплообмінника 20. речовини (води або її суміші), цифрові термометри які розміщені на передній

панелі установки, при допомозі термопар, які розміщені в холодильному блоці установки вимірюють:

$T_1$  – температуру фреону після дроселювання;

$T_2$  – температуру фреону до компресора;

$T_3$  – температуру фреону після компресора.

Виміри проводять кожні 5 хв.

Отримані дані записують в звітну таблицю

Після досягнення заданого режиму роботи установки, про що буде свідчити незмінність температури фреону у всіх точках вимірів у часі, виконують контрольні виміри всіх величин і припиняють дослід.

Основною метою проведення досліджень на ефективність використання електричної енергії при виробництві штучного холоду є визначення оптимального режиму при якому споживається мінімальна кількість електроенергії.

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані при нормальному діапазоні регулювання температури.

<b>t, хв</b>	<b><math>T_1, ^\circ\text{C}</math></b>	<b><math>T_2, ^\circ\text{C}</math></b>	<b><math>T_3, ^\circ\text{C}</math></b>
0	20	22	21
5	-13	-12	33
10	-11	-10	45
15	-11	-10	50
20	-11	-10	51
25	-11	-10	52
30	-11	-10	54

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані при звуженому діапазоні регулювання температури.

<b>t, хв</b>	<b><math>T_1, ^\circ\text{C}</math></b>	<b><math>T_2, ^\circ\text{C}</math></b>	<b><math>T_3, ^\circ\text{C}</math></b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
0	-9	11	44
5	-9	-8	51

Продовження таблиці 2.2.

1	2	3	4
10	-9	-8	54
15	-9	-8	55
20	-8	-7	56
25	-8	-7	56
30	-8	-7	56

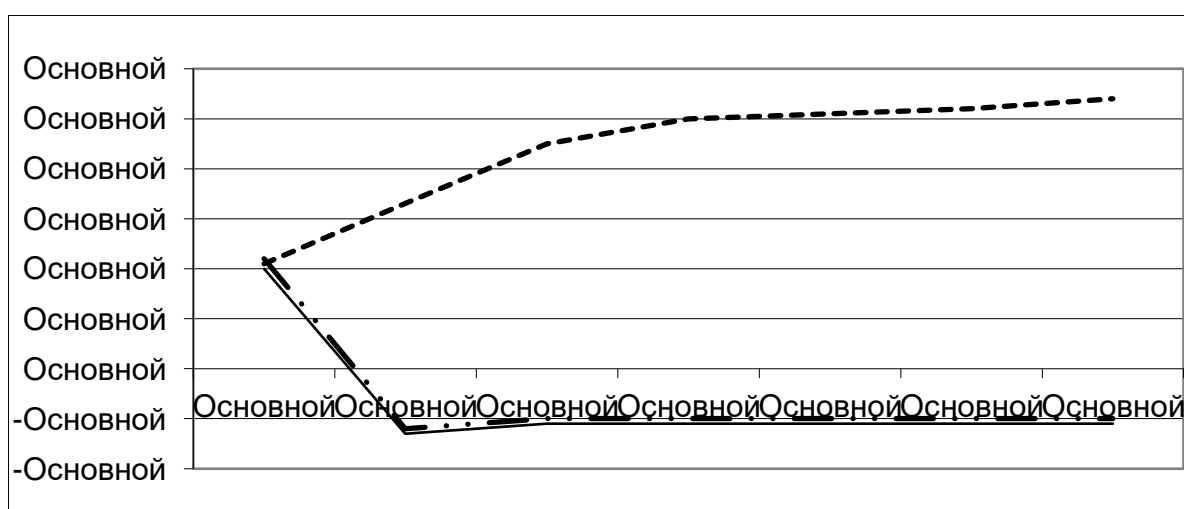


Рисунок 2.3 – Графік залежності температури від часу при незавантаженій холодильній камері при нормальному діапазоні вимірювань

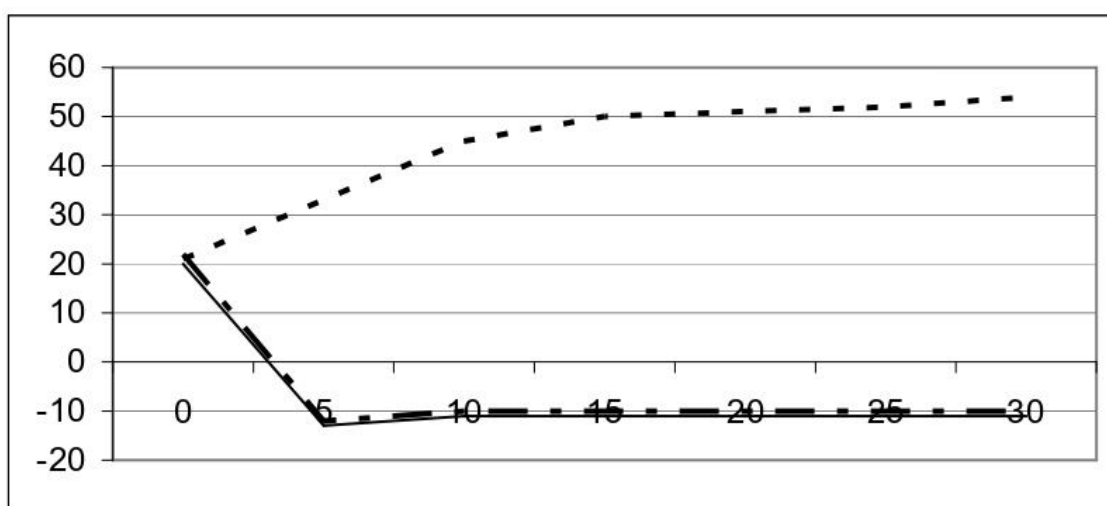


Рисунок 2.4 – Графік залежності температури від часу при незавантаженій холодильній камері при звуженому діапазоні вимірювань

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані при стандартному діапазоні при

повному завантаженні регулювання температури.

$t, \text{хв}$	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$
0	20	22	32
5	-5	-1	36
10	-7	-3	40
15	-8	-5	44
20	-9	-7	48
25	-10	-7	52
30	-10	-8	59

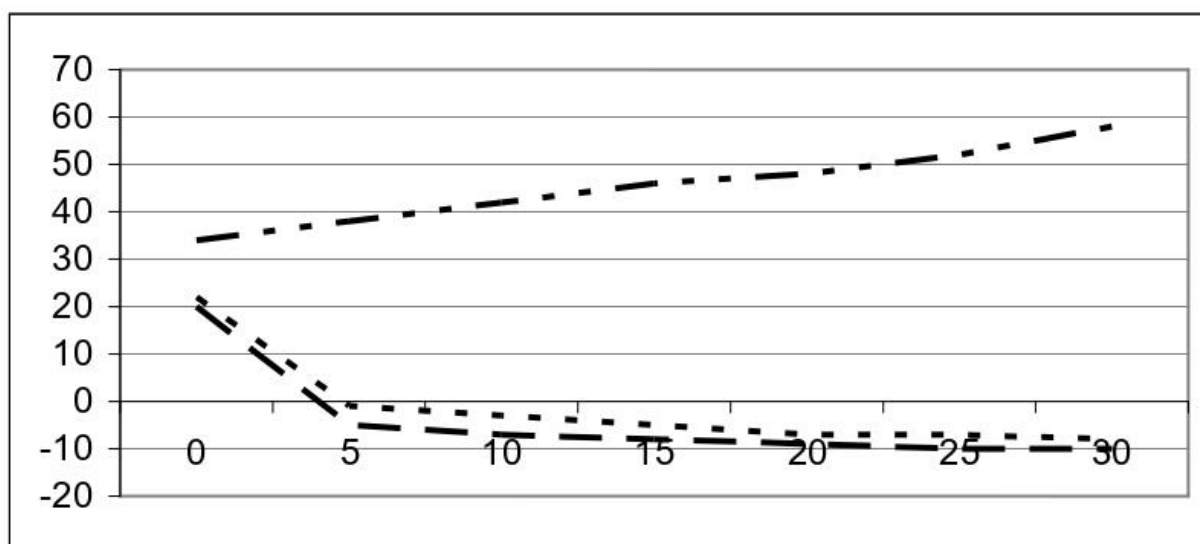


Рисунок 2.5 – Графік залежності температури від часу при повному завантаженні холодильної камери при нормальному діапазоні вимірювань

Таблиця 2.4 – Експериментальні дані при стандартному при повному завантаженні діапазоні регулювання температури.

t, хв	T <sub>1</sub> , °C	T <sub>2</sub> , °C	T <sub>3</sub> , °C
0	20	22	32
5	0	2	36
10	-1	0	40
15	-3	-2	44
20	-5	-3	48
25	-7	-4	52
30	-7	-5	59

