

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра теплотехніки

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри теплотехніки
 к.т.н., доцент Г.О. Кобалава
« 10 » червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: «Розробка проєкту холодильної установки для провізійних комор танкера-хімовозу «Bow Orion» дедвейтом $D_w=49\,000$ т»

Виконав: студент IV курсу, групи 4257
спеціальності

142 «Енергетичне машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

«Холодильні машини і установки»

(назва освітньо-професійної програми)

Георгій ШЕВЧЕНКО

(прізвище та ініціали)

Керівник Віктор САМОХВАЛОВ

(прізвище та ініціали)

Рецензент Іван КАЛІНІЧЕНКО

(прізвище та ініціали)

Херсон – 2026

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ХННІ НУК, енерготехнічний факультет

Кафедра теплотехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

(шифр і назва)

Спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування»

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма «Холодильні машини і установки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

к.т.н., доц. І.В. Калініченко

« 22 » квітня 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

здобувача **Шевченко Георгій Олександрович, група 4257**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Розробка проєкту холодильної установки для провізійних комор танкера-хімовозу «Bow Orion» дедвейтом Dw=49 000 т»**

керівник роботи **Самохвалов В.С., к.т.н., доцент**

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

затверджені наказом ректора НУК від « 22 » квітня 2026 року № 293уч

2. Термін подання студентом роботи « 10 » червня 2026 року.

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

Вступ.

Розділ 1. Загальний опис об'єкту дослідження. Мета кваліфікаційної роботи.

Розділ 2. Теплові розрахунки комплексу рефрижерації.

2.1. Вибір параметрів повітря і води в залежності від району та параметрів продуктів, що зберігаються необмежений район плавання, швидкопсувні вантажі.

2.2. Вибір ізоляційних конструкцій огорож приміщення, що охолоджується.

2.3. Розрахунок теплоприпливів у приміщення, що охолоджується.

2.4. Вибір системи охолодження та холодильного агенту.

Розділ 3. Проєктування холодильної машини.

3.1. Побудова циклу холодильної машини на *pI*-діаграмі та його розрахунок.

3.2. Підбір холодильного компресора, теплообмінних апаратів, системи автоматичного регулювання і захисту.

3.3. Розміщення обладнання холодильної установки.

Розділ 4. Конструктивний розрахунок теплообмінника (охолоджувача, нагрівача, випарника, конденсатора) _____

Розділ 5. Охорона праці _____

Висновки.

Список використаних літературних джерел.

Розрахунково-пояснювальна записка (60...80 сторінок тексту) повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

4. Перелік графічного матеріалу

1. Креслення приміщення, що охолоджується, з ізоляцією та приладами охолодження – 1 аркуш формату А1.
2. Принципова схема та цикл холодильної машини на p -діаграмі – 1 аркуш формату А2.
3. Компонувальне креслення компресора, компресорно-конденсаторного агрегату або холодильної машини – 1 аркуш формату А1.
4. Креслення теплообмінника _____ – 1 аркуш формату А1.

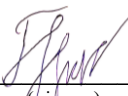
5. Дата видачі завдання « 22 » квітня 2026 року.

Дата представлення на кафедрі « 10 » червня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ + розділ 1	28 квітня	виконано
2.	Розділ 2 + креслення приміщення, що охолоджується	до 07 травня	виконано
3.	Розділ 3 + креслення принципової схеми та циклу холодильної машини на pI -діаграмі	до 15 травня	виконано
4.	Компонувальне креслення компресора, компресорно-конденсаторного агрегату або холодильної машини	до 23 травня	виконано
5.	Розділ 4 + креслення теплообмінника	до 02 червня	виконано
6.	Розділ 5 + висновки	до 06 червня	виконано
7.	Остаточне оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічного матеріалу; подання кваліфікаційної бакалаврської роботи на кафедрі	до 10 червня	виконано

Здобувач


(підпис)

Георгій ШЕВЧЕНКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Віктор САМОХВАЛОВ

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шевченко Георгій Олександрович, група 4257.

«Розробка проєкту холодильної установки для провізійних комор танкера-хімовозу «Bow Orion» дедвейтом $D_w=49\,000$ т».

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації бакалавр за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування (освітньо-професійна програма «Холодильні машини і установки»). Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон, 2026 р.

Метою даної бакалаврської роботи є дослідження і розрахунок холодильної установки для провізійних комор контейнеровоза.

Проведений розрахунок теплоприпливів через ізоляційну конструкцію провізійної комори. У третьому розділі побудований цикл холодильної машини в $P-h$ діаграмі холодильного агента R-448A, та проведений його розрахунок. Виконаний підбір холодильного компресора марки Bitzer марки Ecoline 4EES-4Y-40S, теплообмінних апаратів та іншого устаткування. У четвертому розділі роботи зроблений конструктивний розрахунок теплообмінного апарата - конденсатора, та підібрано обладнання.

Заходи з охорони праці у машинному відділенні наведені у п'ятому розділі, проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів, яким піддається персонал під час експлуатації на судні, розглянуто заходи, щодо зменшення їх впливу.

Ключові слова: холодильна машина, компресор, теплообмінний апарат, холодильний агент, $p-h$ діаграма.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.00	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Shevchenko Georgy Oleksandrovych, group 4257.

"Development of a refrigeration plant project for the provision stores of the chemical tanker "Bow Orion" with a deadweight of $D_w=49,000$ tons".

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 142 Power Engineering (educational and professional program "Refrigeration machines and plants"). Kherson Educational and Scientific Institute of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, 2026.

The purpose of this bachelor's work is to study and calculate a refrigeration plant for the provision stores of a container ship.

The calculation of heat inflows through the insulating structure of the provision store was carried out. In the third section, a refrigeration cycle is built in the P-h diagram of the refrigerant R-448A, and its calculation is carried out. A Bitzer Ecoline 4EES-4Y-40S refrigeration compressor, heat exchangers and other equipment were selected. In the fourth section of the work, a structural calculation of the heat exchanger - condenser was made, and equipment was selected.

Occupational safety measures in the engine room are given in the fifth section, an analysis of dangerous and harmful factors to which personnel are exposed during operation on the vessel was carried out, measures to reduce their impact were considered.

Keywords: refrigeration machine, compressor, heat exchanger, refrigerant, pH diagram.

