

Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет  
Кафедра кріогенної техніки



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**На тему: «Розробка комплексної холодильної установки середньої продуктивності з змінним тепловим навантаженням головного технологічного процесу»**

Здобувача Авер'янова І.А.  
(прізвище, ініціали)

4 курсу ЕНСК-141 групи

Керівник проф. Морозюк Л.І.  
(посада, прізвище та ініціали)

Консультант Соколовська-Єфименко В.В.  
(посада, прізвище та ініціали)

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ р., протокол № \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри КТ \_\_\_\_\_ **Юрій Симоненко**

Одеса - 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕХНІКИ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ МЕХАНІКИ

Кафедра Кріогенної техніки  
Ступінь вищої освіти бакалавр  
Спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування»  
Освітня програма «Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри КТ**

д.т.н., проф. Симоненко Ю.М

«\_\_» \_\_ 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Авер'янова Ігора Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Розробка комплексної холодильної установки середньої продуктивності з змінним тепловим навантаженням головного технологічного процесу

керівник роботи

д.т.н., доц. Морозюк Лариса Іванівна

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

затверджені наказом вищого навчального закладу

від 26 серпня 2022 року № 490-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи

1 червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи:

Температурні режими роботи машини: конденсація у межах 35°C. кипіння у межах -15°C.

Типи устаткування: компресор поршневий, конденсатор повітряний, кожухотрубний випарник для охолодження проміжного холодоносія.

Холодопродуктивність у межах 50 - 100 кВт. Робоча речовина R290

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

Аналітична частина. Загальна характеристика комплексних холодильних машин. Види комплексних холодильних машин. Застосування комплексних холодильних машин. Класифікація комплексних холодильних машин. Комплексні холодильні машини за типом компресора та конденсатора. Світовий ринок комплексних холодильних машин. Формування технологічної схеми машини. Принципова технологічна схема холодильної машини. Тепловий розрахунок компресору. Розрахунок кожухотрубного випарника. Розрахунок повітряного конденсатора с пластинчастим оребренням. Розрахунок допоміжного обладнання. Техніка безпеки та технічне обслуговування обладнання з холодоагентом R290. Економічні показники розробки. Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу:

Презентація Power Point (10 слайдів)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	доц. Соколовська-Єфименко В.В.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 02.02.2023 \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_ проф.Морозюк Л.І.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Авер'янов І. А.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення технічного завдання	5 днів	
2	Огляд і вивчення літератури	14днів	
3	Розробка технологічної схеми машини	12 дні	
4	Адаптація розрахункових методів до практичного застосування	10 днів	
5	Виконання розрахунків елементів машини	15 днів	
6	Розробка графічних моделей	2 дні	
7	Підготовка матеріалів до презентації	2 дні	
8	Оформлення пояснювальної записки	2 дні	
9	Обговорення та затвердження результатів роботи	2 дні	
10	Підготовка матеріалів роботи до захисту	2 дні	

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_  
( підпис )

Авер'янов І.А.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис )

Лариса МОРОЗІЮК  
(прізвище та ініціали)

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

*Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчинності*

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_  
Авер'янов І.А.  
(ПІБ)

\_\_\_\_\_  
( підпис )

## АНОТАЦІЯ

*В холодильній техніці віродилися машини з проміжними холодоносіями, з новими типами теплообмінних апаратів, засновані на конструкторських рішеннях у вигляді комплексних машин. Такі машини здатні задовольнити будь-якого замовника як з огляду холодопродуктивності об'єкту охолодження, так і його температурного режиму. При цьому енергозбереження стає одним з головних чинників, які визначають втілення проекту в реальну машину. Мета і завдання дослідження - спроектувати холодильну машину з проміжним холодоносієм для технологічного процесу, на засадах енергозбереження.*

*Використовуючи дані, наведені в огляді літератури, сформовано технологічну схему холодильної машини. Виконано теплові та конструктивні розрахунки елементів машини. Прийняті рішення базуються на класичних рівняннях термодинаміки та теплопередавання. Оцінено вартість нової машини.*

*Ключові слова: комплексна холодильна машина, характеристики елементів, енергозбереження.*

## SUMMARY

*Refrigeration technology has revived machines with intermediate coolants and new types of heat exchangers based on design solutions in the form of complex machines. Such machines are able to satisfy any customer both in terms of the cooling capacity of the cooling object and its temperature regime. At the same time, energy saving becomes one of the main factors that determine the implementation of the project into a real machine. The aim and objectives of the study are to design a refrigeration machine with an intermediate coolant for the technological process, based on the principles of energy saving.*

*Using the data presented in the literature review, a technological scheme of the refrigeration machine was formed. The thermal and structural calculations of the machine elements were performed. The decisions made are based on the classical equations of thermodynamics and heat transfer. The cost of the new machine is estimated.*

*Keywords: complex refrigeration machine, characteristics of elements, energy saving.*

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1. Аналітична частина.....	6
1.1 Комплексні холодильні машини. Загальні характеристики .....	6
1.2 Види комплексних холодильних машин .....	6
1.3 Застосування комплексних холодильних машин .....	7
1.4 Класифікація комплексних холодильних машин .....	8
1.5 Комплексні холодильні машини за типом компресора та конденсатора.....	9
1.6. Світовий ринок комплексних холодильних машин .....	13
1.7. Формування технологічної схеми машини .....	16
1.8 Принципова технологічна схема холодильної машини .....	22
Розділ 2. Теоретична частина.....	25
2.1 Тепловий розрахунок компресору.....	25
2.2 Розрахунок кожухотрубного випарника з кипінням холодоагенту всередині труби .....	29
2.3 Розрахунок повітряного конденсатора с пластинчатим оребренням	
2.4 Розрахунок допоміжного обладнання .....	42
Техніка безпеки та технічне обслуговування обладнання з холодоагентом R290.....	45
Економічні показники розробки .....	55
Висновки .....	57
Перелік посилань.....	59

					<i>КРБ.КТ.1.490-03.2.9</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Авер'янов І.А,			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Морозюк Л.І.				4	59
Реценз.					ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  ФНТІМ, зр. ЕН-СК-141		
Н. Контр.							
Затверд.							

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Підвищення енергетичної ефективності холодильної техніки забезпечується економією всіх видів матеріальних і енергетичних ресурсів, а екологічна безпека - впровадженням нових робочих речовин і малоємних систем з ними. Задовольняючи такі вимоги, в холодильній техніці відродилися машини з проміжними холодоносіями, з новими типами теплообмінних апаратів, засновані на конструкторських рішеннях у вигляді комплексних машин.

На підставі наданої інформації доведено актуальність проектування холодильних машин для конкретних виробництв (конкретних технологічних процесів) з урахуванням енергозбереження.

**Мета і завдання роботи** – спроектувати холодильну машину з проміжним холодоносієм для технологічного процесу на засадах енергозбереження.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити схему машини;
- провести теплові та конструктивні розрахунки елементів машини;
- провести розрахунки основних елементів машини;
- оцінити вартість нової машини.

**Об'єкт дослідження** – холодильна машина з проміжним холодоносієм.

**Предмет дослідження** процеси в елементах холодильної машини.

**Фактологічна основа дослідження** – підручники з холодильної техніки, журнали з холодильної техніки, довідкові матеріали фірм-виробників холодильного обладнання, які розміщені в Інтернеті.

**Структура роботи:** Робота складається з вступу, аналітичної частини, теоретичної частини, списку використаних літературних джерел. Робота викладена на 59 сторінках, містить 20 рисунків, 7 таблиць, список використаної літератури з 16 найменувань.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### **1.1 Комплексні холодильні машини. Загальні характеристики**

Комплексні холодильні машини – це технологічне обладнання, яке використовується для охолодження різних рідин у різних галузях промисловості. Вони працюють на основі циклу оборотної термодинаміки, який дозволяє видаляти тепло з рідин та виводити його за межі системи.

Для реалізації циклу використовуються різні типи холодоагентів, як чисті, так і суміші, синтетичні та природні. Вибір холодоагенту залежить від умов експлуатації, вимог щодо екологічної безпеки та технологічних вимог.

Комплексні холодильні машини для охолодження рідини є важливим елементом у різних галузях промисловості. Вони дозволяють підтримувати певну температуру рідин та продуктів, що є необхідним для збереження їх властивостей та якості. У цьому розділі ми розглянемо детальніше види, класифікацію та застосування комплексних холодильних машин.

### **1.2 Види комплексних холодильних машин**

Існує кілька типів комплексних холодильних машин, які відрізняються своїм термодинамічним циклом, конструкцією обладнання, принципом роботи та сферою застосування. Розглянемо кожен тип докладніше.

*Компресорні системи* базуються та використовують компресори механічної дії і мають головні елементи: компресор, конденсатор повітряний або водяний, випарник з проміжним холодоносієм, регулюючий пристрій. Живлення системи від електрики.

*Абсорбційна система* складається з термохімічного компресора, конденсатора повітряного або водяного, випарника з проміжним холодоносієм, регулюючого пристрїя. Живлення системи від теплової енергії. Робоча речивина – суміші холодоагенту та рідкого абсорбенту.

*Адсорбційні системи* використовують ті ж принципи, що й абсорбційні системи, але використовують тверді матеріали-сорбенти у складі робочої суміші.

*Комбіновані системи:* використовують два або більше різних типів холодильних систем. Наприклад, можна використовувати абсорбційну систему для забезпечення охолодження, яка працює на сонячній енергії, або використовувати компресорну систему для надання додаткового охолодження в разі необхідності.

Холодильні системи з використанням натуральних охолоджуючих рідин забезпечують зменшення впливу на довкілля.

В цілому, існує багато різних видів холодильних систем, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Вибір певної системи залежить від потреб споживача.

### **1.3. Застосування комплексних холодильних машин**

Комплексні компресорні холодильні машини широко використовуються у різних галузях промисловості, включаючи харчову, хімічну, медичну та інші галузі. Ось деякі приклади їх застосування:

#### *Охолодження продуктів харчування*

Комплексні холодильні машини використовуються для охолодження продуктів харчування, таких як м'ясо, риба, фрукти та овочі, щоб зберегти їх свіжість та продовжити термін їх зберігання.

#### *Виробництво лікарських засобів*

Комплексні холодильні машини використовуються для виробництва лікарських препаратів, оскільки деякі препарати вимагають зберігання за певної температури, щоб зберегти їх ефективність та якість.

### *Охолодження машин та обладнання*

Комплексні холодильні машини використовуються для охолодження машин та обладнання, таких як трансформатори, електронне обладнання та інші, щоб запобігти перегріву та пошкодженню обладнання.

### *Охолодження рідин у промислових процесах*

Комплексні холодильні машини використовуються для охолодження рідин, що використовуються у промислових процесах, таких як виробництво сталі, нафтохімічна промисловість та інші. Охолодження рідин допомагає запобігти перегріву та пошкодженню обладнання, а також збільшити ефективність процесу.

### *Охолодження повітря*

Комплексні холодильні машини можуть бути використані для охолодження повітря у будинках, фабриках, складах та інших приміщеннях. Вони можуть створити комфортні умови для роботи і життя, а також зберегти якість продуктів, що зберігаються в цих приміщеннях.

### *Охолодження води у басейнах*

Комплексні холодильні машини можуть використовуватися для охолодження води в басейнах, спа-центрах та інших місцях, де вода використовується для охолодження та розслаблення.

## **1.4. Класифікація комплексних холодильних машин**

Комплексні холодильні машини можуть бути класифіковані за різними критеріями. Наприклад, за типом охолоджуваної рідини вони можуть бути поділені на машини для охолодження води, олії або інших рідин. Крім того, вони можуть бути класифіковані за потужністю, продуктивністю, розміром та іншими параметрами.

### *За потужністю*

Комплексні холодильні машини можуть бути класифіковані за потужністю, яка визначається залежно від об'єму рідини, що охолоджується, і необхідної температури. Чим більший об'єм рідини, що охолоджується, і нижче необхідна температура, тим вище потужність машини.

### *За продуктивністю*

Комплексні холодильні машини також можуть бути класифіковані за продуктивністю, яка визначається залежно від кількості рідини, що охолоджується в одиницю часу. Чим більше кількість рідини, що охолоджується, тим вище продуктивність машини.