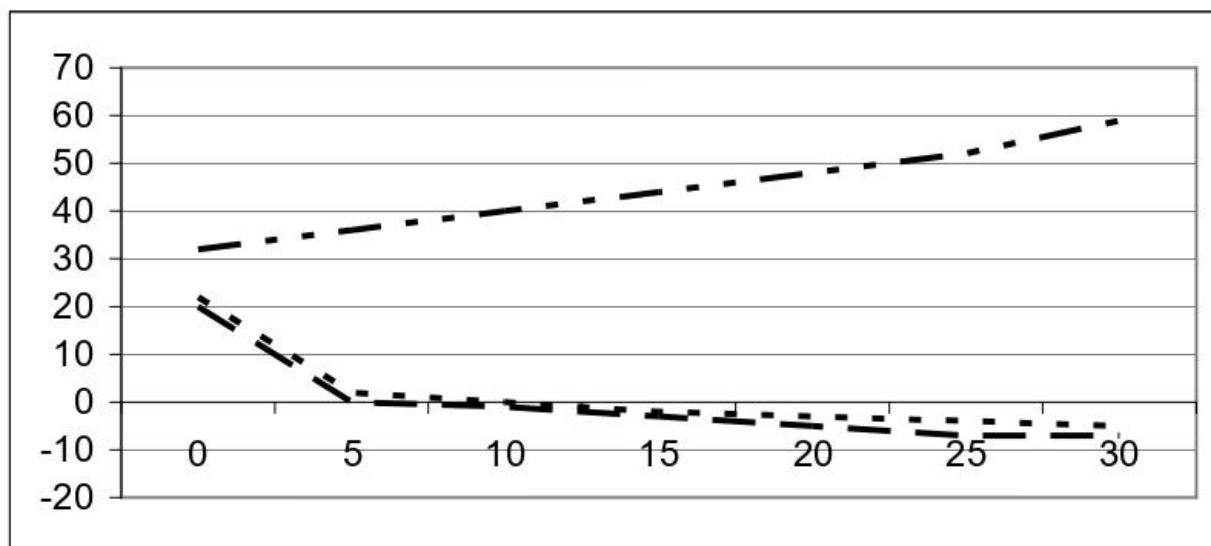


Рисунок 2.6 – Графік залежності температури від часу при повному завантаженні холодильної камери при нормальному діапазоні вимірювань

Як видно із рисунка 2.7 та таблиці 2.5 швидкість охолодження води в циліндричній посудині термоізолюваної пінопластом значно відрізняється від швидкості охолодження води в циліндричній посудині без ізоляції.

Так, час охолодження води від 20°C до 0°C становить в циліндричній посудині з пінопластовою ізоляцією 162 хвилини, а води в посудині без ізоляції 117 хвилин.

Слід відмітити, що повітря в камері охолодження охолоджується від 20°C до 0°C за 17,5 хвилин.

Таблиця 2.5 – Результати дослідів при охолодженні в різних умовах.

t, хв	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
T <sub>1</sub> , °C	21	18	10	3	-3	0,5	-3,2	0	-5	-2	
T <sub>2</sub> , °C	24	23	20,5	19	18	16,5	15	14,5	13,5	13	
T <sub>3</sub> , °C	21	20,5	20,3	20	19,5	19	18,5	18,3	18	17,6	
T <sub>4</sub> , °C	22	21,5	21,4	21	19	16,5	14	13	9,5	8,5	
T <sub>5</sub> , °C	21,5	21	20,9	20,3	20	18,5	18	17,3	16	15,5	
t, хв	50	60	70	80	90	100	120	140	160	165	170
T <sub>1</sub> , °C	-6,5	-6,8	-7	-7,2	-7,5	-7,8	-8	-7,8	-11	-13,5	-15,8
T <sub>2</sub> , °C	12	9	8	6	5	4	0	-2	-6,5	-6,7	-6,8
T <sub>3</sub> , °C	16	14	13,5	12	10	9,5	8	5,5	1,5	0	-1
T <sub>4</sub> , °C	7,5	6	4	2,5	1	-0,5	-1	-1,5	-1,8	-2	-2,2
T <sub>5</sub> , °C	15	12,5	12,2	10	9	8,5	7	5,5	3	1	-0,5



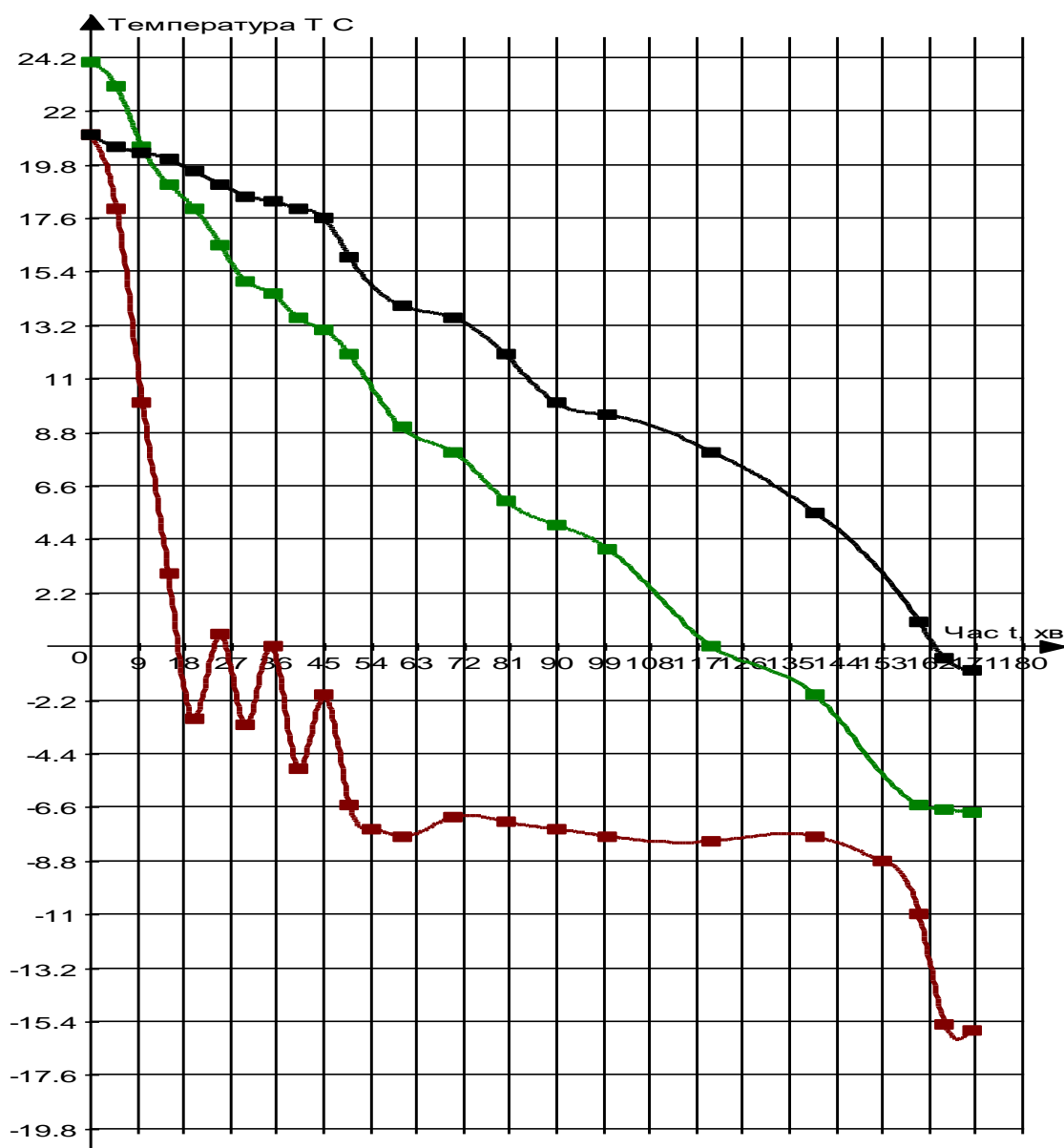


Рисунок 2.7 – Залежність температури від часу при охолодженні в різних умовах

R1 – червоний; R2 – зелений; R3 – чорний.

Як видно із рисунка 2.7 коливання температури повітря внаслідок вмикання-вимикання значно помітні, в той час, як в цьому режимі охолодження води в досліджуваних об'єктах не зважаючи на це триває. Однак ці коливання дещо відбиваються на зміні швидкості охолодження – це видно із зміни нахилу кривої, що свідчить про інерційність

## 2.2 Обробка дослідних даних

Обробку дослідних даних починають з побудови циклу роботи холо­ дильної установки в координатах  $s - T'$ , далі знаходять значення параметрів процесу в усіх вузлових точках. Вузлові точки циклу компресійної холо­ дильної установки знаходять за отриманими результатами досліджень.

На рис. 2.8, а в  $s-T$  - діаграмі зображений теоретичний цикл роботи парової холодильної машини:

1) у процесі 1-2 адиабатно стискується пара холодильного агента, при цьому затрачується робота в компресорі;