					КРБ.142.4257.09.05.П3.00	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ, КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ	11
1.1. Загальні відомості.	11
1.2. Основні технічні характеристики судна.....	12
1.3. Енергетична установка.	17
1.4. Висновки за розділом 1.	18
РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВІ РОЗРАХУНКИ КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ.....	20
2.1. Вибір параметрів повітря та води в залежності від параметрів продуктів, що зберігаються.	20
2.2. Вибір ізоляційних конструкцій огорож приміщення, що охолоджується..	21
2.3. Визначення сумарного теплопритоку і холодопродуктивності СХУ.....	24
2.4. Вибір системи охолодження та холодильного агенту.	29
2.5. Висновки за розділом 2.	31
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ	33
3.1. Побудова циклу холодильної машини на p, h -діаграмі та його розрахунок.	33
3.2. Підбір холодильного компресора, теплообмінних апаратів та іншого устаткування холодильної установки.....	36
3.3. Розміщення обладнання холодильної установки у приміщенні.	45
3.4. Система автоматичного керування холодильною установкою.....	46
3.5. Висновки за розділом 3.	47
РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІННИКА.....	49
4.1. Тепловий розрахунок конденсатора	49
4.2. Вибір та опис конструкції конденсатора.....	51
4.3 Висновки по розділу 4	55

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.00	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	57
5.1. Аналіз небезпек в машинному відділенні на рефрижераторних суднах. ...	57
5.2. Можливі причини пожеж у МВ та засоби для їх гасіння	57
5.3 Розрахунок системи штучного освітлення машинного відділення	59
5.4. Висновки за розділом 5.	61
ВИСНОВКИ.....	62
ЛІТЕРАТУРА	63

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.00	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

В - випарник

ВцК – відцентровий компресор

ГД – головний двигун

ДАУ – дистанційне автоматичне управління

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння

ДГ – дизель-генератор

ДК – дросельний клапан

ККД – коефіцієнт корисної дії

Км – компресор

Кн – конденсатор

КнВ – конденсатор – випарник

МВ – мастиловіддільник

Н – насос

НС – навколишнє середовище

Ох – охолодник

ПК – поршневий компресор

ПКХМ – парокомпресорна холодильна машина

ПО – проміжний охолодник

ПП – проміжна посудина

РК – регулюючий клапан

РТ – реле температури

СХУ – судова холодильна установка

ТОА – теплообмінний апарат

ХА – холодильний агент

ХМ – холодильна машина

D – Danfoss;

GE – General Electric.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.00	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Розвиток суднових холодильних установок, пристосованих для охолодження складських приміщень транспортних суден, йде по шляху створення компактних компресорно-конденсаторних установок, які відрізняються більш високими енергетичними показниками, можливістю зміни холодопродуктивності в широких межах.

Метою роботи є розрахунок холодильної для провізійних комор танкера-хімовозу «Bow Orion» дедвейтом $D_w=49\ 000$ т, з урахуванням ізоляції та теплоприпливів.

Застосування більш ефективних холодоагентів дозволяє створювати більш прості схеми одноступеневої компресії з використанням безсальникових компресорів. Це дозволяє зменшити займану площу та об'єм, зменшити все обладнання, досягти більш повної автоматизації, полегшити технічне обслуговування та підвищити безпеку експлуатації.

Застосування систем прямого охолодження складських приміщень за рахунок кипіння холодоагенту в повітроохолоджувачах має низку суттєвих переваг у порівнянні з акумуляторними системами та дозволяє значно підвищити енергетичні характеристики холодильного агрегату.

Охолоджувані приміщення використовують тільки безпосередню систему охолодження з хладоном R448A.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 26 найменувань. Загальний обсяг роботи складає 65 сторінки, містить 10 рисунків та 6 таблиць.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.00	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.01			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Шевченко Г.						
Керівник		Самохвалов В.С.						
Консульт.								
Зав.каф.		Кобалава Г.О.				ХННІ НУК 10		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ, КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ

1.1. Загальні відомості.

Суднобудівник: Верф Hudong-Zhonghua

Назва судна: Bow Orion

Власник/Оператор: Одф'єлль

Країна: Норвегія

Проектувальник:Shanghai Merchant Ship Design &
Research Institute (SDARI)

Країна: Китай

Прапор:Норвегія (NIS)

Номер IMO: 9818515

Загальна кількість суден: 3

Спроектований SDARI та побудований суднобудівною групою Hudong-Zhonghua, Bow Orion водотоннажністю 49 000 тонн, доставлений в Одф'єлл, є одним із тих хімічних танкерів, відомих у цьому секторі як суперсегрегатори (Рис. 1.1).

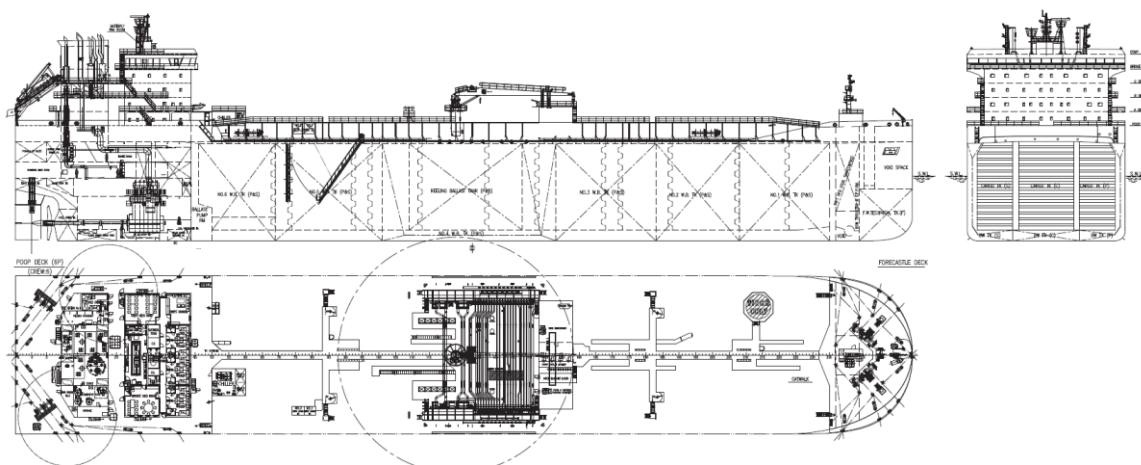


Рисунок 1.1. Зовнішній вид хімовозу «Bow Orion»

Такі танкери експлуатуються відносно невеликою кількістю провідних операторів хімічних танкерів, а назва посиляється на той факт, що такі судна мають набагато більше танків і різних розмірів, ніж більш традиційні судна. Після доставки в серпні Vow Orion став найбільшим хімічним танкером з нержавіючої сталі, що експлуатується (рис. 1.2).



Рисунок 1.2. Зовнішній вид хімовозу «Vow Orion»

Судно має не менше 33 вантажних танків загальним об'ємом 54 000 м³, розміром від 595 м³ до 2919 м³, всі вони підходять для вантажів ІМО типу II. Судно може перевозити вантажі з різною питомою вагою та температурою до 80°C. Кожен з вантажних танків з нержавіючої сталі оснащений власною системою трубопроводів та гідравлічним занурювальним насосом Framo, а також системами очищення танків Scanjet. Систему управління вантажем,

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

необхідну для забезпечення належного тиску та температури в кожному танку, поставила компанія Kongsberg.

1.2. Основні технічні характеристики судна.