### *По розміру*

Комплексні холодильні машини можуть бути класифіковані за розміром, який визначається залежно від об'єму рідини, що охолоджується, і потужності машини. Чим більший об'єм рідини, що охолоджується, і потужність машини, тим більший її розмір.

## **1.5. Комплексні холодильні машини за типом компресора та конденсатора**

### *1.5.1 Холодильні машини з поршнеvim компресором*

Холодильні машини з поршневими компресорами є одними з найпоширеніших холодильних машин на світовому ринку холодильного обладнання.

Холодильні машини з поршнеvim компресором мають досить високий ефективний ККД компресора та високу енергетичну ефективність (COP) циклу. Вони підходять для широкого спектру застосувань, включаючи використання в промисловості, супермаркетах, ресторанах та інших закладах громадського харчування. Ці машини зазвичай мають високу продуктивність та можуть працювати в широкому діапазоні температур.

Одним з головних переваг поршневих компресорів є їх надійність та довговічність. Вони витримують великі тиски і температури, що дозволяє їм працювати в екстремальних умовах. Також вони мають просту конструкцію, що сприяє легкому обслуговуванню та ремонту. Однак, поршневі компресори можуть бути дещо гучні та вібруючі, що може бути проблемою в деяких ситуаціях.

На рисунку 1 зображено поршневий компресорно-конденсаторний агрегат як елемент комплексної холодильної машини [1].



Рисунок 1 Поршневий компресорно-конденсаторний агрегат [1]

#### *1.5.2. Холодильні машини з гвинтовим компресором*

Холодильні машини з гвинтовим компресором найбільш поширені в комплексних холодильних машинах, призначених для охолодження повітря у будинках та інших приміщеннях. Холодильні машини з гвинтовим компресором використовуються у великих промислових системах охолодження та кондиціювання повітря, де вимагається висока продуктивність та стабільна робота протягом тривалого часу. Вони часто застосовуються в промисловості харчових продуктів, фармацевтиці, хімічній промисловості, а також в різних промислових процесах, де вимагається обов'язкове контролювання температури. На рисунку 2 зображено гвинтовий компресорний агрегат з оливовіддільником і водяним охолоджувачем оливи [2].



Рисунок 2 Гвинтовий компресорний агрегат з оливовіддільником і водяним охолоджувачем оливи [2]

Однією з переваг холодильних машин з гвинтовим компресором є їх низький рівень шуму, порівняно з іншими типами компресорів, такими як поршневі компресори. Також, гвинтові компресори мають малу кількість рухомих частин, що зменшує ризик виникнення відмовлення роботи та знижує витрати на обслуговування.

### *1.5.3. Холодильні машини з спіральним компресором*

Фірма Copeland почала розробку спірального компресора 1979 року, який сьогодні є найефективнішим і найнадійнішим, адаптованим до роботи в системах кондиціонування, в холодильних системах і теплових насосах. Компресор має низький рівень вібрації і шуму, стійкий до "гідроудару", "вологого" пуску і наявності в системі сторонніх твердих домішок. До модельного ряду включено компресори потужністю від 1,5 до 5 кВт. На рисунку 3 зображено чиллер як комплексна холодильна машина на спіральних компресорах для систем кондиціонування [3].



Рисунок 3 Чиллер на спіральних компресорах для систем кондиціонування [3]

#### *1.5.4. Холодильні машини з конденсаторами типу "повітря-повітря"*

Холодильні машини з конденсаторами типу "повітря-повітря" використовують повітря для охолодження холодоагенту. Тепло гарячого холодоагенту відводиться повітрям послідовно у двох апаратах: форконденсаторі та основному апараті, які знаходяться ззовні машини. Конденсатори типу "повітря-повітря" зазвичай використовуються в комплексних холодильних машинах, призначених для кондиціонування повітря в будинках та інших приміщеннях. Вони простіші в обслуговуванні і вимагають менше місця, але мають нижчу ефективність.

#### *1.5.5. Холодильні машини з конденсаторами типу "вода-повітря"*

У таких машинах, гарячий газ з компресора проходить через водяний конденсатор, де він охолоджується водою, яка циркулює в конденсаторі. Потім охолоджений газ проходить через повітряний конденсатор, де його охолоджує холодне повітря, що проходить через конденсатор ззовні. Конденсатори типу "вода-повітря" використовуються в комплексних

холодильних машинах, які потребують великого охолодження та мають велику продуктивність. В машинах утилізується тепло перегріву для отримання гарячої води для побутових потреб. Вони можуть бути ефективнішими, ніж конденсатори типу "повітря-повітря". Машини комплектують сухими градирнями «драйкулінгами» для охолодження води у замкнутому контурі, що забезпечує економію води в системі.

### **1.6. Світовий ринок комплексних холодильних машин**

Для ринків, що розвиваються, до яких відноситься український ринок, однією з вирішальних умов для прийняття рішення про проектування є ціна обладнання, з якого буде укомплектована машина. Машина, що проектується, призначена для охолодження технологічного обладнання. Особливістю таких машин є холодоносій – етиленгліколь, повна заводська готовність до експлуатації, що забезпечується моноблочністю холодильної машини і установкою гідромодуля з циркуляційним насосом.

Велика частина фірм з виробництва чиллерів на ринку України - європейські виробники, в основному французькі та італійські: Ciat (Франція), RC Group (Італія), Airwell (Франція), Clivet (Італія), Wesper (Франція, підрозділ McQuay), Bluebox (Італія), Aermec (Італія), КТК (Італія), Lennox (США), Sabina (Італія), Clivet (Італія) та інші. Конструктивні рішення машин надано на рис. 4-8:



Рисунок 4 Чиллер Carrier 30XAV500 [4]



Рисунок 5 Чиллер CIATCOOLER ILK-750 [5]



Рисунок 6 Чиллер BlueBox KAPPA V ECHOS-160 [6]



Рисунок 7 Модульний чиллер TICA з водяним охолодженням [7]

## 1.7. Формування технологічної схеми машини

Для формування технологічної схеми машини пропонується такі типи холодильного обладнання:

### 1.7.1 Компресор

Для комплектації холодильної машини пропонується використовувати компресори фірми Bitzzer, які мають хороші відгуки на ринку холодильного обладнання. Зразок компресора надано на рис. 9.

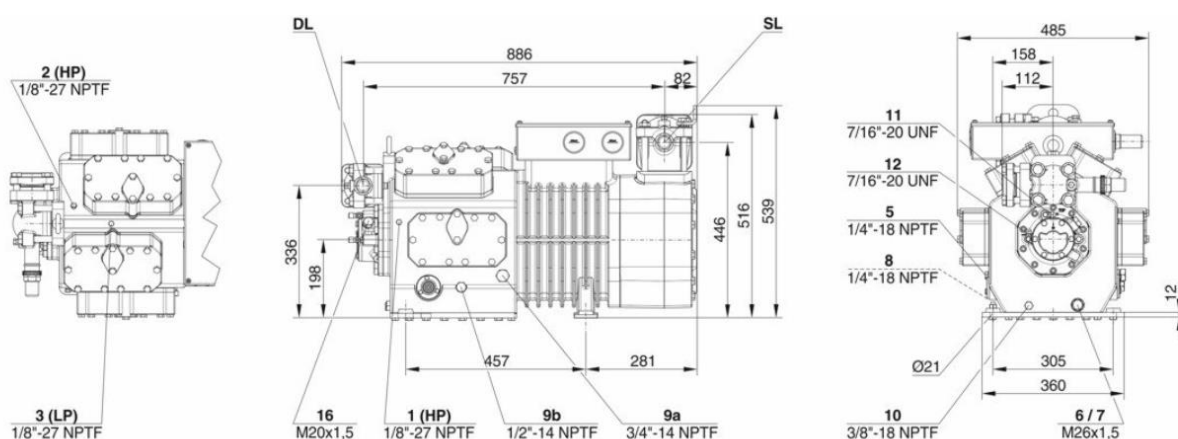


Рисунок 8 Поршневий компресор 8GE-60Y-40P [8]

Поршневі напівгерметичні компресори Bitzzer використовуються для холодильних камер найрізноманітніших розмірів, у багатокомпресорних установках центрального холодопостачання, у системах охолодження рідини, для систем кондиціонування і в теплових насосах. Також поставляються компресорні та компресорно-конденсаторні агрегати оригінального складання, поставляються і виробляються одно- і багатокомпресорні агрегати, системи охолодження рідини за вимогами замовників.

Компресор комплектується запірними вентилями і реле тиску на лініях всмоктування і нагнітання холодоагенту. Починаючи з компресора 4FES-3Y можливе встановлення регулятора продуктивності компресора (100-50%), з

компресора 8GE-22Y встановлення 2-х регуляторів продуктивності. З використанням частотних перетворювачів можливе плавне регулювання холодопродуктивності в широких межах.

Нижче наведено основні характеристики поршневого компресора 8GE-60Y-40P у табл. 1:

Таблиця 1. Характеристики компресора

Compressor	8GE-60Y-40P	Technical Data	
Capacity steps	100%	Displacement (1450 RPM 50Hz)	185 m³/h
Cooling capacity	73.6 kW	Displacement (1750 RPM 60Hz)	222 m³/h
Cooling capacity *	73.6 kW	No. of cylinder x bore x stroke	8 x 75 mm x 60 mm
Evaporator capacity	73.6 kW	Weight	352 kg
Power input	38.5 kW	Max. pressure (LP/HP)	19 / 28 bar
Current (400V)	77.4 A	Connection suction line	76 mm - 3 1/8"
Voltage range	380-420V	Connection discharge line	42 mm - 1 5/8"
Condenser capacity	112.0 kW	Oil type R134a/R407C/R404A/R507A/R407A/R407F	BSE32(Standard)   R134a tc>70°C: BSE55 (Option)
COP/EER	1.91	Oil type R22 (R12/R502)	B5.2 (Option)
COP/EER *	1.91	<b>Motor data</b>	
Mass flow	2183 kg/h	Motor version	1
Operating mode	Standard	Motor voltage (more on request)	380-420V PW-3-50Hz
Discharge gas temp. w/o cooling	101.9 °C	Max operating current	113.0 A
		Winding ratio	60/40
		Starting current (Rotor locked)	349.0 A D / 513.0 A DD
		Max. Power input	63.0 kW
		<b>Extent of delivery (Standard)</b>	
		Motor protection	SE-B3(Standard), SE-B2(Option)
		Enclosure class	IP54 (Standard)
		Vibration dampers	Standard
		Oil charge	5,0 dm³
		Discharge shut-off valve	Standard
		Suction shut-off valve	Standard
		<b>Available Options</b>	
		Discharge gas temperature sensor	Option
		Capacity control	100-75-50% (Option)
		Capacity Control - infinite	100-50% (Option)
		Crankcase heater	140 W (Option)
		Oil pressure monitoring	MP54 (Option), Delta-PII (Option)
		<b>Sound measurement</b>	
		Sound power level (+5°C / 50°C)	86,5 dB(A) @ 50Hz
		Sound pressure level @ 1m (+5°C / 50°C)	78,5 dB(A) @ 50Hz

Безсальниковий (напівгерметичний) поршневий компресор Bitzer зібрано в загальному корпусі з електродвигуном, заправлено холодильним мастилом, рівень якого контролюється через оглядове скло. У корпус встановлені штуцер заправки і пробка зливу масла. Картер компресора оснащений нагрівачем масла, електродвигун - реле захисту від перегріву обмоток.

## 1.7.2 Конденсатор



Рисунок 9 Конденсатор повітряного охолодження FNH-350 [9]

Конденсатор повітряного охолодження є пристроєм, який використовує повітря для охолодження та конденсації холодоагенту.

Основною перевагою конденсаторів повітряного охолодження є їхня висока ефективність та надійність. Вони здатні витримувати великі навантаження та забезпечувати стабільну роботу системи при високих температурах навколишнього середовища.

Однак, варто враховувати деякі недоліки конденсаторів повітряного охолодження. Оскільки вони залежать від повітря для охолодження, ефективність їхньої роботи може залежати від температури навколишнього середовища. Високі температури або обмежена циркуляція повітря можуть погіршити охолодження і призвести до підвищення температури у об'єкті що охолоджується.

Особливості конструкції конденсаторів повітряного охолодження включають наявність вентиляторів або вентиляційних отворів для

покращення циркуляції повітря та збільшення охолодження. Деякі моделі можуть мати алюмінієві пластини або радіатори, що забезпечують більшу поверхню для теплообміну з повітрям.