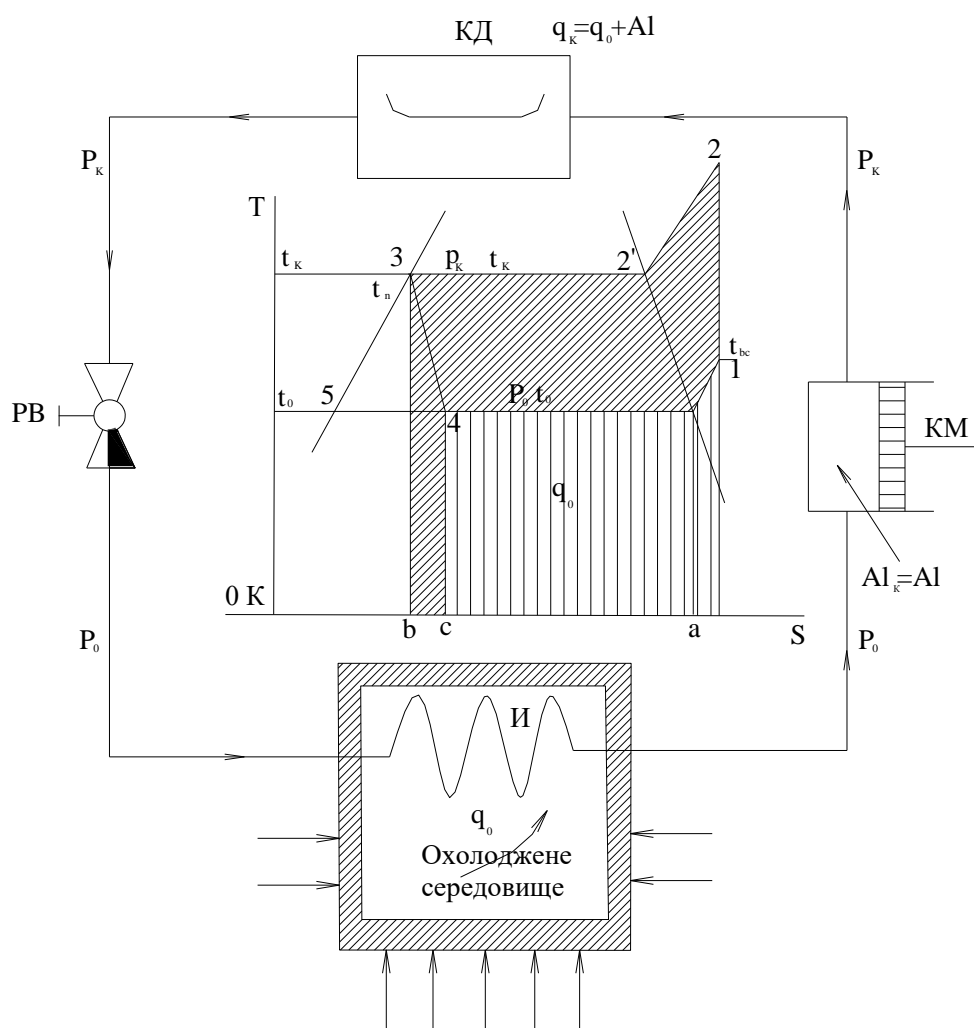


Рисунок 2.8 – Схема парової холодильної машини та її цикл в  $s-T$ -діаграмі

- 2) у процесі 2-3 від холодильного агента виділяється тепло при постійному тиску в конденсаторі (і переохолоджувачі), причому ділянка 2-2'-відвід теплоти перегріву, 2'-3' - конденсація, 3'-3 – переохолодження;
- 3) у процесі 3-4 відбувається дроселювання холодильного агента;
- 4) у процесі 4-1 тепло від охолоджуваного середовища сприймається холодильним агентом при його кипінні у випарнику (процес 4-1') і перегріві (процес 1'-1).

В аміачних холодильних машинах недоцільно застосовувати внутрішній теплообмін, а в машинах, що працюють на фреоні-12, його широко практикують, тому що він економічно вигідний.

Холодопродуктивність 1 кг холодильного агента  $q_0$  в s-T-діаграмі зображена площею c-4-1-a, а тепло  $q_K$ , відведене від холодильного агента в конденсаторі, - площею a-2-3-b.

Роботу  $A_1$ , витрачену в компресорі па здійснення холодильного циклу, виражає площа c-4-1- -2-3-b або рівна їй площа 1-2-3-5-1.

Однак визначати площі незручно, тому при практичних розрахунках підведене й відведене тепло в процесах постійного тиску у випарнику й конденсаторі, а також роботу компресора при адіабатичному стиску вираховують по різниці ентальпій на границях процесу.

Кількість тепла, підведеного до 1 кг холодильного агрегату у випарнику, або масова холодопродуктивності агента в циклі,

$$q_0 = i_1 - i_4 \quad (2.1)$$

Кількість відведеного в конденсаторі тепла

$$q_K = i_2 - i_3 \quad (2.2)$$

Затрачена в компресорі робота

$$A_1 = i_2 - i_1 \quad (2.3)$$

У процесі дроселювання ентальпія залишається сталою, тобто  $i_3 = i_4$ .

В дійсних умовах роботи холодильних машин перегрів пари при тиску  $P_0$  (процес 1'-1) в більшості випадків протікає не у випарнику, а в трубопроводах

(або допоміжних апаратах) на шляху від випарника в компресор. Тоді ефект охолодження дає тільки процес кипіння холодильного агента 4-1', а дійсна холодопродуктивність циклу, тобто холодопродуктивність 1 кг холодильного агента, виражається у вигляді  $q_0 = i_1 - i_4$ .

Цикл парової холодильної машини визначається наступними чотирма температурами: кипіння холодильного агента у випарнику  $T_0$ , конденсації холодильного агента  $T_K$ , переохолодження рідини перед РВ тп пари всмоктуваного в циліндр компресора твс.

### 2.3 Тепловий розрахунок холодильної машини з одноступінчастим компресором

При тепловому розрахунку холодильної машини визначають:

- описуваний поршнем об'єм  $V_h$ , по величині якого підбирають або конструюють компресор ;

- теплове навантаження на конденсатор  $Q_k$  для розрахунку поверхні конденсатора .

- ефективну потужність  $Ne$ , затрачувану на валу компресора, для підбора наступні вихідні дані :

- холодопродуктивність машини  $Q_0$  й використовуваний холодильний агент ;

- умови роботи машини: температура кипіння  $t_0$ , температура конденсації  $t_K$  температура переохолодження  $t_{BC}$  температура усмоктування  $t_{BC}$  .;

Необхідні для розрахунку параметри визначають за допомогою термодинамічних діаграм ( $i - lg p$  або  $s - T$ ) і таблиць насиченої і перегрітої пари для відповідних холодильних агентів.

Нижче наведено тепловий розрахунок одноступінчастої холодильної машини, що працює на фреоні-12, холодопродуктивністю  $Q_0 = 400 \text{ Вт}$  при наступних

умовах роботи:

- температура кипіння  $t_0=20$  °С;
- температура конденсації  $t_k = 30$  °С;
- температура переохолодження  $t_{\Pi} = 20$  °С;
- компресор всмоктує перегріта пара  $t_{BC} = - 5$  °С.

При роботі машини, перегрів пари перед всмоктуванням у компресор протікає в теплообміннику. Тому стан пари, що виходить із випарника, у циклі холодильної машини буде відповідати стану сухої насиченої пари.

Користуючись s-T– діаграмою і таблицями насичених пар фреону-12, встановлюємо параметри, необхідні для розрахунку:

- тиск у випарнику  $p_0 = 0,1513$  МПа = 1,543 кгс/см<sup>2</sup>;
- тиск у конденсаторі  $p_k = 0,7435$  МПа = 7,58 кгс/см<sup>2</sup>;
- ентальпія сухої насиченої пари, що виходить із випарника,  $i_1' = 542,9$  кДж/кг;
- ентальпія засмоктуваної компресором перегрітої пари  $i_1 = 551,9$  кДж/кг;
- ентальпія перегрітої пари наприкінці стиску  $i_2 = 582,6$  кДж/кг;
- ентальпія переохолодженої рідини  $i_3 = i_4 = 419,2$  кДж/кг;
- питомий об'єм перегрітої пари, засмоктуваного компресором,  $v_1 = 0,1167$  м<sup>3</sup>/кг.

Користуючись відповідними формулами, розрахуємо наступні величини:

1. Масову продуктивність холодильного агента

$$q_0 = i_1' - i_4 = 542,9 - 419,2 = 123,7 \text{ кДж/кг}; \quad (2.4)$$

2. Кількість циркулюючого холодильного агента

$$G = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{400}{123,7 \cdot 1000} = 0,00323 \text{ кг/с}; \quad (2.5)$$

3. Об'єм холодильного агента, що входить в циліндр компресора

$$V = Gv_1 = 0,00323 \cdot 0,1167 = 0,000377 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (2.6)$$

4. Коефіцієнт подачі фреонового компресора визначаємо за відповідним

графіком

$$\frac{P_K}{P_0} = \frac{0,7435}{0,151} = 4,9; \lambda = 0,66; \quad (2.7)$$

5. Об'єм, описуваний поршнями компресора,

$$V_h = \frac{V}{\lambda} = \frac{0,000377}{0,66} = 0,00057 \text{ м}^3 / \text{с}. \quad (2.8)$$

По величині  $V_h$  підбираємо компресор. Оскільки в каталозі немає компресора з  $V_h$ , що точно збігається з розрахунковим, приймаємо найближчий більший по об'єму компресор.

Таким чином, для нашого випадку вибираємо компресор ФВБС4. Обсяг описуваного поршнями прийнятого компресора  $V_h = 0,0057 \text{ м}^3 / \text{с}$  при частоті обертання  $n = 16 \text{ об/с}$  і  $Q_{\text{ост}} = 5200 \text{ Вт}$ .

Теоретична потужність, витрачена в компресорі,

$$N_T = G(i_2 - i_1) = 0,00323 \cdot (582,6 - 551,9) = 0,099 \text{ кВт}. \quad (2.9)$$

Індикаторний к. к. д. компресора визначаємо за графіком знаючи відношення  $P_K/P_0$ .

$$\frac{P_K}{P_0} = 4,9, \eta_i = 0,72. \quad (2.10)$$

Індикаторна потужність компресора (потужність, затрачувана у циліндрі компресора) визначаємо із формули:

$$N_i = \frac{N_T}{\eta_i} = \frac{0,099}{0,72} = 0,137 \text{ кВт}. \quad (2.11)$$

Відповідно ефективна потужність компресора (потужність на валу компресора)

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_{\text{MEK}}} = \frac{0,137}{0,8} = 0,17 \text{ кВт}, \quad (2.12)$$

де  $\eta_{\text{MEK}}$  - механічний к. к. д. = 0,8.

Потужність електродвигуна знаходимо із формули:

$$N_{\text{ЕЛ}} = \frac{N_e}{\eta_{\text{П}} \eta_{\text{ЕЛ}}} = \frac{0,17}{0,9} = 0,189 \text{ кВт}, \quad (2.13)$$

де  $\eta_{\text{П}}$  - к. к. д. передачі (у безсальникових компресорах  $\eta_{\text{П}} = 1$ );

$\eta_{EL}$  - к. к. д. електродвигуна ( $\eta_{EL} = 0,9$ ).

При підборі електродвигуна потужність варто підраховувати в режимі максимальної витрати, тобто при співвідношенні  $p_0 = 1/3 p_K$ .