Довжина оа:182,88 м

Довжина по борту: 179,43 м

Ширина по борту: 32,20 м

Глибина по борту

до головної палуби: 19,80 м

Осадка

по розміру: 13,2 м

проектна: 11,0 м

Бруто: 34 646 ГТ

Дедвейт

по розміру: 49 000 т

Швидкість, експлуатаційна (--% від потужності MCR):14,0 вузлів

Вантажний об'єм (м³)

Об'єм рідини: 54 600 м³

Бункери (м³)

Важка нафта: 2 119 м³

Дизельне паливо: 567 м³

Танкери – відсоток розділеного баласту: . 18 513 м³

Добове споживання палива (тонн/день)

Тільки головний двигун: 19.02(NCR) 29,26(SMCR)

Класифікаційне товариство та позначення:DNV + 1A1 танкер для хімікатів та нафтопродуктів, особливо, E0,CSR, ETC, BIS, NAUT(OC), TMON,

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.01	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

CCO, F(A), COAT-PSPC(B,V),VCS(2), BWM(T),BMON, Recyclable,
HL(1.67,CentreTankC1-C13Only),ShipType2, a2, b3, c3, f2, str 0.075, k, ss

Головний двигун

Конструкція: 7 820 кВт (SMCR)

Виробник:NHM

Номер: 1

Тип палива:HFO

Потужність кожного двигуна: 7 820 кВт (SMCR)

Це дизель-електричний чи гібридний?:Ні

Гвинт(и)

Кількість: 1

Фіксований/Керований крок:Фіксований

Діаметр: 7,0 м

Дизельні генератори

Кількість: 4

Марка/тип двигуна: CSSC Marine Power/
5L2832 та 6L2832

Тип палива:HFO

Марка/тип генератора:

Потужність/швидкість кожного комплекту:1 060 кВт та
720 об/хв/5L2832 1 320 кВт та 720 об/хв/6L2832

Котли

Кількість: 2

Марка:Alfa Laval

Продуктивність кожного котла: 12,5 т/год

Носовий(і) підрулювальний(і) пристрій(и)

Кількість: 1

Продуктивність (кожен): 1200 кВт

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.01	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Палубні механізми

Вантажні крани/вантажне спорядження

Кількість: 1

Марка: TTS Bohai

Тип:Електрогідравлічний кран з

шлангом

Продуктивність 10 т 4,9~24 м

Інші крани

Кількість: 2

Марка: TTS Bohai

Тип:Електрогідравлічний кран

Завдання:Забезпечення та обслуго-

вування запасних двигунів

Продуктивність: 4 т 2,2~10 м

Швартовне обладнання

Кількість: 7

Марка:TTS Marine

Тип (електричний/гідравлічний/паровий): Гідравлічний

Рятувальне обладнання

Кількість кожного та місткість: 38 осіб

Марка:Jiangsu Jiaoyan Marine

Equipment Co.,Ltd

Тип:Рятувальна шлюпка вільного падіння

Вантажні танки

Кількість: 33

Сорти вантажу, що перевозиться: 33

Асортимент продукції: Хімікати, ІМО тип II

та III; Чисті нафтопродукти (температура спалаху нижче 60°C)

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

Нержавіюча сталь – конструкція/трубопроводи: Дуплексна 2205 для вантажного танка/ AISI 316L для трубопроводів;

Вантажні насоси

Кількість: 33

Тип:Занурювальний відцентровий насос з гідравлічним приводом

Виробник:Framo

Нержавіюча сталь:AISI 316L

Місткість (кожна): 600 м3/Нх120 мл³ або 330 м³/

Нх120 мл³. Масова гальмівна маса: 0,8, В'язкість: 1,0 сСт

Система керування вантажем

Марка:Kongsberg

Тип:K-Gauge CLS 600

Система очищення баластних вод

Марка:Alfa Laval

Продуктивність: 2х750 м3/год

Екіпаж

Офіцери 14

Екіпаж: 17

Ремонтний екіпаж: 6

Навігаційне та інше обладнання

Система керування містком

Марка:NanJing Friend

Тип:DNV NAUT-OC схема

Марка:Sperry Marine

Модель: DNV NAUT-OC

Радари

Кількість 2

Марка:Sperry Marine

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		16

Модель(і):X-Band Антена картографічного радіолокатора

65608/A-7 8 футів, S-діапазон, антена картографічного радіолокатора

65612/A-16 12 футів

Система пожежної сигналізації

Виробник: Autronica

Тип:116-BZ-500 4 адресні петлі

Ефективність

Досягнуте значення EEDI: Фаза II

Необхідне значення EEDI: Фаза I

Дата укладення договору:31 жовтня 2016 р.

Дата поставки: 26 серпня 2019 р.

1.3. Енергетична установка.

Bow Orion призначений для використання в маршруті «Навколо світу» компанії Odfjell, де клієнти дуже вимагають гнучкості судна. Мотивом замовлення судна Odfjell було поєднання задоволення попиту клієнтів на такі судна та заміни свого старіючого флоту. Ще одним рушійним фактором у проектуванні була енергоефективність, що забезпечується оптимізованою формою корпусу, яка відмовляється від традиційного опуклого носа. Привід забезпечується головним двигуном типу MAN B&W 6G50ME-C9.5. Така конструкція дозволяє зменшити витрату палива на 14% та збільшити вантажомісткість більш ніж на 30% порівняно з іншими суднами флоту Odfjell. Відповідність екологічним вимогам забезпечується системою SCR для зменшення викидів NOx та використанням відповідного палива для дотримання правил SOx 2020 року. Відповідність вимогам щодо баластних вод досягається завдяки встановленню системи Alfa Laval PureBallast

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		17

продуктивністю 500 м³/год. Також на судні встановлений 2 котла марки Alfa Laval паропроодуктивністю до 12,5 т/годину з тиском 1,0 МПа.

1.4. Висновки за розділом 1.

В першому розділі роботи описано судно-прототип хімовоз «Bow Orion» дедвейтом $D_w=49\ 000$ т та приведена загальна характеристика судна, енергетичної установки, що складається з головного двигуна MAN B&W модель 6G50ME-C9.5, трьох дизель-генераторів CSSC Marine Power/5L2832 & 6L2832 та утилізаційного котла Alfa Laval паропроодуктивністю до 12,5 т/годину з тиском 1,0 МПа.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		18

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.02					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Студент	Шевченко Г.				Розділ 2			Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Самохвалов В.С.									
								ХННІ НУК		
Консульт.										
Зав.каф.	Кобалава Г.О.				19					

РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВІ РОЗРАХУНКИ КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ.

2.1. Вибір параметрів повітря та води в залежності від параметрів продуктів, що зберігаються.

Для вибору параметрів робочого середовища необхідно знати умови експлуатації приміщення, що обслуговується. Відповідно ISO вимогам (ISO 3046-1: 2002; ISO 1550: 2002), для судна з необмеженим районом плавання прийняті наступні температури [3, 4]:

температура зовнішнього повітря +34 °С;

температура забортної води +30 °С.

Згідно «Санітарним правилам для морських суден» прийняті наступні температури повітря в камерах:

- камера м'яса - 12 °С;
- камера риби - 8 °С;
- камера овочів + 4 °С;
- камера сухої провізії + 10 °С.

До даної системи пред'являються наступні вимоги [3, 4]:

- ефективні способи відведення теплоти з приміщення і достатня теплова акумуляційність;
- універсальність (придатність для перевезення різних вантажів);
- безпека для членів екіпажу та вантажу;
- економічність системи та надійність в роботі;
- простота і зручності в експлуатації.