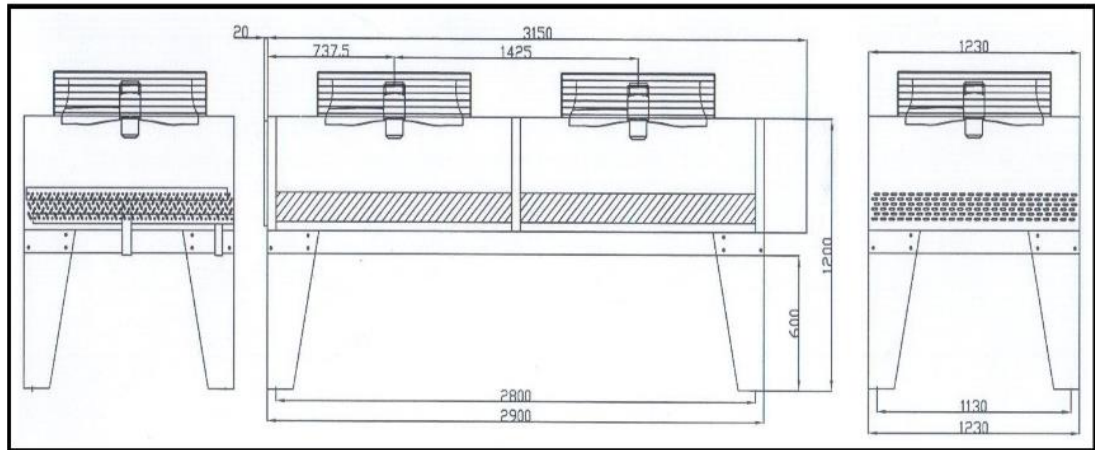


Рисунок 10 Схема повітряного конденсатора FNH-350 [9]

### 1.7.3. Випарник

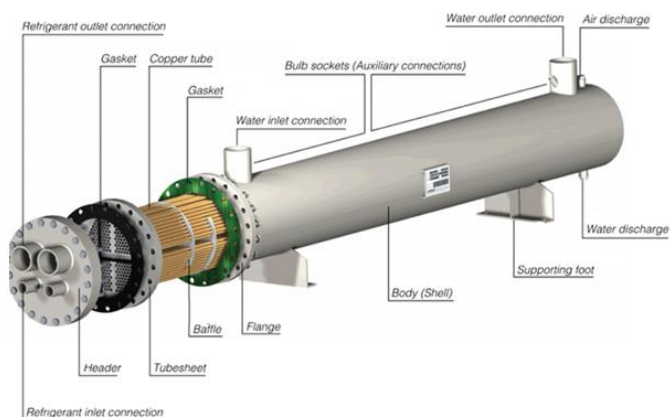


Рисунок 11 Кожухотрубний випарник [10]

Основна відмінність цих випарників від кожухотрубних випарників затопленого типу полягає в тому, що холодоносії заповнює міжтрубний простір, а холодоагент проходить і кипить у трубках. Кожухотрубні випарники виконують із прямими і U-подібними трубками (кожухозмійовикові). Випарник рис. 12 має одну кришку з двома патрубками для підведення рідкого холодоагенту і відведення пари, одну трубну решітку, в якій розвальцьовані входні кінці випарних трубок. Кришка випарника має внутрішню перегородку, що розділяє порожнину подачі рідини від порожнини парів. У міжтрубному просторі кожуха для підвищення інтенсивності теплообміну з боку холодоносія встановлюють поперечні перегородки.

Для рівномірного розподілу парорідинної суміші по трубках у входній порожнині кришки встановлюють розподільний пристрій. Кожух і кришки кожухотрубних і кожухозмійовикових випарників теплоізолюють.

Переваги кожухотрубних випарників з внутрішньотрубним кипінням: відсутність вільної поверхні рідини, що покращує роботу апарату під час хитавиці; зниження маси холодоагенту, що наповнює систему, удвічі-втричі; надійне повернення оливи в компресор; виключення небезпеки руйнування апарату в результаті намерзання льоду на поверхні теплообмінних трубок; зменшення маси та габаритів випарника завдяки поліпшенню теплообміну.

#### ***1.7.4. Холодоагент R290, коротка характеристика***

Холодоагент R290(пропан). хімічна формула C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (пропан). Належить до групи ГФУ (HFC). Потенціал руйнування озону ПРО (ODP) = 0, потенціал глобального потепління ПГП (GWP) = 3. Характеризується низькою вартістю і нетоксичний. Під час використання цього холодоагенту не виникає проблем із вибором конструкційних матеріалів деталей компресора, конденсатора і випарника.

Пропан добре розчиняється в мінеральних маслах. Температура кипіння за атмосферного тиску -42,1°C. Перевагою пропану є також низька температура на виході з компресора. Однак пропан як холодоагент має два принципові недоліки. По-перше, він пожежонебезпечний, по-друге, розміри компресора мають бути більшими, ніж при використанні в холодильній машині R22 заданої холодопродуктивності.

У промислових холодильних установках пропан використовують уже протягом багатьох років. Останніми роками дедалі частіше пропонується застосовувати пропан у комплексних холодильних машинах.

## 1.8. Принципова технологічна схема холодильної машини

В основі схемно-циклового рішення чиллера лежить одноступенева холодильна машина, до складу устаткування входять чотири основні елементи компресорної холодильної машини: компресор, конденсатор, випарник і дросельний прилад.

Компресор з інвертором, що дозволяє регулювати продуктивність машини шляхом зміни частоти обертання валу компресора в міру зміни теплової продуктивності головного технологічного процесу.

Для скидання теплоти конденсації прийнято рішення використовувати повітряний конденсатор, через дорожнечу і труднодоступність підведення води для конденсатора з водяним охолодженням..

У якості випарника прийнято конструкцію кожухотрубного теплообмінника. Це дозволить знизити ємність системи за холодильним агентом. Ще однією перевагою даного рішення є підвищення експлуатаційної надійності холодильної машини шляхом зменшення довжини трубопроводів з холодоагентом, що у свою чергу знижує ймовірність витіку.

Контур холодоагенту додатково містить фільтри різного призначення, ресивер високого тиску, віддільник рідини, запірні та регулюючі пристрої для автоматичної роботи машини.

Контур гідромодулю для холодоносія містить насос та регулюючі пристрої для забезпечення потоку необхідної витрати.

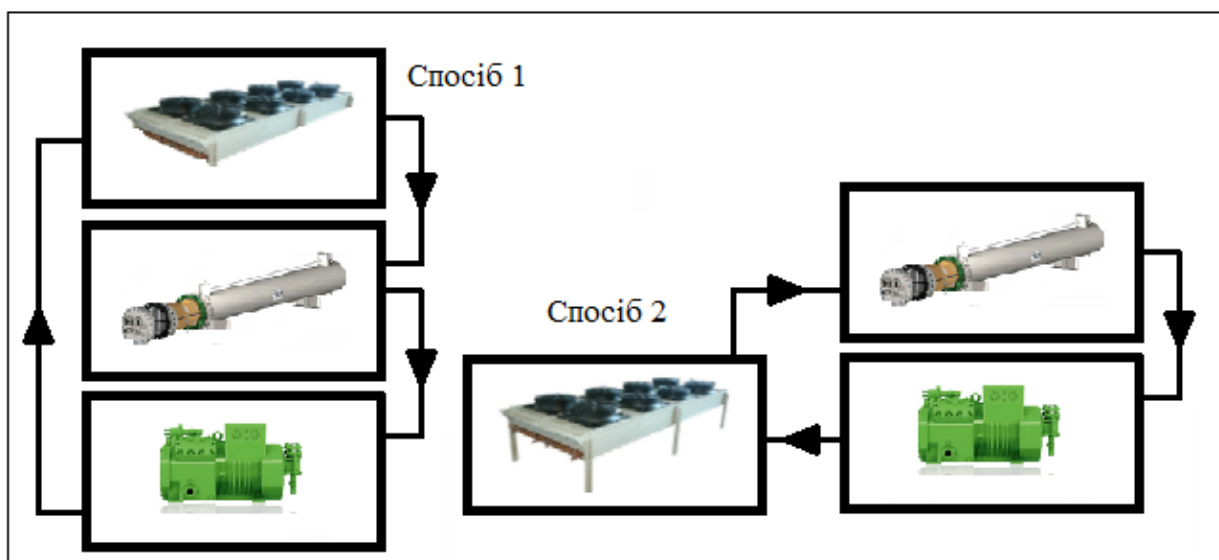
*Розробка конструкції машини.*

Конструктивно машина може бути зібрана двома способами.

*Спосіб 1.* Моноблок на трьох горизонтальних рівнях. На нижньому рівні встановлено компресор із допоміжним устаткуванням: віддільником рідини, олиовіддільником, загальним пультом керування. На другому рівні



розміщені кожухотрубний випарник, лінійний ресивер і допоміжне обладнання. Третій вищий рівень займає горизонтальний повітряний конденсатор. Машина зовні має кожух, що забезпечує захист від зовнішнього впливу і забезпечує вільний прохід для повітря.



*Спосіб 2.* Машина комплектується у вигляді двох блоків компресорно-випарникового та виносного повітряного конденсатора. Така модель машини забезпечує вільний доступ до конденсатора, полегшує очистку конденсатора від твердих відкладів. З метою забезпечення експлуатаційної надійності кожний блок має захисний кожух.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

#### 2.1 Тепловий розрахунок компресору

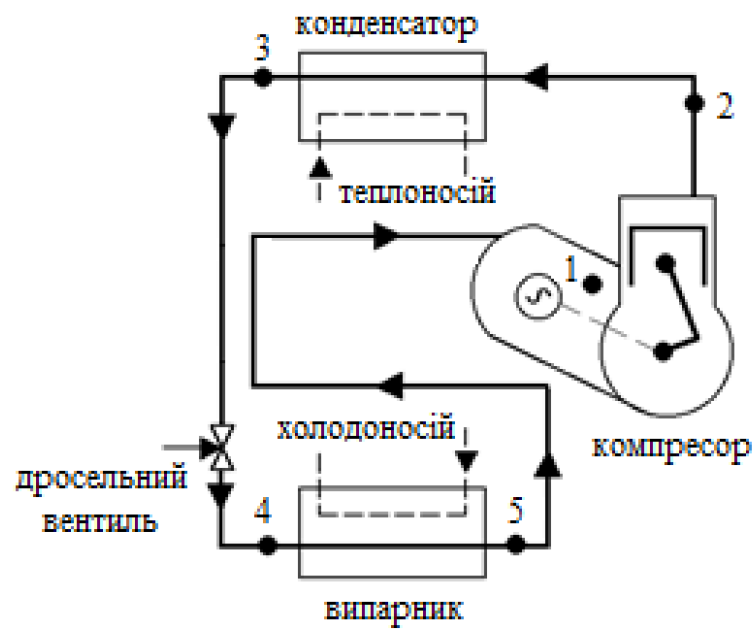


Рисунок 13 Принципова схема для розрахунку

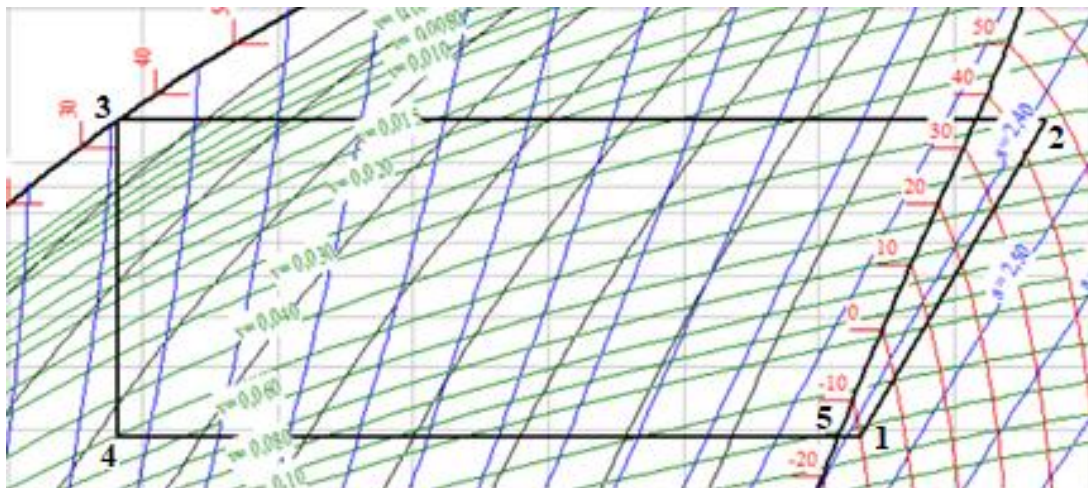


Рисунок 14 Цикл машини у діаграмі p-h

### Вихідні дані для розрахунку

Теоретична об'ємна продуктивність компресора  $V_h = 0,051 \text{ м}^3/\text{с}$

Температура кипіння  $t = -15 \text{ }^\circ\text{C}$

Температура конденсації  $t = 35 \text{ }^\circ\text{C}$

Температура переохолодження рідкої робочої речовини в конденсаторі

$\Delta t = 0$  град.