Таблиця 2.6 – Насичені пари фреону-12

t, °C	Абсолютний тиск p, МПа	Об'єм		Ентальпія		Ентропія	
		рідини $\dot{v}$ , л/кг	пари $\dot{v}'$ , м <sup>3</sup> /кг	рідини $i'$ , кДж/кг	пари $i''$ , кДж/кг	рідини $s'$ , кДж/(кг·К)	пари $s''$ , кДж/(кг·К)
-20	0,1513	0,6854	0,1091	381,38	528,9	3,9296	4,5679
-18	0,1634	0,6883	0,1015	383,22	529,84	3,9368	4,5665
-16	0,1763	0,6913	0,0945	385,06	530,78	3,9440	4,5652
-14	0,1899	0,6942	0,0881	386,91	531,72	3,9511	4,5639
-12	0,2044	0,6972	0,0822	388,76	532,76	3,9582	4,5628
-10	0,2196	0,7003	0,0768	390,63	533,60	3,9653	4,5616
-8	0,2357	0,7034	0,0719	392,48	534,54	3,9723	4,5605
-6	0,2526	0,7066	0,0673	394,36	535,48	3,9793	4,5595
-4	0,2705	0,7098	0,0631	396,23	536,42	3,9862	4,5585
-2	0,2893	0,7131	0,0592	398,12	537,36	3,9931	4,5576
0	0,3091	0,7164	0,0556	400,00	538,30	4,0000	4,5567
2	0,3298	0,7198	0,0523	401,90	539,23	4,0069	4,5558
4	0,3516	0,7232	0,0492	403,80	545,72	4,0137	4,5550
6	0,3745	0,7268	0,0463	405,70	546,64	4,0205	4,5543
8	0,3984	0,7303	0,0436	407,62	555,59	4,0272	4,5536
10	0,4235	0,7340	0,0411	409,54	558,17	4,0340	4,5528
12	0,4497	0,7377	0,0388	411,46	559,02	4,0407	4,5516
14	0,4772	0,7415	0,0367	413,38	559,86	4,0473	4,5510
16	0,5058	0,7453	0,0347	415,32	560,69	4,0540	4,5504
18	0,5357	0,7493	0,0328	417,27	561,51	4,0606	4,5498
20	0,5669	0,7533	0,0310	419,22	562,33	4,0672	4,5493

Кількість тепла, від холодильного агента в конденсаторі, тобто теплове навантаження на конденсатор

$$Q_K = G(i_2 - i_3) = 0,00323 \cdot (582,6 - 419,2) = 0,538 \text{ кВт}. \quad (2.14)$$

Теоретично холодильний коефіцієнт або питома теоретична холодо-

продуктивність  $\varepsilon$  дорівнює:

$$\varepsilon_T = \frac{Q_0}{N_T} = \frac{4,0}{0,099} = 40,4. \quad (2.15)$$

А електричний холодильний коефіцієнт:

$$\varepsilon_E = \frac{Q_0}{N_E} = \frac{4,0}{0,189} = 21,2. \quad (2.16)$$

## 2.4 Розрахунок загальних енерговитрат компресійної установки

Загальні енерговитрати холодильної установки складають втрати електроенергії.

Загальні втрати електроенергії за певний час визначають за формулою, кВт×год:

$$P_{об.ен} = P_K + P_{АП} + P_{ТЕМ} + P_{НК} \quad 2.17$$

де  $P_K$  - втрати електроенергії компресором холодильної установки, кВт×год;

$P_{АП}$  – втрати електроенергії в апаратах холодильної установки, кВт×год;

$P_{ТЕМ}$  - втрати електроенергії, що виникають через невідповідність установленого температурного режиму в установці паспортному, кВт×год;

$P_{НК}$  - втрати електроенергії, що виникають через неефективне використання потужності компресорів, кВт×год.

## 2.5 Розрахунок енерговитрат, котрі виникають через неефективне використання потужності компресорів

Енерговитрати додаткові витрати електроенергії компресором, пов'язані з різного роду причинами, що погіршують роботу компресора холодильної машини на протязі певного часу, визначається за формулою, кВт×год:

$$P_K + (N_{П} - N_{Н}) \times \tau_K \quad 2.18$$



де  $N_H$  – потужність, що споживається двигуном компресора, кВт;

$N_H$  – номінальна потужність компресора для заданої холодопродуктивності, кВт;

$\tau_K$  – час роботи компресора за будь-який період – годину, добу, місяць, рік.

Номінальна електрична потужність  $N_H$  (паспортне значення), що необхідна для отримання розрахованої за формулою 2.19., холодопродуктивності при заданих температурах кипіння і конденсації, визначається по діаграмі залежності холодопродуктивності та електричної потужності від температур кипіння і конденсації для кожної конкретної машини.

Холодопродуктивність холодильної установки для даної температури кипіння визначають за формулою, кВт:

$$Q_0 = V_h \times \lambda \times q_v \quad 2.19$$

де  $V_h$  – об'єм, описаний поршнями компресора (вибирається з паспортних даних компресора), м<sup>3</sup>/с.

$$\lambda = f(P_k / P_0)$$

коефіцієнт подачі компресора, що враховує втрати в компресорі (визначається по графіках для даного типу компресорів);

$q_v$  – об'ємна холодопродуктивність, кДж/м<sup>3</sup>.

Об'ємну холодопродуктивність визначають за формулою, кДж/м<sup>3</sup>:

$$q_v = \frac{q_0}{V_{ec}} \quad 2.20$$

де  $q_0$  – питома холодопродуктивність циклу машини, кДж/кг;

$V_{ec}$  – питомай об'єм всмоктуваних парів, м<sup>3</sup>/кг.

Неефективне використання потужності компресорів має місце, коли в номінальному режимі один чи група компресорів працює на групу камер с однаковим режимом, з яких з певних причин значна частина камер відключена, а компресори продовжують працювати в режимі попередньої потужності. У цьому випадку перевитрати електроенергії враховуються пропорційно

потужності, що споживається компресорами, яка знаходиться в прямій залежності від холодопродуктивності, з врахуванням коефіцієнта робочого часу компресорів.

Втрати, що виникають через неефективне використання потужності компресорів, визначають за формулою, кВт×год:

$$P_{нк} = N_{II} \times \left(1 - \frac{\sum Q_{0ki}}{Q_0}\right) \times b \times \tau_k \quad 2.21$$

де  $N_k$  - потужність, що споживається двигуном компресора, кВт;

$Q_{0ki}$  - холодопродуктивність паспортна при даній температурі кипіння, кВт;

$Q_0$  - холодопродуктивність холодильної установки при даній температурі кипіння, кВт;

$b$  – коефіцієнт робочого часу (визначається по журналу);

$\tau_k$  – час роботи насоса компресора за певний період - година, доба, місяць, рік.

Розрахунок енерговитрат компресором холодильної машини можна виконати й іншими методами:

1) По відхиленню робочих параметрів холодильної машини від нормативних значень – використовується при неможливості визначити номінальну (паспортну) потужність компресорів по розрахунковій холодопродуктивності для заданих робочих параметрів через відсутність паспортних даних компресорів. Енерговитрати компресором визначаються за формулою, кВт×год:

$$P_k = \frac{(K_{ne} \times \Delta t_{ne} \times K_k \times \Delta t_k + K_0 \times \Delta t_0 + K_n \times \Delta t_n) \times N_n}{100} \times \tau_k \quad 2.22$$

де  $\Delta t_{ne}, \Delta t_k, \Delta t_0, \Delta t_n$  – відхилення перегріву парів, температури конденсації, температури кипіння і ступеню стиснення від нормативних значень (визначаються як різниця між дійсним та нормативним значенням);

$K_{ne}, K_{\kappa}, K_0, K_n$  – коефіцієнти перевитрат спожитої компресором потужності, %.

2) По фактично виміряній спожитій компресорами потужності,  $N_{\phi}$  і порівнянню її з номінальною, що визначається по розрахунковій холодопродуктивності для заданих (дійсних) робочих параметрів.

Енерговитрати компресором визначаються за формулою, кВт×год:

$$P_{\kappa} = (N_{\phi} - N_n) \times \tau_{\kappa} \quad 2.23$$

### 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Опис експериментальної установки для дослідження енерго-ефективності використання електричної енергії при виробництві штучного холоду

На рисунках 3.1 та 3.2 наведено фото та показано загальний вигляд експериментальної установки для дослідження ефективності використання електричної енергії при виробництві штучного холоду.