Розташування приміщень на судні представлені на рис. 2.1.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.02	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

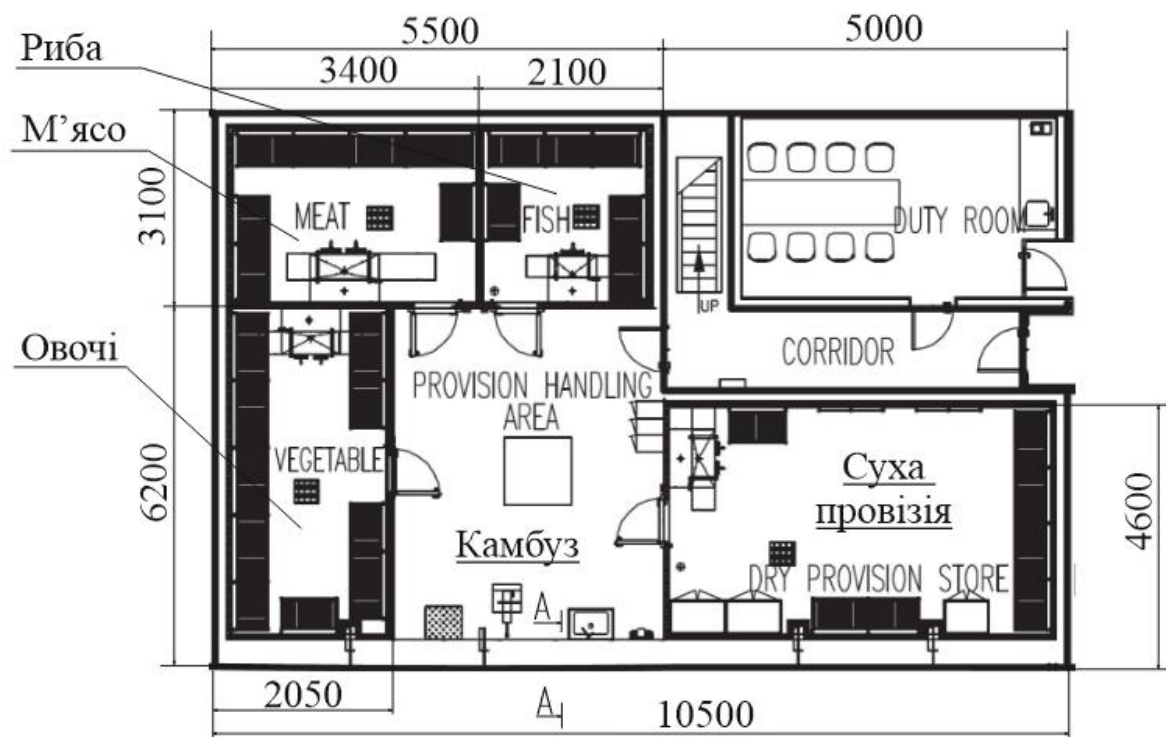


Рисунок 2.1. Провізійні комори судна

2.2. Вибір ізоляційних конструкцій огорож приміщення, що охолоджується.

Головним споживачем холоду в провізійних камерах є теплота, яка надходить до приміщень, що охолоджуються, ззовні, крізь конструкції огорожень. Зменшення зовнішніх теплоприпливів сприяє зменшенню холодопотреби судна. Це можливо забезпечити шляхом виконання теплової ізоляції огорожувальних поверхонь. Чим нижча теплопровідність ізоляційного матеріалу та більша її товщина, тим менше теплоти проходить до приміщення. Але із збільшенням товщини ізоляції зменшується корисний вантажний об'єм приміщень, що ізолюються, та зростають вартість ізоляційного матеріалу та його монтаж. Для теплоізоляції застосовують матеріали, у яких низький коефіцієнт теплопровідності.

Особливості конструкцій ізолюючих огорож суднових охолоджуваних приміщень визначаються Правилами морського класифікаційного товариства, відповідно до яких, повинне бути забезпечено виконання наступних вимог [5]:

В охолоджуваних приміщеннях всі металеві частини корпусу судна повинні бути ретельно ізольовані;

Ізоляція охолоджуваних приміщень повинна бути виконана з біостійких, і, як мінімум, негорючих матеріалів, що не мають запаху, бажано з малою об'ємною масою і низьким коефіцієнтом теплопровідності. Ізоляційні матеріали повинні бути схвалені класифікаційними органами. Дистанційні прокладки, що відділяють ізоляцію від сталевих поверхонь суміжних приміщень цистерн і настилу другого дна, повинні бути виконані з нафтостійкого матеріалу, що не згоряє, не виділяє запаху.

Ізоляція охолоджуваних приміщень повинна бути захищена від проникнення вологи, а також від пошкоджень гризунами та покритою обшивкою.

Трубопроводи не повинні мати безпосереднього контакту з перегородками або палубами в місцях проходів через них щоб уникнути виникнення теплових містків.

Матеріал повинен володіти низьким коефіцієнтом теплопровідності λ_{iz} ;

Мати малу об'ємну вагу γ ;

Володіти зниженими значеннями паропроникності, гігроскопічності і водопоглинання;

Бути міцним, еластичним, вібростійким, морозостійким, біостійким, технологічним;

Володіти тривалим терміном служби, не повинен викликати корозії металів;

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.02	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Бути пожежобезпечним;

Не виділяти шкідливих речовин, не передавати продуктам харчування запах, бути несприйнятливим до запахів.

Для теплоізоляції провізійних камер судна використовуються теплоізоляційні плити з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda=0,045$ Вт/(м·К), густина 80 кг/м³ та дерев'яні бруси з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda=0,25$ Вт/(м·К) [6, 10].

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі ізоляційної конструкції

Для Конструкції ізоляції і зашивки з розташуванням обрешітника перпендикулярно до набору (рис. 2.2) коефіцієнт теплопередачі визначається за формулою, Вт/м²·с,

$$K_0 = \frac{\lambda_{i3}}{s} \left(\frac{\epsilon}{l} + 4,6 \lg \frac{n+i}{l} + \frac{S-2h-\epsilon}{H} \right).$$

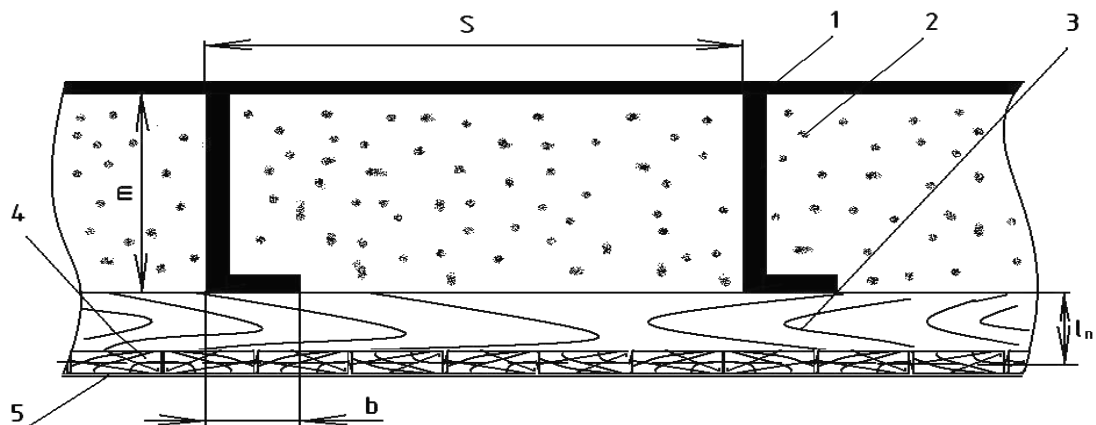


Рисунок 2.2. Конструкція ізоляції і зашивки з розташуванням обрешітника перпендикулярно до набору

1 – металева обшивка корпусу судна; 2 – пінопласт; 3 – брусок 50х50;
4 – дошка; 5 – захисний лист

Для розрахунку тепло припливу вибираємо середнє значення коефіцієнта теплопередачі $k=0,6 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ згідно [10].