Температура всмоктування ( $t_1 = t_0 + \Delta t_{ec}$ ). Перегрів всмоктуваної пари  $\Delta t_{ec} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$

от від вбудованого електродвигуна.

Холодоагент R290.

Таблиця 2. Теплофізичні і термодинамічні властивості R290 [11]

Т, К	$c_p$ , кДж/(кг·К)	$c_{p'}$ , кДж/(кг·К)	$\lambda'$ , Вт/(м·К)	$\lambda'' \cdot 10^3$ , Вт/(м·К)	$\eta' \cdot 10^{-6}$ , Па·с	$\eta'' \cdot 10^{-6}$ , Па·с		
260	2,410	1,649	0,112	14,3	144	7,35		
Т, К	р, МПа	$\rho'$ , кг/м <sup>3</sup> жидкость	$\rho''$ , кг/м <sup>3</sup>	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	г, кДж/кг	s', кДж/(кг·К)	s'', кДж/(кг·К)
260	$3,103 \cdot 10^{-1}$	545,69	6,901	491,8	883,9	392,1	4,154	5,662

Таблиця 3. Теплофізичні і термодинамічні властивості етиленгликоля [12]

ε, %	ρ, кг/м <sup>3</sup>	t, °C	С при t °C, кДж/(кг·K)					μ при t °C, Н·с/м <sup>3</sup>					λ при t °C, Вт/(м·K)				
			50	20	0	-10	-20	50	20	10	0	-10	50	20	0	-10	-20
38,5	1050	-26	3,68	3,56	3,52	3,48	3,43	1,18	2,75	3,75	5,59	8,63	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45

Таблиця 4. Параметри точок у циклі

Параметри	одиниці вимірювання	Точки				
		1	2	3	4	5
Тиск, p	МПа	0,28	1,21	1,21	0,28	0,28
Температура, t	°С	-10	46	35	-15	-15
Питома ентальпія, h	кДж/кг	565	634	290	290	556
Питомий об'єм, v	м <sup>3</sup> /кг	0,158				

## 1. Питомі характеристики циклу

## 1.1. Питома масова холодопродуктивність

$$q_0 = h_5 - h_3 = 556 - 290 = 266, \text{ кДж/кг} \quad (1)$$

## 1.2. Питома об'ємна холодопродуктивність

$$qv = q_0 / v_1 = 266 / 0,158 = 1683, \text{ кДж/м}^3 \quad (2)$$

## 1.3. Питома адіабатна робота стиснення

$$w = h_2 - h_1 = 634 - 565 = 69, \text{ кДж/кг} \quad (3)$$

## 2. Дійсна об'ємна продуктивність

$$V_d = V_h * \lambda = 0,051 * 0,669 = 0,034 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4)$$

## 3. Коефіцієнт подавання компресора

$$\lambda = \lambda_c * \lambda'_w = 0,9 * 0,744 = 0,669 \quad (5)$$

$$\text{де } \lambda_c = 1 - c \left[ \left( \frac{P_k}{P_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] = 1 - 0,03 \left[ \left( \frac{12,1}{2,8} \right)^{\frac{1}{1}} - 1 \right] = 0,9$$

$$\lambda'_w = \frac{T_0 + \theta}{\alpha T_k + \beta \theta} = \frac{258 + 5}{1,1 * 319 + 0,5 * 5} = 0,744 \quad (6)$$

для розрахунків:  $m = 1$ ,  $c = 0,03$ ,  $\theta = t_1 - t_0$ ,  $\alpha = 1,1$ ,  $\beta = 0,5$ .

## 4. Масова витрата агенту

$$M_a = \frac{V_d}{v_1} = \frac{0,034}{0,158} = 0,215, \text{ кг/с} \quad (7)$$

## 5. Холодопродуктивність компресору

$$Q_0 = M_a * q_0 = 0,215 * 266 = 57,2 \text{ кВт} \quad (8)$$

## 6. Адіабатна потужність компресору

$$N_a = M_a * w = 0,215 * 69 = 14,84, \text{ кВт} \quad (9)$$

7. Індикаторна потужність компресору

$$N_i = \frac{N_a}{\eta_i} = \frac{14,84}{0,706} = 21, \text{ кВт} \quad (10)$$

де індикаторний ККД  $\eta_i = \lambda'_{w'} + bt_0 = 0,744 + 0,0025 * (-15) = 0,706$

$$b = 0,0025$$

8. Потужність тертя

$$N_{тр} = V_h * P_{тр} = 0,051 * 50 = 2,55, \text{ кВт} \quad (11)$$

де  $P_{тр}$  – середній індикаторний тиск тертя,  $p_{тр} = 30 \dots 50$  кПа

9. Ефективна потужність компресору

$$N_e = N_{тр} + N_i = 2,55 + 21 = 23,5, \text{ кВт} \quad (12)$$

10. Електрична потужність компресору

$$N_{ел} = \frac{N_e}{\eta_{ел,дв}} = \frac{23,5}{0,95} = 25,052, \text{ кВт} \quad (13)$$

11. Термодинамічна ефективність машини в цілому

11.1. Теоретичний коефіцієнт перетворення

$$COP_a = \frac{q_0}{w} = \frac{266}{69} = 3,85 \quad (14)$$

11.2. Коефіцієнт перетворення циклу Карно

$$COP_K = \frac{T_0}{T_K - T_0} = \frac{258}{319 - 258} = 4,23 \quad (15)$$

11.3. Теоретична ступінь термодинамічної досконалості

$$\eta_{СТС}^{теор} = \frac{COP_a}{COP_K} = \frac{3,85}{4,23} = 0,91 \quad (16)$$

11.4. Дійсний коефіцієнт перетворення

$$COP_D = \frac{Q_0}{N_{ел}} = \frac{57,2}{25,052} = 2,28 \quad (17)$$

11.5. Дійсний ступінь термодинамічної досконалості

$$\eta_{СТС}^д = \frac{COP_D}{COP_K} = \frac{2,28}{4,23} = 0,539 \quad (18)$$

## 2.2 Розрахунок кожухотрубного випарника з кипінням холодоагенту всередині труби

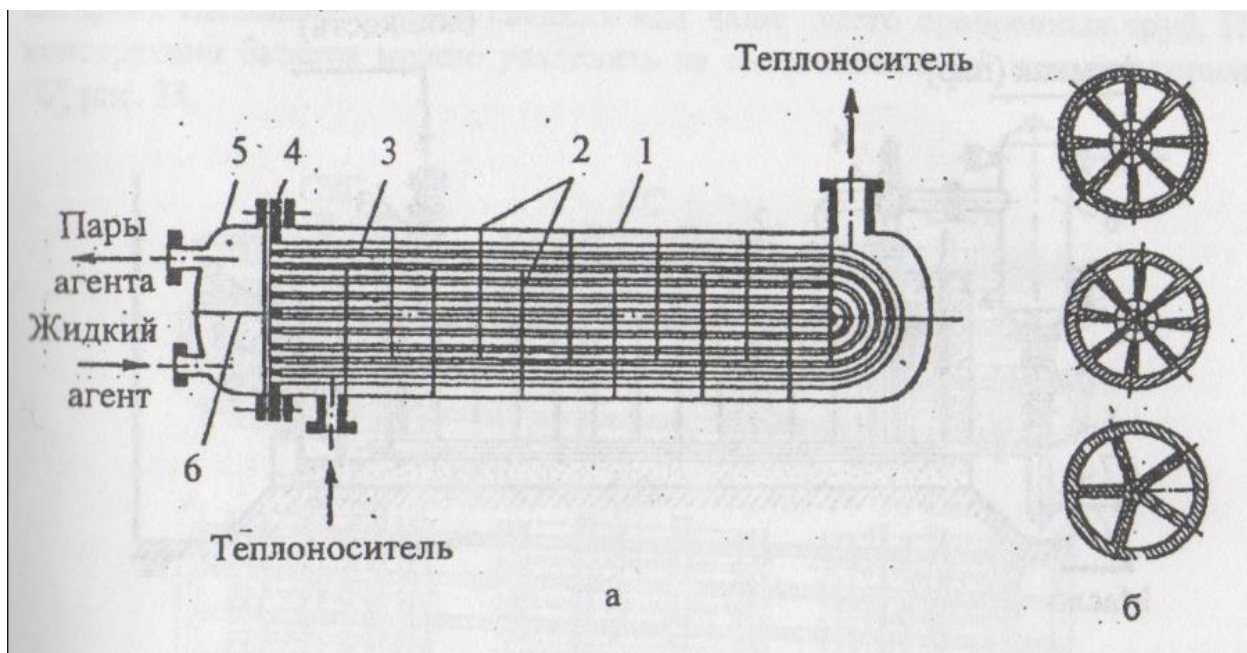


Рисунок 15 Конструкція горизонтального кожухотрубного випарника з кипінням холодоагенту у трубі з внутрішнім оребренням: а - схема випарника; б - труба з внутрішнім оребренням. [13]

Теплове навантаження $Q_0$ , кВт .....	57,2
Температура етиленгліколю при вході в апарат $T_{w1}$ , °С.....	(-7)
при виході з апарату $T_{w2}$ , °С .....	10
кипіння робочого тіла $T_0$ , °С.....	-15
Холодоагент .....	R290
1. Основні розміри мідної труби із внутрішнім оребренням (рис. 18)	
Зовнішній діаметр труби $d_H$ , м.....	0,02
Внутрішній $d_h$ , м.....	0,017
Зовнішня поверхня $F_H$ , м <sup>2</sup> /м .....	0,0628
Внутрішня $F_{вн}$ , м <sup>2</sup> /м .....	0,15838
Еквівалентний діаметр каналу $d_{екв}$ , м.....	0,003

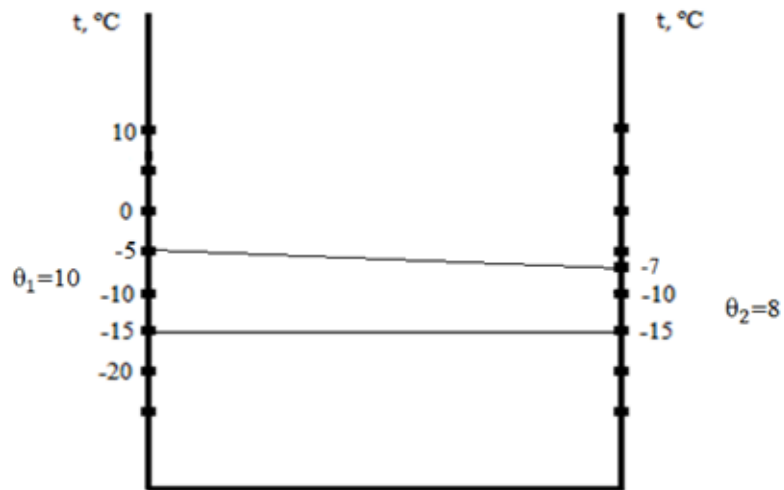


Рисунок 16 Графічне зображення температурного напору в апараті

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} = \frac{2}{\ln \frac{8}{5}} = 8,97 \text{ град.}$$