Рисунок 3.1 – Фото експериментальної установки

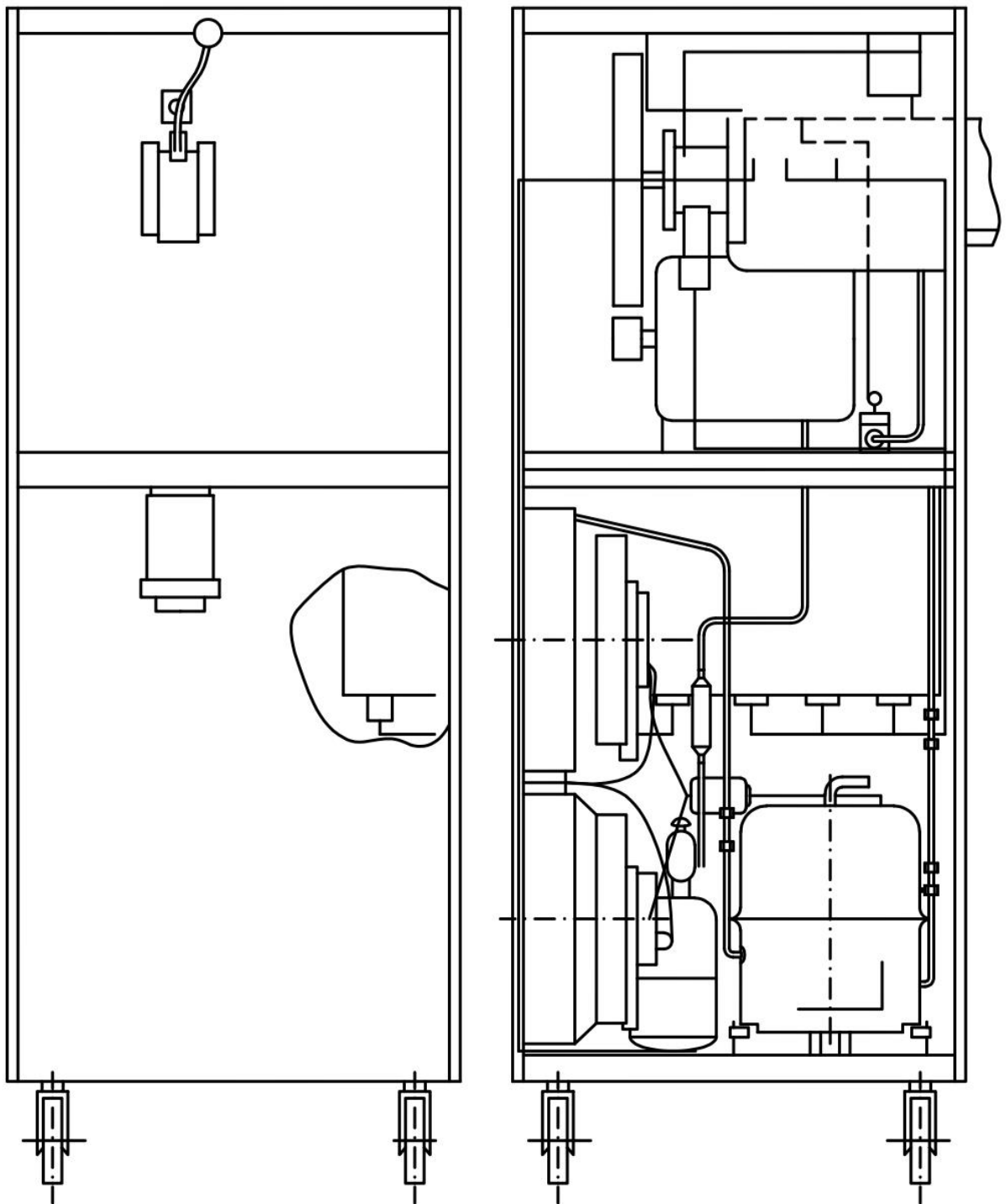


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд експериментальної установки

Перш за все слід зазначити, що споживання електроенергії холодильника чи морозильника залежить від його типу, конструктивного виконання і місткості (об'єму). Для виготовлення лабораторної установки ми використали фрізер для виготовлення морозива який відноситься до групи агрегатів компресійного типу. Загальний вигляд компресорів показано на рисунку 3.3.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика експериментальної установки

Характеристика	Од. вим.	Значення
Встановлена потужність	кВт	3,73
Споживання електричної енергії	кВт·год.	2,6
Габаритні розміри	мм	760×560×1400
Вага	кг	253

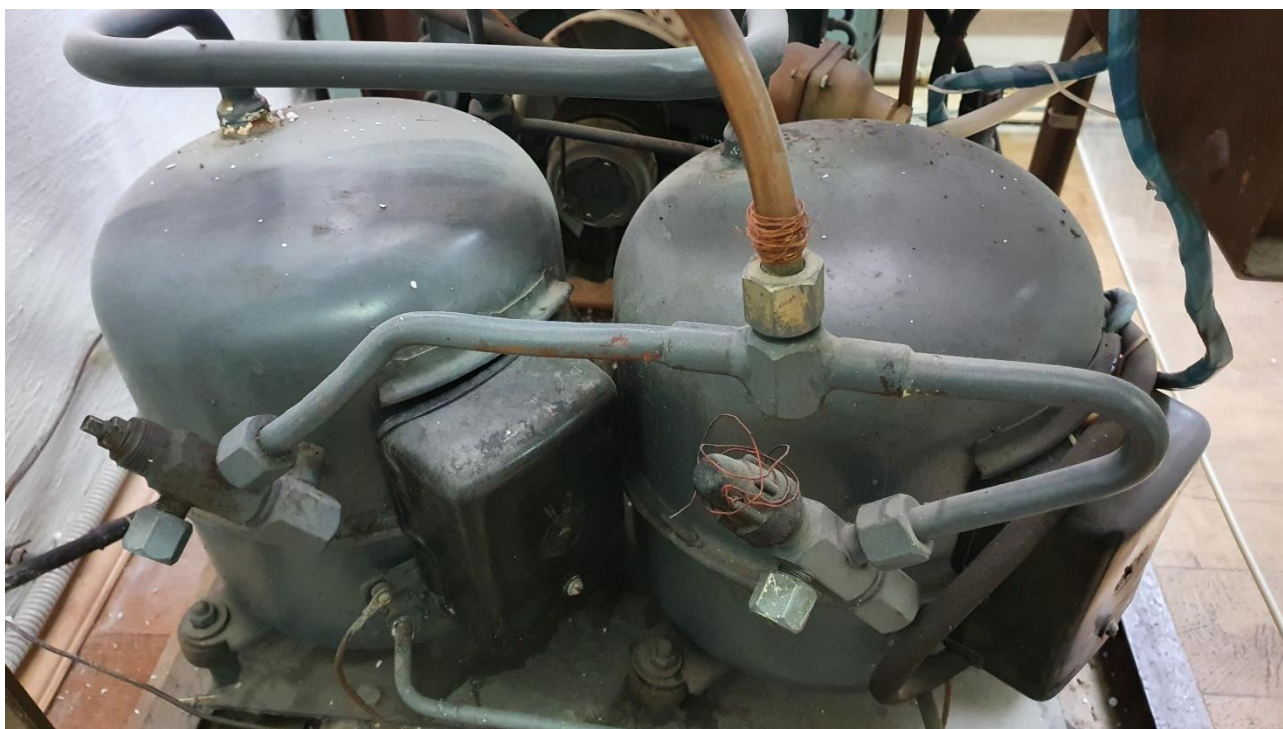


Рисунок 3.3 – Фото компресорів експериментальної установки

У парових холодильних агрегатах робочим тілом є легко киплячі рідини, які при здійсненні циклу міняють агрегатний стан, переходячи з рідини в пару, а з пари знову в рідину. Температура кипіння холодильного агента залежить від тиску, який буде підтримуватися киплячою рідиною. Тепло, необхідне для кипіння, береться від охолоджуваного середовища, створюючи ефект охолодження. Температура конденсації, а отже, і тиск конденсації, залежать в основному від температури середовища, що сприймає тепло конденсації.

Експериментальна установка працює завдяки роботі, що виконується електричним двигуном, що приводить в роботу компресор. Розріз компресора

показано на рисунку 3.4.

Компресор стискає холодоагент (у експериментальній установці це фреон- R 404 A) і забезпечує протікання холодильного циклу.

Електричний двигун в свою чергу живиться електричною енергією від зовнішнього джерела змінного струму напругою 220 В. Таким чином, електрична частина холодильної установки є її найважливішою енергозабезпечуючою частиною.

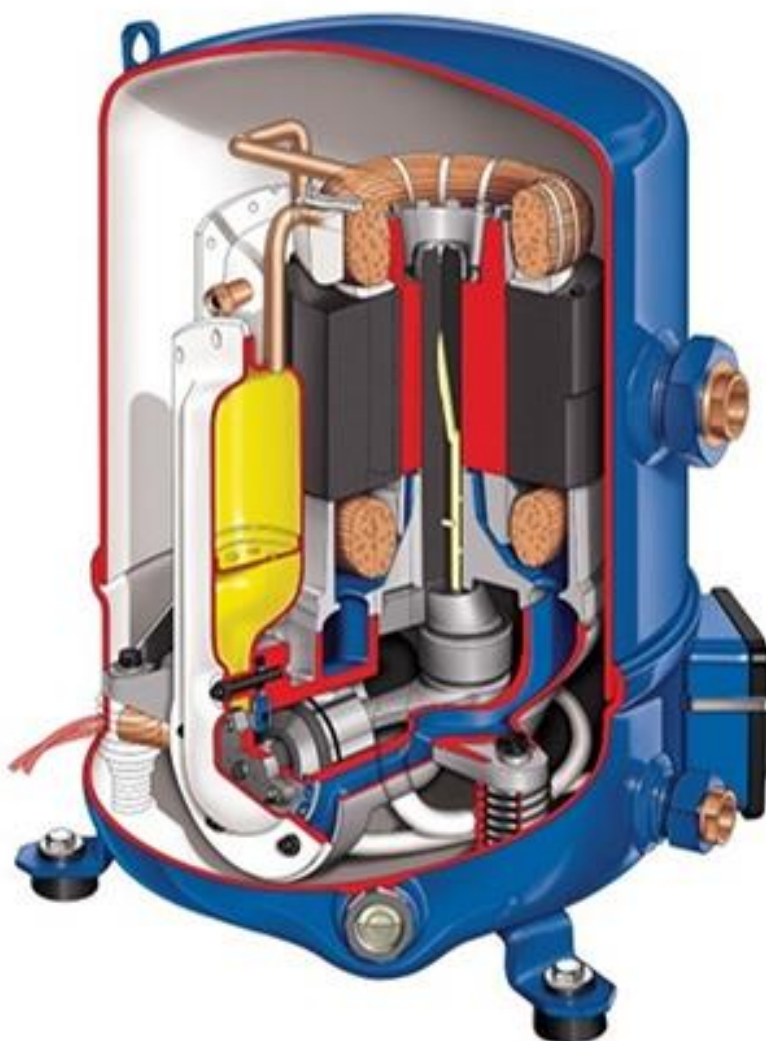


Рисунок 3.4 – Розріз двигуна - компресора



Рисунок 3.5 – Котушка електричного двигуна поршневого компресора

### 3.2 Електрична частина дослідної установки

На рисунку 3.6 наведено принципову електричну схему дослідної установки, що включає ряд реле, що забезпечують заданий режим роботи та сигнальну арматуру.