2.3. Визначення сумарного теплопритоку і холодопродуктивності СХУ

2.3.1. Дані для розрахунку

Провізійні камери призначені для зберігання продуктів харчування для суднової команди та пасажирів. Їх ємність повинна бути достатньою для забезпечення суднового складу продуктами на весь період рейсу. Також, на цеменьовозах холодильна установка повинна обслуговувати потреби невеликого рефрижераторного приміщення, призначеного для невеликих партій швидкопсувних вантажів.

Теплоприливи до провізійної камери складаються з наступних величин:

Q1 – теплоприливи через огорожі;

Q2 – теплоприливи при термообробці вантажу;

Q3 – теплоприливи при вентиляції камер;

Q4 – теплоприливи від працюючих електровентиляторів повітроохолоджувачів;

Q5 – інші теплоприливи.

2.3.2. Теплоприливи через огорожі конструкцій

Витрата холоду на асиміляцію теплоприпливів крізь ізоляцію залежить від різниці температур та коефіцієнтів теплопередачі окремих переборок та визначається за формулою, Вт,

$$Q_1 = Q_{1c} + Q_{1т},$$

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.02	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

де Q_{1c} – теплоприпливи від поглинання зовнішньої поверхні огорож теплоти сонячної радіації; Q_{1c} не ураховується, оскільки камери не мають поверхонь, відкритих сонячній радіації.

Q_{1T} – теплоприпливи від різниці температур зовнішнього повітря та повітря в камерах, Вт.

Теплоприпливи від різниці температур зовнішнього повітря та повітря в камері знаходимо за формулою, Вт [10],

$$Q_{1T} = k_1 F (t_n - t_k), \text{ Вт},$$

де k_1 – коефіцієнт теплопередачі огорожі, Вт/(м²·К);

F – площа огорожі, м²;

t_n – температура навколишнього середовища;

t_k – температура повітря камери.

Результати розрахунку приведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Результати розрахунку теплоприпливу через огорожі

Найменування огорожі		$F, \text{ м}^2$	$k, \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	$t_k, ^\circ\text{C}$	$t_n, ^\circ\text{C}$	Δt	$Q_{1T}, \text{ Вт}$	$\Sigma Q_{1T}, \text{ Вт}$
Камера м'яса	Нос. переборка	9,3	0,6	-12	22	34	190	
	Корм. переборка	9,3	0,6	-12	22	34	190	
	Правий борт	10,2	0,6	-12	10	22	135	
	Лівий борт	10,2	0,6	-12	-8	4	24	
	Підволоок	10,54	0,6	-12	22	34	215	
	палуба	10,54	0,6	-12	22	34	215	969
Камера риби	Нос. переборка	9,3	0,6	-8	22	30	167	
	Корм. переборка	9,3	0,6	-8	22	30	167	
	Правий борт	6,3	0,6	-8	4	12	45	
	Лівий борт	6,3	0,6	-8	-12	4	15	
	Підволоок	6,51	0,6	-8	22	30	117	
	палуба	6,51	0,6	-8	22	30	117	630

Продовження табл. 2.1.

Камера сухої провізії	Нос. переборка		0,6	-8	22	30	157	
	Корм. переборка	8,7	0,6	-8	22	30	157	
	Правий борт	8,7	0,6	-8	4	12	63	
	Лівий борт	8,7	0,6	-8	-12	4	21	
	Підволок	8,41	0,6	-8	22	30	151	
	палуба	8,41	0,6	-8	22	30	151	699
Камера овочів	Нос. переборка	15,6	0,6	10	22	12	112	
	Корм. переборка	15,6	0,6	10	22	12	112	
	Правий борт	19,5	0,6	10	30	20	234	
	Лівий борт	19,5	0,6	10	-12	22	257	
	Підволок	33,8	0,6	10	22	12	243	
	палуба	33,8	0,6	10	22	12	243	1203
Сумарні теплоприпливи через огорожі камер, Вт								3618

2.3.3. Теплоприпливи від термообробки і охолодження тари

Ці теплоприпливи не ураховуються, бо заморожені продукти надходять до провізійних камер з температурами, близькими до температур їх зберігання, і значного коефіцієнта робочого часу відповідних компресорів в режимі термообробки не відбувається.

2.3.4. Теплоприпливи при вентиляцію комор

Теплоприпливи від вентиляції визначаються за формулою, Вт,

$$Q_3 = \frac{10^3}{24 \cdot 3600} \cdot V_k \cdot \rho_n \cdot n \cdot C_p \cdot (t_n - t_k) = 0,01 \cdot V_k \cdot \rho_n \cdot n \cdot (t_n - t_k),$$

де V_k – об'єм вентиляваної камери, м³;

ρ_n – густина повітря при t і ϕ підтримуваних в камерах, кг/м³;

n – кратність обміну повітря, обм/добу;

C_p – теплоємність зовнішнього повітря; $c = 1,05$ кДж/(кг·К);

t_n – температура зовнішнього повітря, °С;

t_k – температура в камері, °C.

Результати розрахунку зведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Результати розрахунку теплоприпливу при вентиляції комор

Комора	t_n , °C	t_k , °C	Δt , °C	n	V_k , м ³	Q_3 , Вт
М'яса	30	-12	42	2	31,62	31
Риби	30	-8	38	2	19,53	19
Сухої провізії	30	+10	20	3	69	67
Овочів	30	+4	26	4	57,195	56
Сумарні теплоприпливи при вентиляції комор, Вт						173

2.3.5 Теплоприливи від працюючих механізмів у коморах

На судні застосовано безканальне повітроохолодження, електродвигуни, що вбудовано в ПО для роботи електровентиляторів, знаходяться в охолоджуваних приміщеннях.

Тоді теплоприпливи від працюючих механізмів, Вт,

$$Q_4 = \frac{\tau_y}{24} \psi_{\text{мех}} N_{\text{ед}} \cdot \Pi,$$

де τ_y – час роботи СХУ, 24 години;

$\psi_{\text{мех}}$ – коефіцієнт одночасності роботи механізмів; $\psi_{\text{мех}}=0,7$ [8];

$N_{\text{ед}}$ – потужність, яка споживається електродвигунами; $N_{\text{ед}}=140$ Вт;

Π – кількість приладів охолодження, штук.

З огляду на відсутність даних про потужність, що споживається електродвигунами, та малу величину цих теплових надходжень, враховується встановлена потужність електродвигунів вентиляторів базової установки.

Результати розрахунків зведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Результати розрахунків теплоприпливу від працюючих в коморах механізмів

Найменування. камери	кількість ПО	Ne кВт	Q ₄
м'яса	1	0,14	98
риби	1	0,14	98
сухої провізії	2	0,28	196
овочів	1	0,14	98
Сумарні теплоприпливи від працюючих в коморах механізмів			490

2.3.6. Розрахунок інших тепло припливів

До інших теплоприпливів від усіх теплоприпливів, які раніше не були враховані (теплоприпливи від відкриття дверей, від освітлення, від перебування персоналі тощо).

Ці теплоприпливи знаходять за формулою:

$$Q_5 = 0,2 \cdot Q_1 = 0,2 \cdot 3618 = 724 \text{ Вт.}$$

2.3.7. Сумарні теплоприпливи в режимі зберігання

Сумарні теплоприпливи в режимі зберігання знаходимо за формулою:

$$Q_{\text{зберіг}} = Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 3618 + 173 + 490 + 724 = 5100 \text{ Вт.}$$

Сумарні теплоприпливи в режимі зберігання в провізійних камерах приймаємо $Q_{\text{зберіг}} = 5,1 \text{ кВт.}$

2.4. Вибір системи охолодження та холодильного агенту.