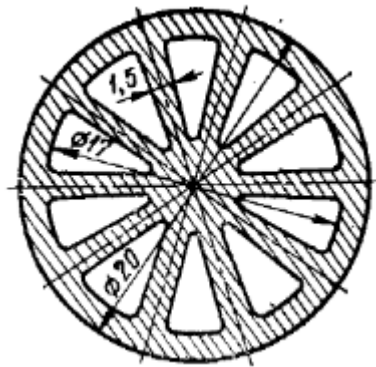


Рисунок 17 Труба з внутрішнім оребренням

### Тепловіддавання від холодоагенту

3. Масова витрата агента беремо з пункту 4 розділ 2.

$$M_a = \frac{V_d}{v_1} = \frac{0,034}{0,158} = 0,215, \text{ кг/с} \quad (19)$$

4. Прийнята швидкість руху рідини (ентіленгліколь), що надходить у труби:  $w = 0,2 \text{ м/с}$

5. Визначаємо число труб в одному ході апарата:

$$n = \frac{M_a}{f_{\text{ж}} w \rho} = \frac{0,215}{1,1724 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2 \cdot 545} = 16,6 \quad (20)$$

де,  $f_{\text{ж}} = 1,1724 \cdot 10^{-4}$  – живий переріз однієї труби з внутрішнім оребренням;

$\rho = 545 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – густина рідини при  $T_0 = 258 \text{ К}$ . Приймаємо  $n = 16$ . Тоді

швидкість рідини:

$$w = \frac{M_a}{n f_{\text{ж}} \rho} = \frac{0,215}{16 \cdot 1,1724 \cdot 10^{-4} \cdot 545} = 0,2 \text{ м/с} \quad (21)$$

6. Питомий тепловий потік з боку холодоагенту:

$$\begin{aligned} q_{F_{\text{ВН}}} &= 0,88 \left( \frac{w \rho}{d_{\text{ЕКВ}}} \right)^{0,5} A^{2,5} (T_{\text{СТ}} - T_0)^{2,5} = \\ &= 0,88 \left( \frac{0,079 \cdot 545}{0,003} \right)^{0,5} 1,157^{2,5} (T_{\text{СТ}} - T_0)^{2,5} = 241,5 (T_{\text{СТ}} - T_0)^{2,5} \end{aligned} \quad (22)$$

де  $A$  – коефіцієнт, що залежить від властивостей робочого тіла і температури кипіння ( $T_0 = 258 \text{ К}$ );

$$q_{F_{\text{НАР}}} = q_{F_{\text{ВН}}} \beta = 241,5 (T_{\text{СТ}} - T_0)^{2,5} \cdot 2,52 = 608 (T_{\text{СТ}} - T_0)^{2,5} \quad (23)$$

### Коефіцієнт тепловіддавання з боку холодоносія

Рух теплоносія має складний характер. На одній частині поверхні рідини рухається поперек труб, на іншій - уздовж. Однак перша частина поверхні переважає, тому коефіцієнт тепловіддавання з боку холодоносія розраховується за рівнянням для поперечного обтікання пучка труб;

$$Nu_{\text{ж}} = c Re_{\text{ж}}^{0,6} Pr_{\text{ж}}^{0,36}$$

При швидкості холодоносія  $w = 0,5$  м/с число Рейнольдса:

$$Re_{ж} = \frac{w\rho d_H}{\eta_{ж}} = \frac{0,5 \cdot 1050 \cdot 0,02}{8,3 \cdot 10^{-3}} = 1265 \quad (24)$$

при  $m = 0,6$ ;

$$c = 0,36 \left(\frac{a}{b}\right)^{0,2} = 0,36 \left(\frac{1,5}{1,3}\right)^{0,2} = 0,370,$$

де  $a = \frac{s_1}{d_H} = \frac{0,03}{0,02} = 1,5$  – відносний поперечний крок;  $b = \frac{s_2}{d_H} = \frac{0,026}{0,02} = 1,3$  –

відносний поздовжній крок пучка;

$$Nu_{ж} = c Re_{ж}^m Pr_{ж}^{0,36} = 0,370 \cdot 3784,7^{0,6} \cdot 9,25^{0,36} = 115 \quad (25)$$

$$\alpha_{ж} = \frac{Nu_{ж} \lambda}{d_H} = \frac{115 \cdot 0,45}{0,02} = 1348,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (26)$$

де  $Pr_{ж} = 9,25$ ;

8. Питомий тепловий потік в апараті з боку етиленгліколю

$$q_{wF_H} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ж}} + \sum \frac{\delta}{\lambda}} (T_{w\text{ ср}} - T_{ст}) = \frac{1}{\frac{1}{1348,9} + 0,3 \cdot 10^{-3}} (T_{w\text{ ср}} - T_{ст}) =$$

$$= 1163 (T_{w\text{ ср}} - T_{ст}) \quad (27)$$

Питомий тепловий потік в апараті. Для графічного визначення теплового потоку, віднесеного до зовнішньої поверхні труби, нижче наведені значення  $q_{F_H}$  у залежності від різниці температур:

$$\begin{cases} q_{F_{нар}} = 608(T_{ст} - T_0)^{2,5} \\ q_{wF_H} = 1163(T_{w\text{ ср}} - T_{ст}) \end{cases}$$

За графіком (рис. 19):  $q_{F_H} = 7800 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  при  $T = -12^\circ\text{C}$

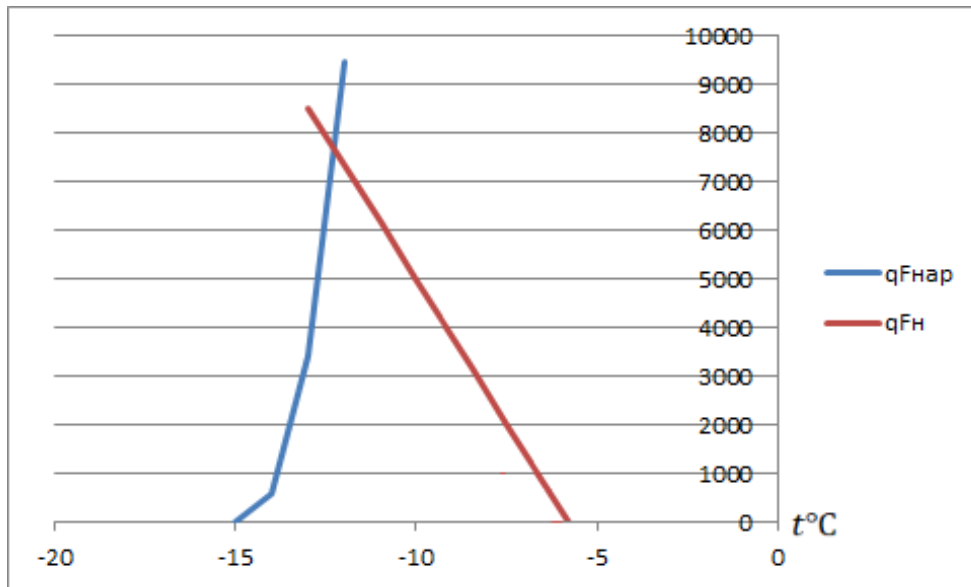


Рисунок 18 Визначення густини теплового потоку у випарнику графо-аналітичним методом

9. Теплопередавальна поверхня:

$$F_K = \frac{Q_0}{q_{FH}} = \frac{57200}{7800} = 7,3 \text{ м}^2 \quad (28)$$

10. Довжина труб:

$$L = \frac{F_K}{\pi d_H} = \frac{7,15}{3,14 \cdot 0,02} = 116,8 \text{ м} \quad (29)$$

11. Конструктивні розміри апарата. При розміщенні труб в два хода довжини апарата:

$$l_1 = \frac{L}{n} = \frac{113,9}{16} = 6,94 \text{ м} \quad (30)$$

Приймається ходів в апараті  $z = 2$ , тоді довжина випарника (по трубах):

$$l = \frac{l_1}{z} = \frac{6,767}{2} = 3,47 \text{ м} \quad (31)$$

Загальне число труб в апараті:

$$m = zn = 34 \quad (32)$$

Число рядів труб при розміщенні їх по сторонах шестикутника  $z_p = 3$  оребренням.

Внутрішній діаметр обичайки:

$$D_{BH} = (2z_p + 1)s_1 = (2 \cdot 3 + 1)0,03 = 0,21 \text{ м} \quad (33)$$

Відстань між перегородками по довжині апарата визначається виходячи з живого перерізу:

$$f'_{\text{ж}} = \frac{V_w}{w} = \frac{Q_0}{c_p \Delta T_w w \rho} = \frac{57,2}{3,48 * 2 * 0,8 * 1050} = 0,00978379 \text{ м}^2$$

$$f'_{\text{ж}} = n_{\text{тр}} l' (s_1 - d_{\text{н}}) = 5,771 * 0,17 (0,03 - 0,02) = 0,00978379 \text{ м}^2, \quad (34)$$

де,  $l'$  – відстань між перегородками по довжині, м;  $n_{\text{тр}}$  – еквівалентне число труб по ширині пучка,

$$n_{\text{тр}} = 1,04 \frac{\sqrt{\pi}}{2} n_{\text{общ}}^{0,5} \left( \frac{s_1}{s_2} \right)^{0,5} = 1,04 \frac{\sqrt{3,14}}{2} 34^{0,5} \left( \frac{1,5}{1,3} \right)^{0,5} = 5,771 \quad (35)$$

$$l' = \frac{f'_{\text{ж}}}{n_{\text{тр}}(s_1 - d_{\text{н}})} = \frac{0,01043605}{5,771(0,03 - 0,02)} = 0,17 \text{ м}$$

Число перегородок:

$$z' = \frac{l}{l'} = \frac{1,353}{0,0361} = 20 \text{ шт.} \quad (36)$$

## 2.3 Розрахунок повітряного конденсатора с пластинчатим оребренням

Вихідні данні для розрахунку наступні:

Теплове навантаження $Q$ , кВт .....	80,7
Температура повітря $T_{B1}$ , °С.....	35
Робоче тіло .....	R290

1. Температура конденсації. При прийнятій різниці температур повітря в апараті  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$  і при передачі повітрям і робочим тілом  $T - T_B = 10^\circ$

2. Середня логорифмічна різність температур

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} = \frac{4}{\ln \frac{13}{9}} = 10,89 \text{ град.} \quad (37)$$

3. Витрата повітря

$$M_a = \frac{Q}{c_p * (\theta_1 - \theta_2)} = \frac{80700}{1060 * 4} = 19,033 \text{ , кг/с} \quad (38)$$

де  $c_p = 1,06 \text{ кДж/(кг * К)}$  – теплоємкість повітря при  $T_B = 35^\circ\text{C}$ .

$$V_B = \frac{M_a}{\rho} = \frac{19,033}{1,205} = 15,8 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (39)$$

де  $\rho = 1,205 \text{ кг/м}^3$  при  $T_{B1} = 35^\circ\text{C}$ .

4. Живий переріз апарату

$$F_{\text{ж}} = \frac{V_B}{w} = \frac{15,8}{7} = 2,25 \text{ м}^2 \quad (40)$$

де  $w = 7 \text{ м/с}$  – прийнята швидкість повітря.