Схема наведена на рисунку 3.6 працює наступним чином – при подачі напруги на вхідні роз'єми дослідної установки, напруга по провіднику а, через нормально замкнуті контакти реле розморозки, нормальнозамкнуті контакти теплового реле поступає на пускове реле. Пускове реле одночасно виконує функції запуску двигуна і захисту двигуна від перевантажень, що можуть виникнути при несправностях двигуна, при залипанні контактів пускового реле, при недостатній напрузі мережі для запуску електродвигуна.

Коло далі замикається через контакти теплового захисту, нагрівач, реле струму, робочу обмотку асинхронного двигуна. Пускове реле працює наступним чином. В момент включення при загальмованому роторі через робочу обмотку проходить струм, який в 5 разів перевищує номінальний. При цьому спрацьовує реле струму і замикаються контакти, які подають напругу на пускову обмотку цього ж двигуна.





понижується. Коли температура зменшується до рівня, встановленого на реле температурного регулятора, його контакти розмикаються. В результаті коло розривається, і двигун зупиняється. Із часом, в залежності від умов( в першу чергу температури оточуючого середовища) температура в камері почне збільшуватись, і при температурі, що відповідає рівню замикання контактів реле температурного регулятора, цикл роботи електричної частини установки буде повторюватись.

### 3.3 Схема для вимірювання температури досліджуваних об'єктів

На рисунку 3.7 наведена схема, яка використовується при вивченні теплових процесів, що відбуваються при нагріванні та охолодженні досліджуваних об'єктів.

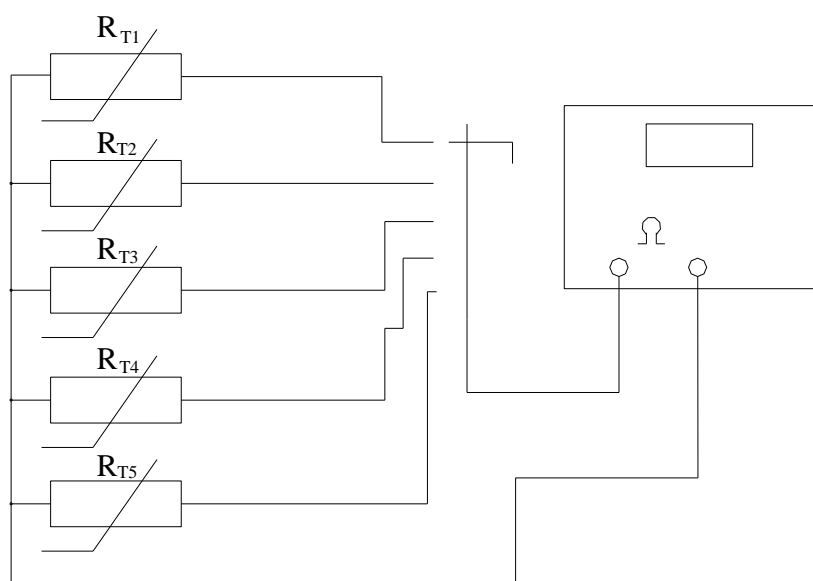


Рисунок 3.7 – Схема вимірювання температури

Ними можуть бути як певні деталі холодильної установки, так і охолоджені в холодильній камері конструкції або, наприклад, досліджувані зразки.

Для вимірювання застосовуються цифрові термометри типу ТО – Ц024 –10 та універсальні мультиметри типу Digital Tech DT838. Загальний вигляд яких

наведено на рисунках 3.8 та 3.9.

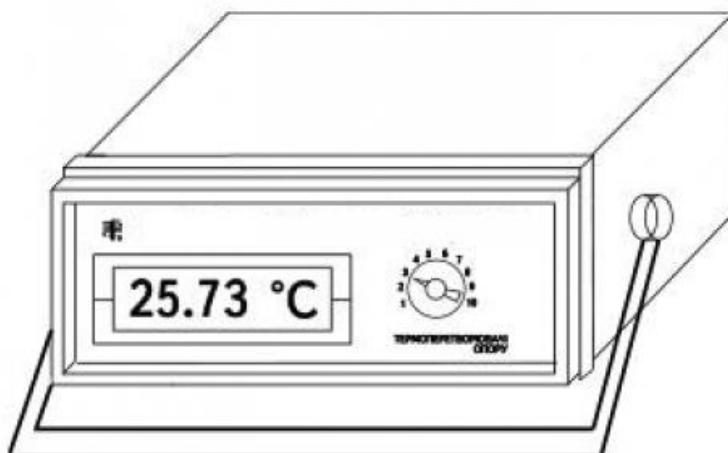


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд цифрового термометра ТО – Ц024 –10

Комутація термоперетворювачів у цифрового термометра здійснюється з допомогою галетного перемикача, що має декілька положень. Кожному термоперетворювачу відповідає певне положення перемикача.



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд цифрового мультиметра типу Digital Tech DT838

### 3.4 Принципова схема експериментальної установки

Принципова схема експериментальної установки для дослідження енерго-ефективності використання електричної енергії при виробництві штучного холоду наведена на рис. 3.10.

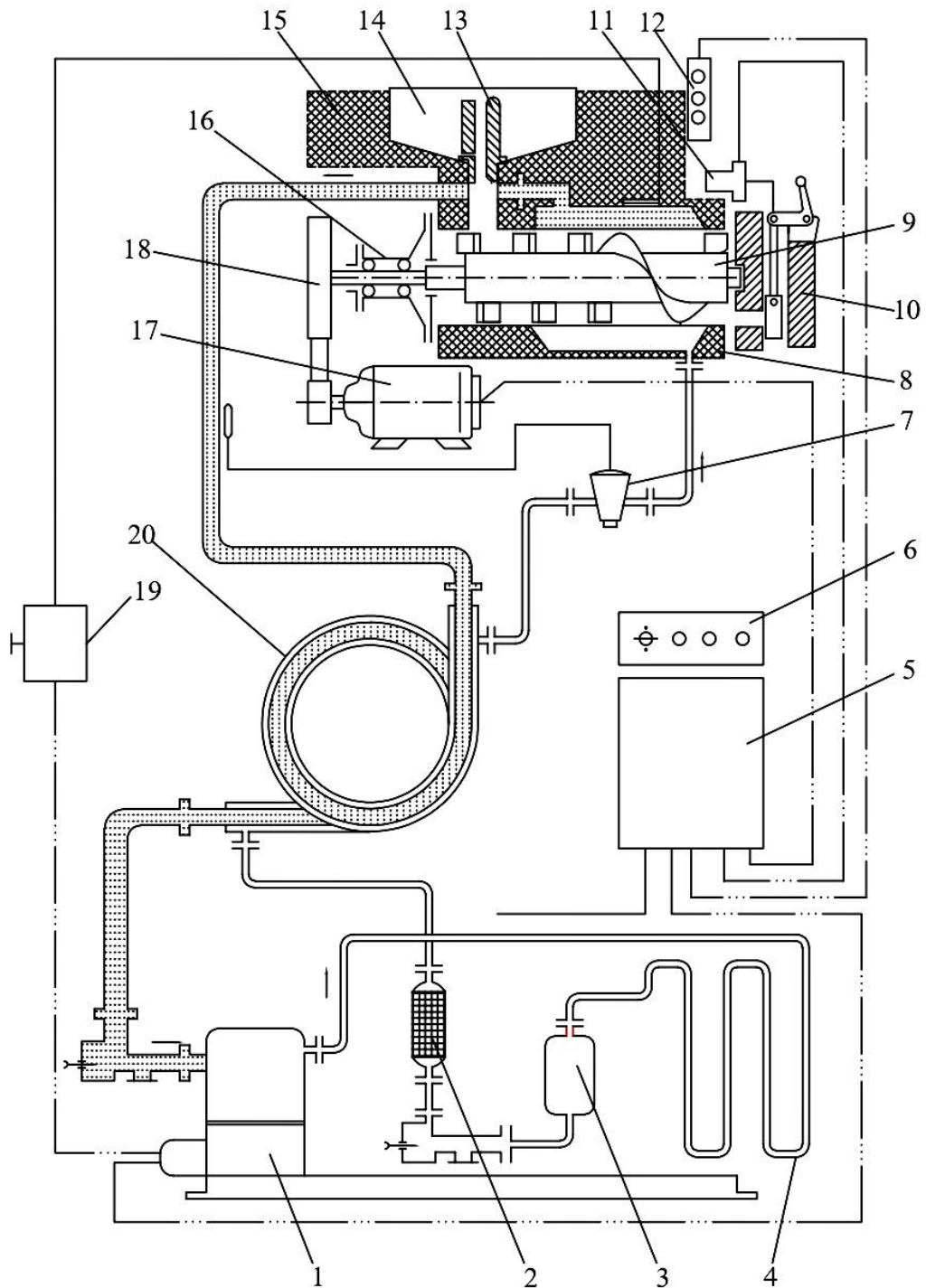


Рисунок 3.10 – Принципова схема експериментальної установки

Експериментальна установка складається з компресора 1, фільтра-осушувача 2, дроселя 3, конденсатора 4 (*ці елементи умовно складають холодильний блок*), блоку електрообладнання 5, блоку управління 6, терморегулюючого вентиля 7, випаровувача 8, мішалки 9, дозатора 10, автомату переключення 11, блоку сигналізації 12, вхідної трубки 13, приймального бункера 14, термоізоляції 15, опору 16, електродвигуна 17, вузла приводу 18, датчика-реле температури 19, теплообмінника 20.