Комплекс охолоджувальних пристроїв (компресор, конденсатор, випарник), вентиляторів, насосів та повітроводів, за допомогою яких здійснюється відведення теплоти від провізійних камер, складають судову систему охолодження.

Головні вимоги, яким має задовольняти судова система охолодження [4, 5]:

- система охолодження провізійних комор повинна забезпечувати хороше теплове екранування огорожувальних поверхонь камери з метою перехоплення зовнішніх теплоприпливів, забезпечуючи одночасно рівномірне обтікання повітрям у провізійних камерах вантажу для швидкого та ефективного відведення теплоти;

- забезпечувати рівномірне (однорідне) температурне поле у будь-якій точці провізійної камери з мінімальним відхиленням від оптимальних значень для даного вантажу;

- система охолодження повинна мати велику теплову акумуляційну здатність (інерційність) з метою уповільнення підвищення температури в провізійній камері у разі тимчасової зупинки холодильної машини;

- система охолодження повинна забезпечувати найменший температурний перепад між температурою вантажу та температурою кипіння холодильного агента. Це за заданої температури провізійної камери

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		29

забезпечить максимальне значення холодильного коефіцієнта машини та мінімальні енерговитрати на зберігання вантажу;

- малу масу та габарити охолоджуючих приладів та систем транспортування холодоносія. Необхідно враховувати, що малі габарити поверхонь, що охолоджують, можуть бути досягнуті тільки за рахунок підвищення значень коефіцієнтів теплопередачі;

- система охолодження повинна бути надійною, простою та зручною в експлуатації, безпечною для людей та вантажу, забезпечувати нормальне спостереження за режимом охолодження, легкість його регулювання, ревізії, ремонту тощо.

Для забезпечення заданих температур у провізійних камерах найкраща повітряна система охолодження з безпосереднім кипінням холодоагенту з ребристими охолоджувачами повітря.

Холодоагентом для даної системи вибираємо хладон - R448A. Цей холодоагент найбільш нешкідливий для людей і навколишнього середовища, безпечний і за інших рівних умов порівняно з фреоном – R 12, що дозволяє збільшити продуктивність на 23% і зменшити витрату енергії на 8%.

В даний час в судновій холодильній установці (СХУ) провізійних комор застосовуються одноступінчасті безсальникові компресори об'єм їх приблизно в два, а маса на 25 ... 40% менше сальникових, що досягається в основному усунення корпусу електродвигуна, сальника і сполучної муфти.

Застосування поршневих компресорів дозволяє знизити шум і вібрацію, вартість монтажу, усунути найістотніший витік холодоагенту в схемі СХУ та підвищити надійність.

Виходячи із сказаного найбільш раціональним для провізійних камер є повітряна система ХУ з напівгерметичним компресором та безпосередньою системою охолодження з хладоном R448A.

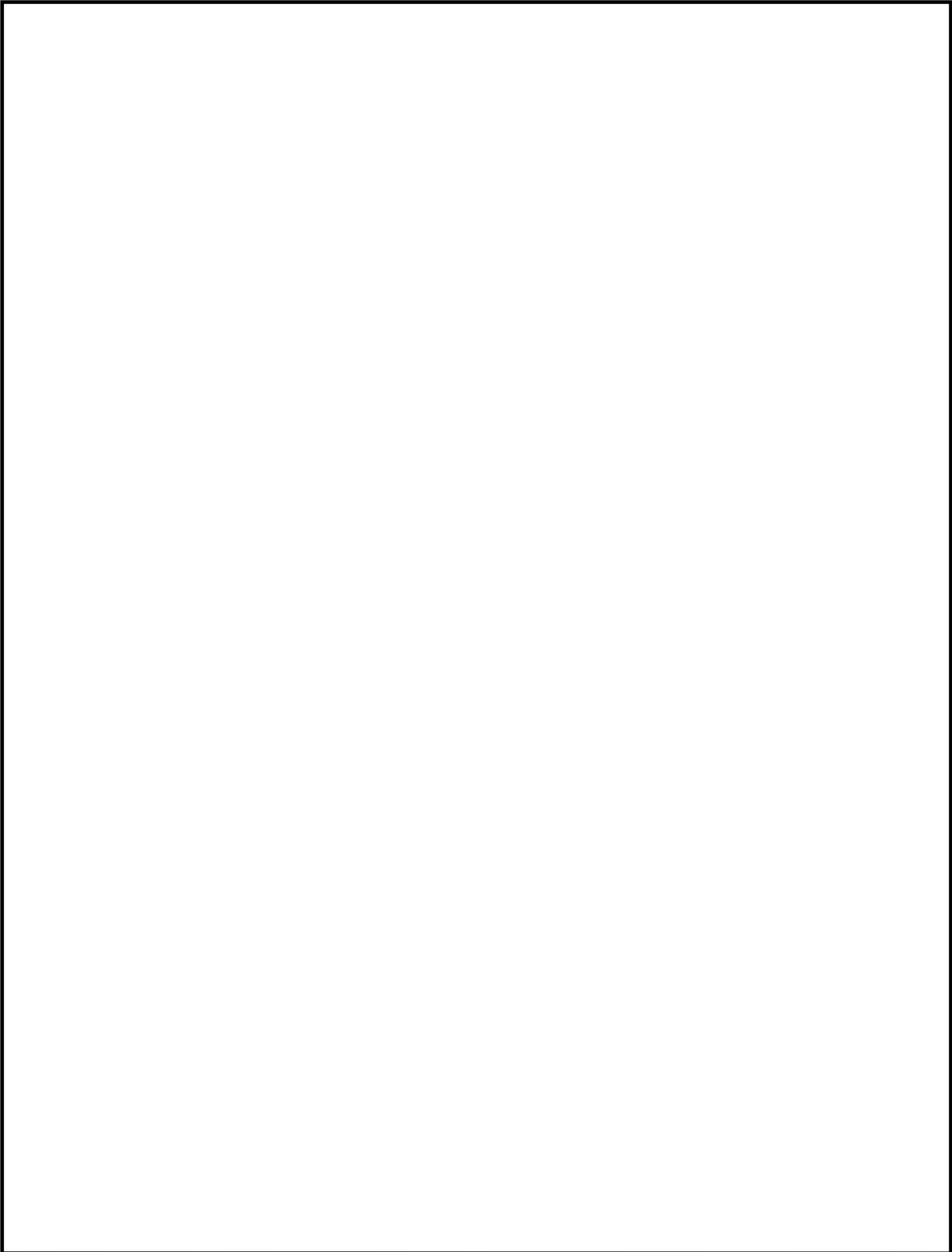
					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.02	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2.5. Висновки за розділом 2.

В даному розділі бакалаврської випускної роботи були визначені параметри повітря і води в залежності від району та параметрів продуктів, що зберігаються у провізійній камері, також проведений розрахунок коефіцієнту теплопередачі через ізолюючу поверхню.

Проведений розрахунок теплоприпливів через ізоляційну конструкцію провізійної камери становить 5,1 кВт. У якості хладону був вибраний R448A.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.02	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.03			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 3	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Шевченко Г.						
Керівник		Самохвалов В.С.						
Консульт.								
Зав.каф.		Кобалава Г.О.				ХННІ НУК		
						32		

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ

3.1. Побудова циклу холодильної машини на $P-h$ діаграмі та його розрахунок.