Основні розміри, що характеризують поверхню теплообміна (рис. 11):

Зовнішній діаметр труби $d_{\text{н}}$ , м.....	0,014
Внутрішній $d_{\text{вн}}$ , м .....	0,012
Крок труб по фронту і в глибину $s$ , м, .....	0,028
Товщина ребер $\delta_r$ , м.....	0,0005
Крок ребер $u$ , м .....	0,004
Матеріал труб .....	Мідь
ребер.....	Сталь

Ребра .....Пластинчасті суцільні  
 Розташування труб у пучку..... Коридорне

6. Розміри апарата по фронту. Живий переріз апарата пов'язаний з зано з основними розмірами, що характеризують поверхню теплообміну, співвідношенням

$$F_{\text{ж}} = L_1(s - d_{\text{н}}) \left(1 - \frac{\delta_{\text{п}}}{\mu}\right) \quad (41)$$

Звідси загальна довжина труби в одній секції конденсатора

$$L_1 = \frac{F_{\text{ж}}}{(s - d_{\text{н}}) \left(1 - \frac{\delta_{\text{п}}}{\mu}\right)} = \frac{2,25}{(0,028 - 0,014) \left(1 - \frac{0,0005}{0,004}\right)} = 184,19 \text{ м} \quad (42)$$

7. Коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря, віднесений до зовнішньої поверхні оребреної труби. При коридорному розташуванні труб із пластинчастим оребренням при  $Re = 500 \div 10000$ ;  $L/d_{\text{екв}} = 4 \div 50$ ;  $\mu/d_{\text{н}} = 0,18 \div 0,35$ ;  $s/d_{\text{н}} = 2 \div 50$ ;  $t_{\text{ж}} = -40 \div 40 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Nu_{\text{ж}} = c Re_{\text{ж}}^n \left(\frac{L}{d_{\text{екв}}}\right)^m \quad (43)$$

тут

$$d_{\text{екв}} = \frac{2(s - d_{\text{н}})(u - \delta_{\text{п}})}{(s - d_{\text{н}}) + (u - \delta_{\text{п}})} = \frac{2(0,028 - 0,014)(0,004 - 0,0005)}{(0,028 - 0,014) + (0,004 - 0,0005)} = 0,0056 \text{ м}$$

Число Рейнольдса

$$Re_{\text{ж}} = \frac{w * d_{\text{екв}}}{\nu} = \frac{7 * 0,0056}{15,342 * 10^{-6}} = 2555 \quad (44)$$

де  $\nu = 15,342 * 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря при  $T = 35^\circ\text{C}$ ;

$$\frac{u}{d_{\text{н}}} = \frac{0,004}{0,014} \approx 0,285; \quad \frac{s}{d_{\text{н}}} = \frac{0,028}{0,014} = 2;$$

$$\frac{L}{d_{\text{екв}}} \geq 5.$$

Довжина пластини по ходу повітря  $L$  залежить від числа паралельних секцій конденсатора  $4$ . лельних секцій конденсатора  $a$  і визначається за рівнянням:

$$L = as$$

Коефіцієнти:

$$n = 0,45 + 0,0066 \frac{L}{d_{\text{екв}}};$$

$$m = -0,28 + 0,08 \frac{Re_{\text{ж}}}{1000} = -0,28 + 0,08 \frac{2555}{1000} = -0,076;$$

$$A = f\left(\frac{L}{d_{\text{екв}}}\right);$$

$$B = 1,36 - 0,24 \frac{Re_{\text{ж}}}{1000} = 1,36 - 0,24 \frac{2555}{1000} = 0,7468; \quad C = AB.$$

Результати розрахунків наведено нижче в табл. 5:

Таблиця 5. Результати розрахунків тепловіддавання від повітря

a	1	2	3	4	5
L, м	0,028	0,56	0,084	0,112	0,140
$L/d_{\text{екв}}$	5	10	15	20	25
n	0,483	0,516	0,549	0,582	0,615
A	0,412	0,326	0,2635	0,201	0,163
C	0,30768	0,24345	0,19678	0,15011	0,12173
$Nu_{\text{ж}}$	12,043	11,712	11,892	11,498	11,879
$d_{\text{вF}} = \frac{Nu_{\text{ж}} \lambda_{\text{в}}}{d_{\text{екв}}}, \text{Вт/м}^2\text{К}$	56,3	54,75	55,6	53,75	55,5

тут  $\lambda_{\text{в}} = 2,251 * 10^{-2} \frac{\text{ккал}}{\text{м*год*}^\circ\text{C}} = 2,618 * 10^{-2} \text{Вт/м}^2\text{К}$  – коефіцієнт

теплопровідності повітря при  $T = 35^\circ\text{C}$

Оскільки порядок отриманих значень  $\alpha_{\text{в}}$  однаковий, для подальших розрахунків приймається середнє значення:  $\alpha_{\text{в}} = 55,2 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$ .

8. Коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря, приведений до внутрішньої поверхні труби,

$$\alpha_{\text{в пр}} = \alpha_{\text{в}} \left( \frac{F_{\text{н}}}{F_0} E + \frac{F'_{\text{тр}}}{F_0} \right) \frac{d_{\text{н}}}{d_{\text{вн}}} = 55,2 \left( \frac{0,353535}{0,04396} + \frac{0,038465}{0,04396} \right) \frac{0,014}{0,012} = 510 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}, \quad (45)$$

де  $F'_{\text{тр}}$  – поверхня труби між ребрами,

$$F'_{\text{тр}} = \pi d_{\text{н}} \left(1 - \frac{\delta_{\text{р}}}{u}\right) = 3,14 * ,0,014 \left(1 - \frac{0,0005}{0,004}\right) = 0,038465 \frac{\text{м}^2}{\text{м}}; \quad (46)$$

$F_{\text{р}}$  – поверхня ребер,

$$F_{\text{р}} = 2 \left(s^2 - \frac{\pi d_{\text{н}}^2}{4}\right) \frac{1}{u} = 2 \left(0,028^2 - \frac{3,14 * 0,014^2}{4}\right) \frac{1}{0,004} = 0,31507 \frac{\text{м}^2}{\text{м}}; \quad (47)$$

- зовнішня поверхня оребреної труби,

$$F_{\text{н}} = F'_{\text{тр}} + F_{\text{р}} = 0,038465 + 0,31507 = 0,353535 \frac{\text{м}^2}{\text{м}}; \quad (48)$$

$F_0$  – основна поверхня труби,

$$F_0 = \pi d_{\text{н}} = 3,14 * ,0,014 = 0,04396 \frac{\text{м}^2}{\text{м}}; \quad (49)$$

$E$  – ступінь ефективності ребра,

$$E = \frac{\text{th}(mh')}{mh'} = \frac{\text{th}(0,8086)}{0,8086} = 0,8765; \quad (50)$$

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha_{\text{в}}}{\delta_{\text{р}}\lambda_{\text{р}}}} = \sqrt{\frac{2 * 55,2}{0,0005 * 45,4}} = 69,74 \frac{1}{\text{м}} \quad (51)$$

$\lambda_{\text{р}} = 45,4 \frac{\text{Вт}}{\text{МК}}$  – коефіцієнт теплопровідності сталі;  $h'$  – умовна висота ребра,

$$h' = \frac{d_{\text{н}}}{2} (\rho' - 1)(1 + 0,805 \lg \rho') = \frac{0,014}{2} (2,29 - 1)(1 + 0,805 \lg 2,29) = 0,0116 \text{ м}; \quad (52)$$

$$\rho' = 1,28 \frac{s}{d_{\text{н}}} \sqrt{\frac{s_1}{s_2} - 0,2} = 1,28 \frac{0,028}{0,014} \sqrt{1 - 0,2} = 2,29. \quad (53)$$

9. Коефіцієнт тепловіддачі з боку робочого тіла

$$\alpha_{\text{а}} = 0,72 \sqrt[4]{\frac{r\rho^2\lambda^3g}{\eta d_{\text{вн}}(T_{\text{ст}} - T_0)}} \quad (54)$$

$$\alpha_{\text{а}} = 0,72 \sqrt[4]{\frac{332,4 * 489,24^2 * 0,0929^3 * 9,8}{95,1 * 10^{-6} * 0,012(T_{\text{к}} - T_{\text{ст}})}} = 6484,7(T_{\text{к}} - T_{\text{ст}})^{-1/4},$$

де  $r = 332,4 \text{ кДж/кг}$  – теплота конденсації R290 при  $T = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$\rho = 489,24 \text{ кг/м}^3$  – густина рідини;  $\lambda = 0,0929 \frac{\text{Вт}}{\text{МК}}$  – коефіцієнт тепло-

провідності рідини;  $\eta = 95,1 * 10^{-6}$  Па \* с – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини.

10. Питомий тепловий потік в апараті:

$$q_{aF_{BH}} = 6484,7(T_K - T_{CT})^{-1/4} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}; \quad (55)$$

зі сторони повітря

$$q_{BF_{BH}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{в пр}} + \frac{F_{BH}}{F_{BH} + F_H} \sum \frac{\delta}{\lambda}} = \frac{1}{\frac{1}{510} + \frac{0,03768}{0,03768 + 0,353535} \sum \frac{0,001}{385}} = 510(T_{CT} - T_{ПОВ}) \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}; \quad (56)$$

де  $F_{BH} = \pi d_{BH} = 3,14 * 0,012 = 0,03768 \frac{\text{м}^2}{\text{м}}$  – внутрішня поверхність труби;

$\lambda = 385 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$  – коефіцієнт теплопровідності стінки труби (міді).

Термічний опір контакту ребер і тоуси приймається:  $R_{\text{конт}} = 0$  (для випадку гарячого оцинкування).

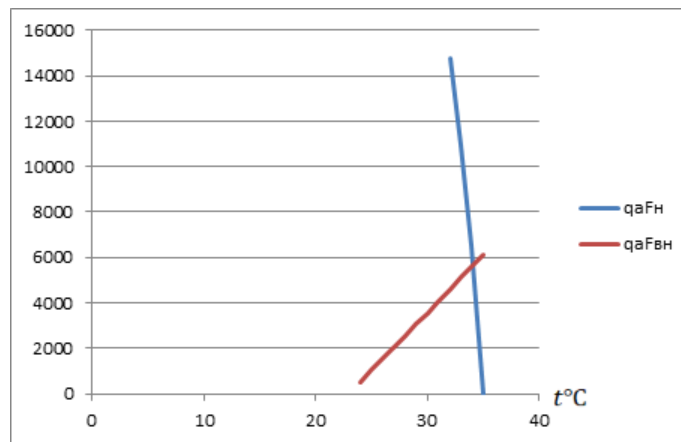


Рисунок 19 Графік до розрахунку повітряного конденсатора

За графіком (рис. 20):  $q_{F_{BH}} = 5800 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  при  $T = 34^\circ\text{C}$

11. Поверхня теплообміну (внутрішня)

$$F_{BH} = \frac{Q}{q_{F_{BH}}} = \frac{80700}{5800} = 13,9 \text{ м}^2. \quad (57)$$

12. Загальна довжина оребрених труб

$$L_{\text{общ}} = \frac{F_{\text{вн}}}{\pi d_{\text{вн}}} = \frac{13,9}{0,03768} = 369 \text{ м} \quad (58)$$

13. Число секцій приймаємо  $a = 2$

14. Коефіцієнт теплопередачі

$$k_{F_{\text{вн}}} = \frac{q_{F_{\text{вн}}}}{\theta_{\text{м}}} = \frac{5800}{10,89} = 532,60 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (59)$$

15. Основні конструктивні розміри апарата. При числі секцій  $a = 2$  довжина труб в одній секції

$$L_1 = \frac{L_{\text{общ}}}{a} = \frac{369}{2} = 185 \text{ м} \quad (60)$$

16. Приймаємо довжину КД  $l_1 = 3,5 \text{ м}$

17. Кількість труб у живому перерізі КД:

$$n_{\text{ж}} = \frac{L_1}{l_1} = \frac{185}{3,5} = 53 \text{ шт} \quad (61)$$

Тоді ширина апарата:

$$B = s * n_{\text{ж}} = 1,47 \text{ м}$$

19. Аеродинамічний опір:

$$\begin{aligned} \Delta p &= 0,007 * \left( s_2 * \frac{a}{d_{\text{екв}}} \right) (wp)^{1,75} = \\ &= 0,007 * \left( 0,028 * \frac{2}{0,0056} \right) (wp)^{1,75} = 2,92 \text{ мм. Вод. Ст.} \end{aligned} \quad (62)$$

## Підбираємо вентилятор до повітряного конденсатора [14]:

Промышленный вентилятор  
Weiguang YWF 4E 630-S

Модель: 4E 630-S  
Потребляемая мощность: 750Вт  
Питание: 220 В  
Ток: 3.5 А  
Скорость, об/мин: 1360  
Объем воздуха м3/ч: 10860  
Диаметр крыльчатки, мм: 630  
Масса, кг: 15  
Направление потока: S



Наименование вентилятора	Напря-жение, В	Частота, Гц	Ток, А	Мощность, Вт	Скорость, об/ мин	Производ., м3/ час
YWF-4D-630-S-137/70-G	380	50	1,60	800	1320	12200
YWF-4E-630-S-137/70-G	220	50	3,50	750	1360	10860
YWF-6D-630-S-137/70-G	380	50	1,45	550	900	8830
YWF-6E-630-S-137/70-G	220	50	2,55	520	900	9168