Випаровувач служить для випарювання рідкого холодильного агента при низькій температурі і відповідному тиску. При цьому від охолоджуваного тіла віднімається теплота. Компресор 1 призначений для стиснення пари холодильного агента, який відсмоктується від випаровувача. Конденсатор 4 служить для перетворення стисненої компресором пари холодильного агента в рідкий стан. Теплота, що виділяється при конденсації, переходить до охолоджуючого середовища. Чим вища температура охолоджуючого середовища, тим вища температура конденсації, а відповідно і тиск.

Регулюючий вентиль (дросель) 3 призначений для регулювання подачі рідкого холодильного агента в випаровувач. При протіканні рідини через вузький переріз вентиля проходить дроселювання. В результаті цього переносу тиск рідкого холодильного агента падає від тиску конденсації до тиску випарювання і відповідним зниженням температури (ефект Джоуля-Томсона).

Фреони є хімічно інертні, вибухонебезпечні, негорючі сполуки.

Це малотоксичні рідини з дуже слабким запахом. Фреони вільно проходять через найменші нещільності з'єднань і здатні проникати навіть через пори чавунних злитків.

### **3.5 Вироблення рекомендацій щодо підвищення енергоефективності холодильного обладнання при виробництві штучного холоду за результатами досліджень на базі експериментальної установки**

Результати вимірювань дозволяють визначати параметри енергоефективності роботи холодильних систем в різних режимах роботи. Внаслідок

цього існує можливість вироблення практичних рекомендацій щодо підвищення рівня енергоефективності холодильного обладнання шляхом коригування в тому чи іншому напрямку режимів його експлуатації.

Порівнюючи експлуатаційні характеристики двох подібних холодильних систем, які одержані за результатами експериментальних досліджень за однакових вхідних умов, можна зробити висновок щодо рівня енергоефективності кожного з них.

Порівнюючи експлуатаційні характеристики холодильних систем за різних вхідних умов (витрати теплоносіїв, підведена теплова потужність та ін.), можна зробити ті чи інші практичні висновки і запропонувати рекомендації щодо режимів роботи, які забезпечують максимально можливу енергоефективність.

### **3.6. Висновки до розділу 3**

1. Дано опис експериментальної установки, яка розроблена в рамках магістерської роботи і призначена для дослідження енергоефективності використання електричної енергії при виробництві штучного холоду.

2. Запропоновано зміст циклу експериментів, які можуть бути проведені на базі експериментальної установки. Результати цих експериментів та подальшої їх обробки дадуть змогу вибирати найкращі з огляду енергетичної ефективності режими роботи холодильних систем при якому споживається електричної енергії буде мінімальним.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Правила техніки безпеки при експлуатації обладнання, що проектується**

Робота щодо забезпечення безпечної експлуатації ЕУ здійснюється згідно з обов'язковими, для всіх споживачів електроенергії, незалежно від їх відомчої приналежності, правилами технічної експлуатації ЕУ споживачів та правилами техніки безпеки при експлуатації ЕУ споживачів. Обслуговування діючих ЕУ, проведення в них оперативних переключень, організація та виконання ремонтних, монтажних, налагоджувальних робіт і випробувань здійснюються спеціально підготовленим електротехнічним персоналом.

Роботи в діючих ЕУ з врахуванням заходів безпеки поділяються на виконувані: зі зняттям напруги, без зняття напруги на струмоведучих частинах і поблизу них, без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, котрі знаходяться під напругою. До робіт, виконуваних зі зняттям напруги, відносяться роботи, котрі виконуються в ЕУ, в котрій зі всіх струмоведучих частин знята напруга. До робіт, виконуваних без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них, відносяться роботи, котрі проводяться безпосередньо на цих частинах.

Роботою без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, вважається робота, при котрій виключається випадкове наближення працюючих людей та використовуваного ними ремонтного обладнання і інструменту до струмоведучих частин на віддаль менше встановленої і не вимагається вживання технічних або організаційних заходів (безперервного нагляду) для запобігання такому наближенню. При виконанні робіт зі зняттям напруги та без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них повинні виконуватись організаційні та технічні заходи.

До організаційних заходів відносяться:

- 1) оформлення роботи по наряді-допуску, розпорядженню або за переліком робіт, виконуваних в порядку поточної експлуатації;

- 2) допуск до роботи;
- 3) нагляд під час роботи;
- 4) оформлення перерви під час роботи;
- 5) переводи на інше робоче місце.

Наряд-допуск - це завдання на безпечне виконання роботи, оформлене на спеціальному бланку встановленої форми. Він визначає зміст, місце виконання роботи, час її початку та закінчення, умови її безпечного виконання, склад бригади та осіб, відповідальних за безпечне виконання роботи. Відповідальними за безпечне виконання робіт є: особа, що видала наряд; котра дає розпорядження; особа, що допускає до роботи; керівник роботи; виконавець роботи; спостережник; член бригади.

Всі роботи, котрі виконуються в ЕУ без наряду, виконуються:

- 1) за розпорядженням осіб, уповноважених на це, з оформленням в оперативному журналі;
- 2) в порядку поточної експлуатації з подальшим записом в оперативному журналі.

Розпорядження - це завдання на виконання роботи, що визначає її зміст, місце, час, заходи безпеки. Воно має разовий характер, видається на один вид роботи і діє протягом однієї зміни.

За розпорядженням можуть виконуватись:

- а) позапланові роботи, викликані виробничою необхідністю, тривалістю до 1 год.;
- б) роботи без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, котрі знаходяться під напругою, тривалістю не більше однієї зміни;
- в) роботи зі зняттям напруги з електроустановок напругою до 1000 В тривалістю не більше однієї зміни.

Поточна експлуатація - це проведення оперативним персоналом самостійно на закріпленій за ним ділянці протягом однієї зміни робіт за спеціальним переліком.

До організаційних заходів в цьому випадку відноситься складання,



відповідальним за електрогосподарство, переліку робіт стосовно конкретних умов.

До технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт, виконуваних зі зняттям напруги, відносяться:

- 1) необхідні вимкнення та вжиття заходів, котрі запобігають подачі напруги до місця роботи внаслідок помилкового або довільного ввімкнення комутаційної апаратури;
- 2) вивішування на приводах ручного та на ключах дистанційного керування комунікаційної апаратури (автомати, рубильники, вимикачі) забороняючих плакатів;
- 3) перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах;
- 4) накладання заземлення;
- 5) вивішування попереджувальних та приписувальних плакатів, огороження, при необхідності, робочих місць та струмоведучих частин, які залишилися під напругою.

#### **4.2 Правила безпеки при експлуатації компресорних та холодильних установок**

Вибухи при роботі компресорів можуть відбуватися внаслідок перевищення тиску стисненого повітря, підвищення його температури при стисненні та утворення вибухонебезпечних сумішей кисню з продуктами розкладу мастил, а також при порушенні вимог безпеки в процесі обслуговування, експлуатації та догляду за технічним станом компресорів. Вони призводять до руйнування обладнання, будівлі, а також можуть призвести до травмування обслуговуючого персоналу.

Холодильні установки небезпечні, тому що холодоагенти, які використовуються в них, можуть спричинити отруєння, а суміш холодоагента із повітрям може бути вибухонебезпечною.

Для безаварійної експлуатації компресорних і холодильних установок необхідно суворо дотримуватися правил безпеки.

Компресорні установки є небезпечними, тому що при стисненні повітря від атмосферного тиску до 1 МПа його температура може підвищитись з 20°C до 300°C, мастила при цьому частково випаровуються, а при надмірному змащуванні розпилюються у вигляді туману, що може утворювати вибухонебезпечну суміш з повітрям. Дотримання вимог до мастил та режимів змащування у поєднанні з надійним охолодженням є основним заходом попередження вибухів парів мастила при його розкладі. У компресорах низького тиску і малої продуктивності достатньо повітряного охолодження, а в інших необхідно застосовувати водяне охолодження.

Кожна компресорна установка повинна бути оснащена системою автоматики та контролю, арматурою, манометрами, запобіжними клапанами, термометрами і термопарами, контактними пристроями та іншими приладами контролю, що забезпечують її надійну і безаварійну роботу. Компресори продуктивністю біля 50 м<sup>3</sup> мають бути обладнані пристроями для автоматичного регулювання тиску нагнітання.

Компресорні станції з трьома і більше компресорами обладнуються системою дистанційного контролю, сигналізацією роботи установок і блокуючими пристроями, які автоматично вимикають привод компресора при перевищенні температури і тиску стисненого повітря та температури води, що надходить з компресора після охолодження.

Вибухи та аварії холодильних установок інколи трапляються внаслідок гідравлічного удару, відмови запобіжних пристроїв і розриву нагнітального трубопроводу чи балонів з холодильним агентом та витоку холодоагента (аміаку або фреону) крізь нещільні з'єднання. Аміак утворює з повітрям вибухонебезпечну суміш, що особливо небезпечно при ремонтних роботах з відкритим полум'ям. Газоподібний аміак токсичний, його граничнодопустима концентрація у повітрі робочої зони дорівнює 20 мг/м<sup>3</sup>. Рідкий аміак викликає тяжкі опіки шкіри та опіки очей, що може призвести до сліпоты.

Компресори, як правило, слід розміщувати в окремих одноповерхових будівлях. Допускається розміщення компресорів продуктивністю до  $20 \text{ м}^3/\text{хв}$  у прилягаючих приміщеннях за умови відокремлення від суміжних приміщень перегородкою, висотою не менше як 3 м і товщиною не менше ніж 12,5 см. Окремі компресори продуктивністю до  $10 \text{ м}^3/\text{хв}$  можуть встановлюватися на нижніх поверхах багатоповерхових виробничих будівель за умови їх відокремлення глухими вогнестійкими стінами.