3.1.1. Побудова циклу холодильної установки в $P-h$ діаграмі

Цикл холодильної машини розраховується і будується на діаграмі $P-h$, за наступними даними [3, 4, 5]:

t_0 – температура кипіння холодоагента;

t_k – температура конденсації хладагента;

$t_{пр}$ – переохолодження рідкого ХА в конденсаторі;

$t_{вс}$ – всмоктування.

За рекомендаціями [3] приймаємо для провізійних камер $t_0 = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температуру конденсації вибираємо залежно від $t_{3в} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для малих СХУ.

$$t_k = t_{3в} + (10...12) = 40\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Температуру переохолодженого ХА на виході з конденсатора приймаємо

$$t_{пр} = t_{3в} + (3...4) = 34\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Температура пари на всмоктуванні в компресор $t_{вс} = t_0 + t_{пр}$ завжди вище t_0 . Це залежить від типу приладів охолодження, схеми ХУ, протяжності всмоктуючого трубопроводу, його ізоляції та інших чинників.

При роботі з низькотемпературним повітроохолоджувачем $t_{пр} = 4...6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Слід також ураховувати перегрів пари, пов'язаної з тепловиділеннями вбудованих електродвигунів герметичних і безсальникових компресорів. Ураховуючи що тип компресора і його електродвигуна нам поки не відомий, згідно величинам, сумарних теплоприпливів в блоки камер визначаємо в I

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

наближенні тип компресора потужність електродвигуна і КПД електродвигуна.

З урахуванням вимог реєстра вимагається холодопродуктивність

$$Q_0 = \frac{\Sigma Q_{зберіг} \cdot 24}{x} = \frac{5,1 \cdot 24}{18} = 6,8 \text{ кВт.}$$

Визначаємо, що за прототип може бути узятий напівгерметичний компресор фірми **Bitzer** марки **Ecoline 4EES-4Y-40S**, з номінальною холодопродуктивністю $Q_0 = 9,8$ кВт при кипінні $t_0 = -10$ °C, (при перерахунку на температуру кипіння $t_0 = -22$ °C має холодопродуктивність **$Q_0 = 6,8$ кВт**) та споживаючий $N_e = 4,1$ кВт з масовою витратою хладона R448A в компресорі $V=175$ кг/годину [3].

Підвищення ентальпії пари електродвигуна буде:

$$\Delta H_{\text{ед}} = H_1 - H_5 = \frac{q_0(1-\eta_{\text{ег}})}{c} = 5 \text{ кДж/кг,}$$

де $\eta_{\text{ег}} = 0,75 \dots 0,85$ к – коефіцієнт враховуючий втрати тепла в навколишнє середовище; $\eta_{\text{ег}} = 0,75 \dots 0,85$ [3, 5];

g_0 визначаємо при побудові циклу

Закінчуємо побудову циклу, а параметри стану в характерних точках зводимо в табл. 3.1 згідно розрахунку циклу (рис. 3.1).

Таблиця 3.1. Параметри стану в характерних точках

Параметри стану	Точки циклу					
	1	2	3	3'	4	5 (1s)
t, °C	-14	65	35	33	-22	-22
P, МПа	0,23	1,67	1,67	1,67	0,23	0,23
H, кДж/кг	395	455	250	253	250	390
v, кг/м ³	0,102					

Масова витрата в компресорі: 175,4 kg/h

Точка	Опис	Температура [°C]	Тиск (абс.) [bar]	Густина [kg/m ³]	Ентальпія [kJ/kg]	Ентропія [kJ/(kg·K)]
1	Всмоктування компресором	-14,0	2,267	9,678	396,1	1,799
2	Нагнітання компресором (розрахункове)	108,2	16,72	51,25	493,1	1,927
2s	Точка роси на лінії конденсації	40,0	16,72	75,87	415,4	1,702
3s	Точка початку кипіння на лінії конденсації	35,2	16,72	1050	253,1	1,179
3a	Вихід конденсатора	33,2	16,72	1060	249,9	1,169
3	Включаючи додаткове переохолодження	28,2	16,72	1085	241,9	1,143
4	Після розширювального клапана	-26,3	2,267	28,15	241,9	1,179
4s	Точка початку кипіння на лінії кипіння	-28,0	2,267	1294	161,4	0,8523
1s	Точка роси на лінії кипіння	-22,0	2,267	10,08	389,2	1,772
1a	Вихід випарника	-14,0	2,267	9,678	396,1	1,799

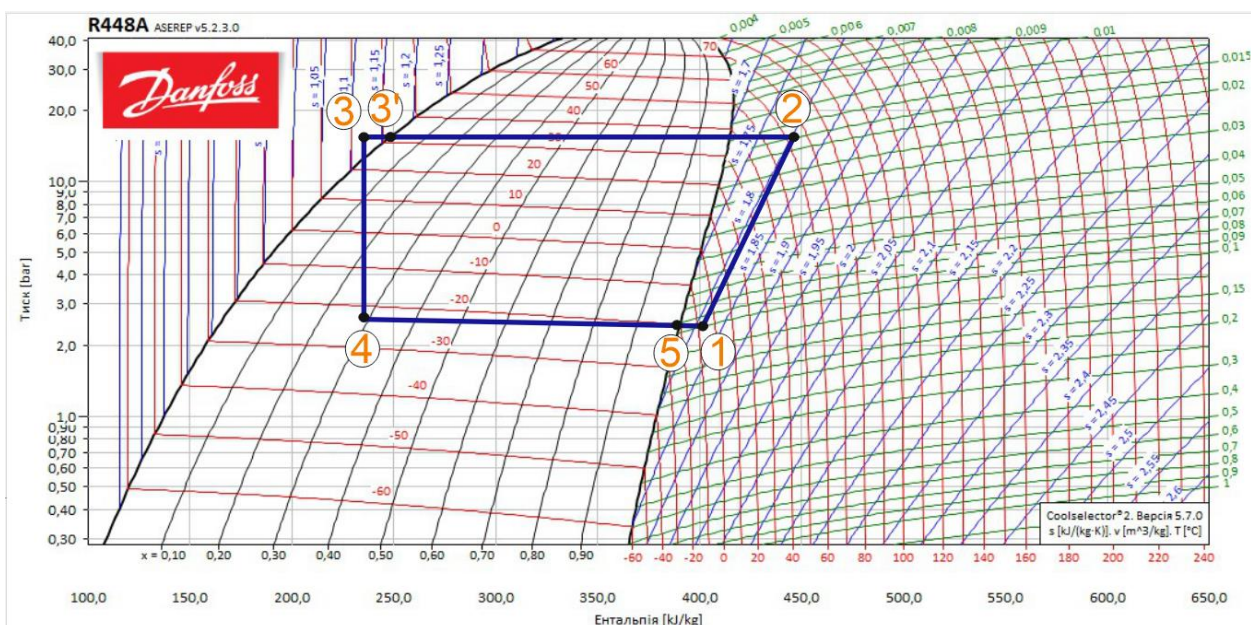


Рисунок 3.1 Цикл в P - h діаграмі хладону R448A

$$q_0 = H_5 - H_4 = 390 - 250 = 140 \text{ кДж/кг.}$$

Тоді:

$$H_1 = H_5 + \Delta H_{\text{ЕД}} = 390 + 5 = 395 \text{ кДж/кг.}$$

3.1.2. Тепловий розрахунок циклу холодильної установки

1. Питома масова (робоча) холодопродуктивність:

$$q_0 = H_1 - H_4 = 395 - 240 = 145 \text{ кДж/кг.}$$

2. Питома об'ємна холодопродуктивність:

$$q_v = q_0/v_1 = 145/0,102 = 1422 \text{ кДж/м}^3.$$

3. Масова витрата холодоагенту:

$$G_{op} = Q_0/q_0 = 6,8/145 = 0,049 \text{ кг/с.}$$

4. Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_{op} = Q_0/q_v = 6,8/1422 = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