## 2.4 Розрахунок допоміжного обладнання

### 2.4.1 Розрахунок лінійного ресивера

Вертикальний рідинний ресивер з оглядовим склом серії RDCG. Використовується для передачі холодоагенту в рідинній фазі до розширювального клапана, так само ресивер може зберігати холодоагент під час ремонту в системі. За температури понад 40°C не допускається заповнення ресивера більш ніж на 90%.

$$M = \varphi_{\text{кд}} * V_{\text{кд}} * \rho_{\text{ж}} + \varphi_{\text{вип}} * V_{\text{вип}} * \rho_{\text{ж}} + (1 - \varphi_{\text{кд}})V_{\text{кд}} * \rho_{\text{пар}} + (1 - \varphi_{\text{вип}})V_{\text{вип}} * \rho_{\text{пар}}$$
$$M = 0,5 * 0,041 * 489,24 + 0,3 * 0,013 * 545,7 + (1 - 0,5) * 0,041 * 21,6 +$$
$$+(1 - 0,3) * 0,013 * 6,901 = 12,96 \text{ кг}$$

(63)



Рисунок 20 Ресивер вертикальний GOKCELER RDCG 30 [15]

Бренд	Gokceler
Серия	RDCG
Объем	30 л
Рабочее давление (PS)	33 бар
Рабочая температура (TS)	-10...+120°C
Соединения	вход 22,5 мм ODS, выход 22,5 мм ODS Rotalock
Размеры	Ø273x612 мм
Страна производитель	Турция

Таблица 6 Теплофізичні і термодинамічні властивості R290 [16]

t, °C	$c'_p$ , кДж/(кг*К)	$c''_p$ , кДж/(кг*К)	$\lambda'$ , Вт/(м*К)	$\lambda''$ , Вт/(м*К)	$\eta'$ , Па*с	$\eta''$ , Па*с		
35	2,748	2,092	0,0929	19,5	95,1	8,82		
t, °C	p, Мпа	$\rho'$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho''$ , кг/м <sup>3</sup>	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	г, кДж/кг	$s'$ , кДж/(кг*К)	$s''$ , кДж/(кг*К)
35	$9,960 * 10^{-4}$	489,24	21,59	594,4	929,8	332,4	4,515	5,623

Вертикальний ресивер об'ємом 30 л. 3 2 оглядовими стеклами і з'єднаннями під запобіжний клапан і пристрій для контролю рівня. Діаметр - 273 мм, висота - 612 мм.

Згідно з PED ресивери серії RDCG обладнані з'єднанням під запобіжний клапан (внутрішнє різьблення 1/2" NPT і зовнішнє різьблення 1 1/4" під клапан роталок), а також з'єднанням під електронний пристрій контролю рівня заповнення ресивера (внутрішнє різьблення 1/2" NPT і зовнішнє різьблення 1 1/4" під клапан роталок).

### 2.4.2 Розрахунок віддільника рідини

Віддільник рідини. Відокремлювачі рідини в безнасосних схемах створюють циркуляцію холодильного агента, що перебуває у випарній системі, що підвищує ефективність охолоджувальних приладів, частково запобігає вологому ходу, а, отже, гідравлічному удару. Число відокремлювачів рідини відповідає числу випарників у холодильній установці. Підбирають відокремлювачі рідини, виходячи із забезпечення допустимої швидкості пари у внутрішньому просторі апарата не більше 0,5 м/с:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_d}{\pi \cdot w_n \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,034}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 1}} = 0,29 \text{ м.} \quad (64)$$

де  $V_d$  – дійсна об'ємна витрата холодильного агента, м<sup>3</sup>/с;

$w_n$  – допустима швидкість пари, м/с;  $n$  – число випарників

## **ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ З ХОЛОДОАГЕНТОМ R290**

Обслуговування комплексних холодильних машин дуже важливе, щоб гарантувати їх ефективність та тривалий термін служби. Ось деякі основні аспекти обслуговування, які необхідно враховувати:

- Регулярна перевірка та чищення фільтрів: фільтри комплексних холодильних машин необхідно перевіряти та чистити регулярно, щоб запобігти засміченню та погіршенню продуктивності машини.
- Регулярна перевірка та чищення випарників: випарники комплексних холодильних машин також потребують регулярної перевірки та чищення, щоб запобігти накопиченню пилу та бруду, які можуть знизити ефективність машини.
- Регулярна перевірка та заміна олії: олію компресора комплексних холодильних машин необхідно перевіряти та міняти регулярно, щоб запобігти зносу та пошкодженню компресора.
- Регулярна перевірка та заміна датчиків та клапанів: датчики та клапани комплексних холодильних машин необхідно регулярно перевіряти, щоб запобігти їх поломці та неправильній роботі машини.
- Регулярна перевірка та чищення конденсаторів: конденсатори комплексних холодильних машин також потребують регулярної перевірки та чищення, щоб запобігти накопиченню пилу та бруду, які можуть призвести до перегріву та пошкодження машини.
- Навчання персоналу: персонал, який працює з комплексними холодильними машинами, повинен мати необхідні знання та навички для обслуговування та експлуатації машин. Навчання персоналу повинно проводитись регулярно, щоб гарантувати безпеку та ефективність роботи машини.

## 1. Перевірка місця робіт

До початку робіт над системами, що містять вогненебезпечні холодоагенти, необхідно виконати перевірку безпеки для зведення до мінімуму ризику загоряння. Для ремонту холодильної системи мають бути вжиті такі заходи обережності до початку робіт із системою.

## 2. Порядок дій під час роботи

Роботи повинні виконуватися відповідно до з контрольованим порядком дій, щоб звести до мінімуму ризик присутності вогненебезпечних газів або парів під час виконання робіт.

## 3. Місце ведення робіт

Весь обслуговуючий та інший персонал, який перебуває в місці ведення робіт, має бути проінструктований про характер виконуваних робіт. Необхідно уникати роботи в обмеженому просторі.

## 4. Перевірка присутності холодоагенту

Місце робіт необхідно перевіряти за допомогою відповідного детектора витоку холодоагенту до початку і під час виконання робіт, щоб працюючий фахівець був обізнаний про потенційно вогненебезпечну атмосферу в разі її присутності. Переконайтеся, що використовується спеціалізований газоаналізатор, призначений для вогненебезпечних УВ холодоагентів, тобто з достатнім ступенем герметичності або конструктивно іскробезпечний.

## 5. Наявність вогнегасника

Під час проведення робіт на холодильному обладнанні або сполучених частинах, пов'язаних із підвищенням температури, необхідно мати під рукою відповідні засоби пожежогасіння. У зоні заправки повинен знаходитися вуглекислотний або порошковий вогнегасник.

## 6. Відсутність джерел загоряння

Фахівці, які виконують роботи щодо холодильної системи, яка включає в себе оголення будь-яких трубопроводів, що містять або не містять вогнебезпечний холодоагент, не повинні використовувати будь-які джерела загоряння таким чином, щоб це могло призвести до ризику пожежі або вибуху. Усі можливі джерела загоряння, включно з палінням цигарок, повинні знаходитися на достатньому віддаленні від місця встановлення, ремонту, демонтажу та утилізації, де можливе виділення холодоагенту в навколишній простір. Перед початком робіт необхідно оглянути зону навколо обладнання, щоб переконатися у відсутності небезпеки загоряння або іскроутворення. Повинні бути вивішені знаки "Не палити".

## 7. Забезпечення вентиляції

Перш ніж розкривати систему або проводити будь-які гарячі роботи, переконайтеся, що місце робіт достатньо відкрите або добре вентилязоване. Певний рівень вентиляції має підтримуватися протягом усього періоду виконання робіт. Вентиляція повинна безпечно розсіювати будь-який холодоагент, що виділяється холодоагент і переважно видаляти його назовні в атмосферу.

## 8. Перевірки холодильного обладнання

Під час заміни електричних компонентів вони повинні відповідати призначенню та належним технічним умовам. Завжди слід дотримуватися рекомендацій виробника щодо технічного обслуговування та сервісного обслуговування. Якщо ви сумніваєтеся, зверніться по допомогу до технічного відділу виробника. До холодильних установок з використанням вогнебезпечних УВ холодоагентів застосовують такі види перевірок:

- реальний об'єм заправки залежить від розміру приміщення, в якому розміщені елементи системи, що містить холодоагент;
- вентиляційне обладнання та канали подачі/витяжки повинні адекватно управлятися і не містити перешкод для проходження повітря;

- у разі використання 2-х контурної схеми вторинний контур також має бути перевірений на присутність холодоагенту;

- маркування на обладнанні має зберігатися видимим і розбірливим. Нерозбірливі позначення і знаки мають бути виправлені;

- холодильні трубопроводи або компоненти встановлені в такому положенні, де вони не піддаватимуться впливу речовин, що викликають корозію, якщо тільки вони не виготовлені з матеріалів, які за своєю природою стійкі до корозії або належним чином захищені від такої корозії.

#### 9. Перевірки електротехнічних пристроїв

Ремонт і техобслуговування електротехнічних компонентів повинні включати початкові перевірки безпеки та процедури огляду компонентів. У разі наявності несправності, яка може негативно вплинути на безпеку, не допускається під'єднання пристрою до ланцюга електроживлення до усунення цієї несправності. Якщо несправність не може бути усунена негайно, але необхідно продовжити експлуатацію, слід використовувати відповідне тимчасове рішення. Про це необхідно повідомити власника обладнання, щоб усі сторони були проінформовані.

Початкові перевірки включають:

- перевірку розряду конденсаторів: розряд повинен виконуватися безпечним способом, що виключає можливість іскроутворення;

- перевірку відсутності відкритих електротехнічних деталей і проводки під напругою під час заряджання, відновлення або продування системи;

- перевірку цілісності контуру заземлення.

#### 10. Ремонт герметизованих компонентів

Під час ремонту герметичних компонентів усі джерела електроживлення мають бути відключені від обладнання, що ремонтується, до зняття будь-яких герметичних кришок тощо. У разі абсолютної необхідності подачі електроживлення на обладнання під час техобслуговування, необхідно встановити постійно функціонуючий засіб

виявлення витоків у найнебезпечнішому місці, щоб забезпечити оповіщення про потенційно небезпечну ситуацію.

Під час роботи з електричними компонентами особлива увага має бути приділена тому, що покриття не матиме таких змін, які можуть вплинути на рівень його захисту. Це повинно включати в себе пошкодження кабелів, надмірну кількість з'єднань і якість їхнього виконання, клемники, виготовлені не відповідно до початкової специфікації, пошкодження ущільнень, неправильну установку сальників тощо.

Необхідно забезпечити правильне встановлення апарата. Необхідно переконатися в тому, що стан ущільнень або ізоляційних матеріалів не погіршився до такої міри, що вони вже не можуть перешкоджати проникненню вогнебезпечного середовища. Замінні деталі повинні відповідати специфікаціям виробника.

#### 11. Ремонт конструктивно іскробезпечних елементів

Перш ніж подати в ланцюг будь-які постійні індуктивні або ємнісні навантаження, необхідно переконатися, що це не призведе до перевищення допустимих значень напруги і сили струму для використовуваного обладнання.

Працювати під напругою в присутності вогнебезпечного середовища можна тільки з конструктивно іскробезпечними елементами. Випробувальна апаратура має бути відповідного класу.

Заміна елементів тільки деталями, зазначеними виробником. Використання інших деталей може призвести до загоряння холодоагенту в атмосфері в разі його витoku.

#### 12. Кабельна розводка

Необхідно перевірити, що кабельна розводка в місці встановлення не буде піддаватися корозії, надмірному тиску, вібрації, зносу від гострих кутів або іншим несприятливим впливам навколишнього середовища. При виконанні цієї перевірки необхідно також брати до уваги ефекти старіння і постійної вібрації від таких джерел, як компресори або вентилятори.

### 13. Виявлення витоків вогненебезпечних УВ холодоагентів

За жодних обставин потенційні джерела займання не повинні використовуватися під час пошуку або для виявлення витоків холодоагенту. Забороняється використання галоїдних течешукачів або будь-яких інших засобів виявлення з використанням відкритого полум'я.

14. Видалення холодоагенту та вакуумування При розтині контуру холодоагенту під час виконання ремонтних робіт (або для інших цілей) слід застосовувати загальноприйняті методи. Однак для вогненебезпечних холодоагентів важливо дотримуватися найкращої практики, оскільки займість є найважливішим фактором. Необхідно дотримуватися такої послідовності дій:

- видалити холодоагент;
- виконати продування контуру інертним газом;
- виконати відкачування;
- провести повторне продування інертним газом;
- розкрити контур різкою або пайкою.