Аміачні холодильні установки розміщують з дотриманням протипожежних норм. Машинне й апаратне відділення холодильних установок не слід з'єднувати проходом з виробничими приміщеннями. Вони обладнуються проточною вентиляцією з підігрівом повітря у холодний період року, яка забезпечує двократний повітрообмін, аварійною вентиляцією, аварійним освітленням та двома евакуаційними виходами.

### **4.3 Безпека експлуатації компресорних установок**

Заводські стаціонарні компресорні установки розташовуються в окремій будівлі або приміщенні загального виробничого будівлі, званому компресорним цехом або просто компресорної.

Для організації ремонтно-відновлювальних робіт підприємства можуть мати пересувні і переносні компресорні установки.

Всі вимоги до роботи, обслуговування, ремонту, безпеки праці в основному однакові як для магістральних, так і для заводських компресорних установок, з урахуванням специфіки властивостей перекачуваних газів, що відбивається у відповідній технічній документації, що додається до кожної компресорної установки.

Кожна компресорна установка оснащується автоматичною системою, яка виконує такі функції:

- контроль параметрів робочих тіл за приладами, встановленими на переобраним щиті в машинному залі і за місцем вимірювання;

- запис основних параметрів на диспетчерському пульті (щиті) управління компресора;
- світлова та звукова сигналізація про відхилення основних параметрів від номінальних (робочих) значень;
- дистанційне керування запірною арматурою газо- і водогону великих діаметрів з місцевого щита управління компресора;
- введення в дію захисних блокувань, що запобігають пуск і зупиняють приводний електродвигун компресора в випадках порушення пускового і робочого регламентів.

Сучасні компресорні установки, як правило, оснащуються системою програмного пуску і зупинки компресора. Для контролю за режимом компресора встановлені манометри і термометри

на лініях всмоктування і нагнітальної, а також після кожного ступеня. Для контролю продуктивності компресора на всмоктуючій лінії знаходиться витратомірний пристрій, а для контролю за роботою холодильника - термометр.

У разі примусового змащення механізму руху для кожної компресорної установки служить система змащення, що складається з насоса (зазвичай в картері компресора), трубопроводів, фільтрів, охолоджувачів масла, манометра і термометра, який контролює режим мастила.

Для компресорів з водяним охолодженням невід'ємною частиною є трубопроводи, що підводять і відводять воду, запірні пристрої для розподілу цієї води по циліндрах і охолоджувачах і зливні воронки з ліхтарями для контролю кількості охолоджувальної води. Зазвичай число зливних трубопроводів дорівнює кількості об'єктів охолодження.

Складальні одиниці і деталі компресорного устаткування, що стикаються з агресивним середовищем, повинні мати антикорозійний захист або бути виготовленими з корозійностійких матеріалів.

Компресорні установки можуть бути стаціонарні і пересувні.

**Стаціонарні компресорні установки** є частиною устаткування, що становить окремий технологічний процес, або можуть бути в складі машинних

відділень або цехів для централізованого обслуговування цілого виробництва (відділення компримування для систем газовиділення, холодильне відділення, цех стисненого повітря для забезпечення роботи автоматики і контрольно-вимірювальних приладів).

*Пересувні станції* постачають стисненим повітрям установки, зайняті на земляних, будівельних та монтажних роботах. Пересувні станції можуть бути автономними з приводом від двигуна внутрішнього згоряння, а також харчуватися від електродвигуна через тимчасові електропередачі.

Вимоги безпеки, що пред'являються до конструкції компресорного устаткування і правильної його експлуатації, визначені в [22, 23], і низці інших нормативних документів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У відповідності з метою роботи були вирішені задачі дослідження та одержані наступні результати:

1. Встановлено, що навіть незначне підвищення ефективності споживання та виробництва штучного холоду може призвести до суттєвого скорочення обсягів споживання електричної енергії що є актуальною і важливою науково-прикладною проблемою. Вирішення даної задачі призведе до зменшення витрат палива, енергії і матеріальних ресурсів та поліпшення якості енергоносіїв, що відпускаються споживачам.

2. Доведено, що споживання електричної енергії є важливим параметром роботи холодильного обладнання і визначає його ефективність.

3. На базі холодильного фрізера було розроблено експериментальну установку (у вигляді лабораторного стенду), яка призначена для дослідження енергоефективності використання електричної енергії при виробництві штучного холоду.

4. Запропоновано зміст циклу експериментів, які можуть бути проведені на базі експериментальної установки. Результати цих експериментів та подальша їх обробка дозволить вибирати найкращі з огляду енергетичної ефективності режими роботи холодильних систем при яких споживається електричної енергії буде мінімальною.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тарасенко М.Г., Зінь М.М., Підгайний Ю.Б. Шляхи прискорення темпів розвитку малої гідроенергетики в Україні / Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, 2014, Вип. 4, Сс. 56–61.
2. Тарасенко М.Г., Зінь М.М., Підгайний Ю.Б. Переваги і проблеми кількісного розвитку малої гідроенергетики та шляхи їх розв’язання / Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, 2014, Вип. 2, Сс. 31–39.
3. Зінь М.М., Підгайний Ю.Б. Сучасні тенденції розвитку малих ГЕС в Україні / Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, м. Тернопіль, В-во ТНТУ, 2020, С. 203.1. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. - М., Энергоиздат, 1981, 320 с.
4. Малыгина Е.В., Малыгин Ю.В. Холодильные машины и установки. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 608 с.
5. Холодильные установки. Проектирование/ И.Г. Чумак, В.П. Чепуренко, А.Е. Лагутин и др. – Одесса: Рефпринтинфо, 2005. – 479 с.
6. Кондрашова Н.Г., Лашутина Н.Г. Холодильно-компрессорные машины и установки. Учебник для машиностроительных техникумов. – М.: Высш. школа, 1973. – 384 с.
7. Пособие для ремонтника. Практическое руководство по ремонту холодильных установок с конденсаторами воздушного охлаждения. Перевод с французского. ЗАО “ОСТРОВ”, 2000, 340 с.
8. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. Учебное пособие для вузов. - М., Машиностроение, 1972, 672 с.
9. Новиков И.И., Воскресенский К.Д. Прикладная термодинамика и

теплопередача. - М., Атомиздат, 1977, 352 с.

10. Говертон М.Т. Термодинамика для инженеров. Перевод с английского. - М., Metallurgia, 1966, 328 с.

11. Гухман А.А. Об основах термодинамики. - М. Энергоатомиздат, 1986, 384 с.

12. Фен Дж. Машины, энергия, энтропия. Перевод с английского. М., - Мир, 1986, 336 с.

13. В. Томсон-Кельвин. О динамической теории теплоты с численными выводами, полученными на основе Джоулевского эквивалента тепловой единицы и наблюдений Реньо над водяными парами. Сборник работ: Второе начало термодинамики. - М., Государственное технико-теоретическое издательство, 1934, 312 с.

14. Проценко А.Н. Энергия будущего. М., Молодая гвардия, 1985, 222 с.

15. Кубо Р. Термодинамика. Современный курс с задачами и решениями. - М., Мир, 1970, 304 с.

16. В. Маке, Г.-Ю. Эккерт, Ж.-Л. Кошпен. Учебник по холодильной технике. Перевод с французского. – М., Ордена “Знак Почета” издательство Московского университета, 1998, 1142 с.

17. Техническая термодинамика: Учебник для вузов/ Под ред. В.И. Крутова – М., Высш. шк., 1981, 439 с.

18. С. Карно. Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу. Сборник работ: Второе начало термодинамики. - М., Государственное технико-теоретическое издательство, 1934, 312 с.

19. Р. Клаузиус. Механическая теория тепла. Сборник работ: Второе начало термодинамики. - М., Государственное технико-теоретическое издательство, 1934, 312 с.

20. Нащекин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М. Высш. шк., 1975, 496 с.

21. Мартынов А.В. Установки для трансформации тепла и охлаждения. Сборник задач. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 200 с.



22. Бородянский В.М. Эксергический метод термодинамического анализа. М.: Энергия, 1973. – 296 с.
23. Явнель Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. –М.: Агропромиздат,1989. – 223 с.
24. Нимич Г.В., Михайлов В.А., Бондарь Е.С. Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха. – К.: ТОВ “Видавничий будинок”, 2003. - 630 с.
25. Проблеми вибору холодильних агентів. Холод, 2007, №2, с. 24-27.
26. Бранд Э. Конец эры хлорфторуглеродов. - Химические технологии, 1994, № 11, с.12-14.
27. Бабакин Б.С., Стефанчук В.И., Ковтун Е.Е. Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе. – М.: Колос, 2000. – 160 с.
28. Изучающим основы холодильной техники./ Под общей редакцией Л.Д. Акимовой. – М.: Холодильная техника, 1996. – 141 с.
29. Маринюк Б.Т., Овчаренко В.С. Энергетические аспекты применения холодильного агента R404A. - Холодильный бизнес, 2002, № 6, с. 26-28.
30. Жадин Е.А. Озоновые дыры: новый взгляд. - Экология и жизнь, 1999, №4, с. 41-43.
31. Соловьянов А.А. Озоновый кризис и Монреальский протокол. В сб.: Россия в окружающем мире. - М., Изд-во МНЭПУ, 1998, с. 67-81.
32. Железний В.П. Холодоагенти, їхні властивості і застосування. – Холод, 2005, № 2, с. 10-.15, № 3, с.14-20.
33. Белозеров Г.А., Медникова Н.М., Пытченко В.П. Анализ промышленной безопасности систем холодоснабжения действующих предприятий АПК и возможные пути их реконструкции. - Холодильная техника, 2006, № 8, с. 23-27.