Заправлений холодоагент повинен бути повернутий у відповідні балони-утилізатори. Для апаратів, що містять вогненебезпечні холодоагенти, система має бути продута безкисневим азотом, щоб убезпечити установку. Може знадобитися повторення цього процесу кілька разів. Забороняється використовувати для виконання цього завдання стиснене повітря або кисень.

Для виконання продувки вакуум у системі зривають безкисневим азотом і продовжують заповнення системи до досягнення робочого тиску, потім проводять випуск азоту в атмосферу і знижують тиск до вакууму.

Цей процес повторюють до повного видалення холодоагенту із системи. Після виконання остаточного продування азотом тиск у системі знижують до атмосферного тиску. Ця операція є абсолютно необхідною під час виконання робіт із паяння елементів трубної системи.

Переконайтеся, що поруч із вихідним отвором вакуумного насоса немає будь-якого потенційного джерела загоряння і що є вентиляція місця робіт.

#### 15. Порядок заправки

У поєднанні із загальноприйнятими методами заправки необхідно дотримуватися таких вимог:

- Переконайтеся, що під час використання заправного обладнання не відбувається змішування різних холодоагентів. Шланги або трубопроводи мають бути якомога коротшими, щоб звести до мінімуму кількість холодоагенту, що міститься в них.

- Балони повинні перебувати в належному положенні відповідно до інструкцій.

- До заправки холодильної системи холодоагентом необхідно забезпечити її заземлення.

- Після завершення заправки прикріпити до системи ярлик (якщо це ще не зроблено).

- Необхідно проявляти надзвичайну обережність, щоб не переповнити холодильну систему.

Перед перезарядженням системи вона має бути випробувана під тиском з використанням відповідного продувального газу. Система має бути перевірена на герметичність після завершення заряджання, але до введення в експлуатацію. Ще одне додаткове випробування на відсутність витоків виконують перед виходом з об'єкта.

#### 16. Зняття з експлуатації

Перед виконанням цієї процедури важливо, щоб фахівець був повністю ознайомлений з обладнанням і всіма його частинами. Рекомендується використовувати належну процедуру для безпечного вилучення всіх холодоагентів. До початку виконання цієї роботи необхідно взяти пробу оливи та холодоагенту на той випадок, якщо буде потрібне проведення

аналізу перед повторним використанням регенованого холодоагенту. До виконання робіт необхідно забезпечити наявність електроживлення.

- a) Ознайомтеся з обладнанням і його роботою.
- b) Виконайте відключення електромереж.
- c) Перед початком виконання робіт необхідно забезпечити:
  - наявність механічного вантажно-розвантажувального обладнання для переміщення балонів з холодоагентом;
  - наявність індивідуальних засобів захисту та їх правильне використання;
  - постійний нагляд компетентною особою за процесом робіт;
  - відповідність обладнання для збору холодоагенту і балонів встановленим стандартам.
- d) За можливості виконайте відкачування холодоагенту із системи.
- e) Якщо створення вакууму у всій системі неможливе, використовуйте балон (циліндр) для видалення холодоагенту з різних частин системи.
- f) Встановіть балон на ваги до початку процесу збирання холодоагенту.
- g) Запустіть спорожнювальний агрегат і дійте відповідно до інструкцій виробника.
- h) Не переповнюйте балони (не більше 80% рідинного об'єму).
- i) Не перевищуйте максимальний робочий тиск балона, навіть короткочасно.
- j) Після завершення процесу відкачування, закрийте всі відсічні клапани (вентилі) на обладнанні та забезпечте швидке видалення балонів і обладнання з об'єкта.
- k) Зібраний холодоагент не повинен заправлятися в іншу холодильну систему без очищення і перевірки.

#### 17. Прикріплення ярликів

До обладнання необхідно прикріпити ярлик із записом про те, що воно знято з експлуатації і з нього видалено холодоагент. На ярлику мають бути дата і підпис. Для апаратів, що містять вогнебезпечні холодоагенти,

переконайтеся, що на обладнанні є етикетки, які вказують, що обладнання містить легкозаймистий холодоагент.

#### 18. Збір холодоагенту

Під час видалення холодоагенту із системи, під час техобслуговування або зняття з експлуатації рекомендується застосування безпечних методів видалення будь-яких холодоагентів.

Під час заправлення холодоагенту в зливні балони необхідно забезпечити використання тільки придатних для цієї мети балонів. Необхідно забезпечити наявність потрібної кількості балонів для загального заправного об'єму системи. Усі балони, що використовуються, мають бути призначені для вилучення і переробки холодоагенту та марковані для цього холодоагенту (тобто спеціальні балони для витягнутого холодоагенту). Балони мають бути укомплектовані клапаном скидання тиску і відповідними запірними клапанами в справному робочому стані. У порожніх зливних балонах створюють розрідження і, по можливості, їх охолоджують перед початком процесу збирання холодоагенту.

Обладнання для збирання холодоагенту має бути в доброму стані, з набором інструкцій, що стосуються наявного обладнання і придатним для збирання вогнебезпечного холодоагенту. Крім того, має бути в наявності та в справному робочому стані набір каліброваних ваг для зважування. Шланги мають бути оснащені герметичними роз'ємними з'єднаннями і бути в хорошому стані. Перед використанням агрегату для спорожнення необхідно переконатися в тому, що він придатний для роботи, пройшов необхідне технічне обслуговування і що всі супутні електротехнічні деталі герметично закриті для запобігання загоряння в разі витіку холодоагенту. Якщо у вас є сумніви, необхідно проконсультуватися з виробником. Утилізований холодоагент повинен бути повернутий постачальнику холодоагенту в належному утилізаційному балоні з відповідною інструкцією з передачі відходів. Не слід змішувати холодоагенти в зливних установках і особливо в балонах.

У разі видалення компресорів або компресорного мастила необхідно забезпечити створення в них достатнього рівня розрідження, щоб гарантувати, що в мастилi не залишиться вогнебезпечного холодоагенту. не залишиться вогнебезпечного холодоагенту. Перед поверненням компресора постачальнику необхідно виконати його вакуумування. Для прискорення цього процесу можна застосовувати тільки електричний нагрів корпусу компресора. Під час зливу оливи із системи необхідно дотримуватися заходів безпеки.

## ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОЗРОБКИ

Метою даного розділу є забезпечення техніко-економічного обґрунтування запропонованої холодильної машини і доведення економічної доцільності запропонованого варіанту.

Розрахунок капітальних вкладень.

Капітальні витрати складаються з витрат на обладнання та установку холодильної машини.

$$K = C_{\text{монт}} + C_{\text{об}}, \text{ грн};$$

1) Вартість монтажних робіт визначається збільшеними показниками. Ціну складання верстата ми приймаємо виходячи з середньої вартості монтажних робіт на обладнанні - 50 грн. за 1 кг обладнання. У першому наближенні маса готової машини становить 1500 кг.  $C_{\text{монт}}$

$$C_{\text{монт}} = M_{\text{маш}} \cdot c_{\text{монт}}, \text{ грн};$$

де:

$M_{\text{маш}} = 1500$  кг, маса машини при зборці;

$c_{\text{монт}} = 50$  грн./кг вартість вантажу одного кг обладнання;

$$C_{\text{монт}} = 1500 \cdot 50 = 75000 \text{ грн};$$

2) Вартість обладнання визначається прејскурантом і підсумовується в табл. 7.

Таблиця 7. Вартість обладнання

№ п/п	Найменування обладнання та його характеристика	Од. виміру	Кіл-ть	Вартість од. обладнання (грн)	Загальна вартість обладнання (грн)
1	Поршневий компресор	шт.	1	38000	38000
2	Ресивер лінійний	шт.	1	4400	4400
3	Кожухотрубний випарник	шт.	1	22000	22000
4	Масловіддільник	шт.	1	6600	6600
5	Конденсатор повітряний	шт.	1	18000	18000
6	Віддільник рідини	шт.	1	4840	4840
7	Комплект запірної та регулювальної арматури	шт.	1	56000	56000
8	Поєднаний силовий щит і автоматики	шт.	3	110000	110000
Сумарна вартість обладнання		259 840 грн			
Витрати на пакування, транспортування 8%		63 620 грн			
Витрати на монтаж за місцем 15%		38 976 грн			
Усього вартість обладнання		319 603 грн			

## Висновки

1. Низькотемпературну комплексну холодильну машину спроектовано на основі вивчення номенклатури холодильного обладнання та наявності попиту на такі машини в різних галузях промисловості.

2. Прийнята в проєкті схема і конструктивне рішення забезпечує:

- високий рівень використання сучасного холодильного технологічного обладнання.

- малопоемність та екологічну безпеку системи з природним холодоагентом R290.

- регулювання продуктивності на засадах енергозбереження в залежності від потреб технологічних процесів виробництва з використанням холоду.

3. Ступінь термодинамічної досконалості циклу 0,5, реалізованого в низькотемпературному режимі (-15/35), забезпечує спроектованій машині високий рівень енергоефективності відповідно до світових стандартів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Поршневий компресорно-конденсаторний агрегат [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstreamdownload/123456789/85840/1/Mazur\\_bac\\_rob.pdf;jsessionid=94C30C57FC04BE17903E8B26C60FCFC4](https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstreamdownload/123456789/85840/1/Mazur_bac_rob.pdf;jsessionid=94C30C57FC04BE17903E8B26C60FCFC4)
2. Гвинтовий компресорний агрегат з оливовіддільником і водяним охолоджувачем [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/85840/1/Mazur\\_bac\\_rob.pdf;jsessionid=94C30C57FC04BE17903E8B26C60FCFC4](https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/85840/1/Mazur_bac_rob.pdf;jsessionid=94C30C57FC04BE17903E8B26C60FCFC4)
3. Чиллер на спіральних компресорах для систем кондиціонування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://energotech.kiev.ua/ua/p995406825-chiller-spiralnyh-kompressorah.html>
4. Чиллер CIATCOOLER ILK [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://chiller-pro.ru/catalog/chillery/chillery-carrier/chillery-carrier-30xav-500-800/carrier-30xav500.html>
5. Чиллер CIATCOOLER ILK [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.c-o-k.ru/library/instructions/ciat/kondicionery-promyshlennye/8323/24786.pdf>
6. Чиллер BlueBox KAPPA V ECHOS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.c-o-k.ru/library/instructions/blue-box/kondicionery-promyshlennye/8223/24444.pdf>
7. Модульний чиллер TICA з водяним охолодженням [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/tica/30806/111276.pdf>
8. Поршневий компресор 8GE-60Y-40P [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bitzer.de/websoftware/Calculate.aspx?cid=1686712721624&mod=ННК>
9. Конденсатор повітряного охолодження FNH [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://arcticholod.ru/Podrobno.php?id\\_t=2146](https://arcticholod.ru/Podrobno.php?id_t=2146)

10. Кожухотрубний випарник [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://piterholod.ru/remont-kozhukhotrubnogo-isparitelya.html>
11. Теплофізичні і термодинамічні властивості R290 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/15925206/page:76/>
12. Теплофізичні і термодинамічні властивості етиленгликоля [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.studmed.ru/view/bogdanov-sn-ivanov-op-kupriyanova-av-holodilnaya-tehnika-svoystva-veschestv-spravochnik\\_6a75b20e3a3.html?page=8](https://www.studmed.ru/view/bogdanov-sn-ivanov-op-kupriyanova-av-holodilnaya-tehnika-svoystva-veschestv-spravochnik_6a75b20e3a3.html?page=8)
13. Конструкція горизонтального кожухотрубного випарника з кипінням холодоагенту у трубі з внутрішнім ребренням [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/3549123/page:18/>
14. Вентилятор повітряного конденсатора [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://weiguang.7910.org/product\\_info.php/cPath/24/products\\_id/13](http://weiguang.7910.org/product_info.php/cPath/24/products_id/13)
15. Ресивер вертикальний GOKCELER RDCG [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://energoholod.com.ua/ru/resiver-vertikalnyy-gokceler-rdcg-30.html>
16. Теплофізичні і термодинамічні властивості R290 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/15925206/page:76/>