5. Питома продуктивність компресора:

$$l = H_2 - H_1 = 455 - 395 = 60 \text{ кДж/кг.}$$

6. Питома теплота конденсації:

$$q_k = H_2 - H_3 = 455 - 250 = 205 \text{ кДж/кг.}$$

7. Теоретичний холодильний коефіцієнт:

$$\varepsilon = q_{op}/l = 145/60 = 2,41.$$

3.2. Підбір холодильного компресора, теплообмінних апаратів та іншого устаткування холодильної установки.

3.2.1. Вибір і обґрунтування прийнятої конструкції компресора

Обираємо компресор фірми **Bitzer** марки **Ecoline 4EES-4Y-40S**, з номінальною холодопродуктивністю $Q_0 = 9,8 \text{ кВт}$ при кипінні $t_0 = -10 \text{ }^\circ\text{C}$, (при перерахунку на температуру кипіння $t_0 = -22 \text{ }^\circ\text{C}$ має холодопродуктивність $Q_0 = 6,1 \text{ кВт}$) та споживаючий $N_e = 4,1 \text{ кВт}$ з масовою витратою хладона R448A в компресорі $V=175 \text{ кг/годину}$. Зовнішній вид і габаритні розміри компресора представлені на рис. 3.2 та 3.3.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.03	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

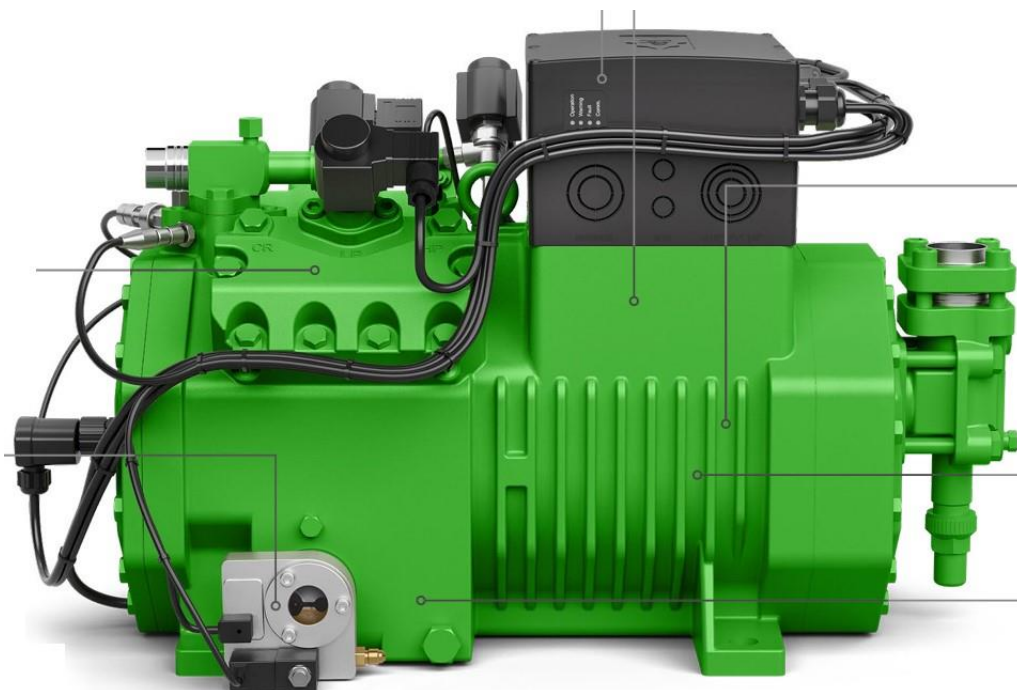


Рисунок 3.2. Зовнішній вид компресора

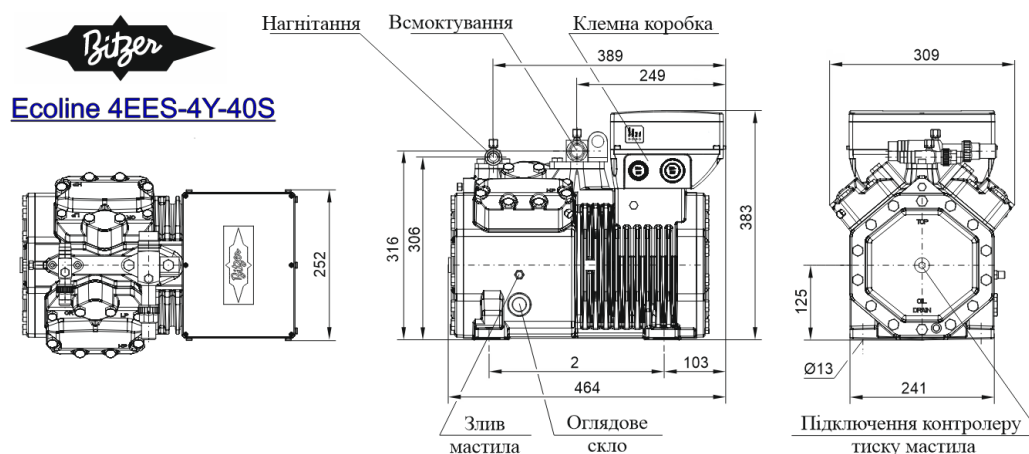


Рисунок 3.2. Габаритні розміри компресора

Напівгерметичні компресори виготовляються з використанням найсучасніших методів обробки, складання та контролю процесів. Під час проектування як компресора, так і заводу, пріоритетом були дуже високі стандарти надійності та контролю процесів. Результатом є вискоефективний продукт з найвищою можливою надійністю та низьким рівнем шуму.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		37

Технічні дані компресора:

Номинальна холодопродуктивність (-10 °C)	9,8 кВт;
Робоча холодопродуктивність (-22 °C)	6,8 кВт;
Номинальна електрична потужність	5,5 кВт;
Споживана електрична потужність	4,1 кВт;
Об'ємна продуктивність компресора	22,7 м³/год;
Об'єм хладону в компресорі	5,4 л;
Об'єм мастила в компресорі	2,0 л;
Вага нетто	93 кг;
Схвалені холодоагенти	R404A, R507, R134a, R22, R407A, R407F, R448A , R449A, R452A, R513A;
Ступінь захисту	IP54.

Напівгерметичні поршневі компресори для застосування в комерційному холодильному обладнанні, системах глибокого заморожування, звичайному холодильному обладнанні та системах з високими температурами випаровування, в теплових насосах та спеціальних системах: залежно від комбінації двигуна та холодоагенту.

Успішний синтез збалансованої механіки приводу, двигунів з високим ККД загалом, та оптимізованого обміну зарядом під час процесу впуску та стиснення.

У поєднанні з мінімальними втратами потоку та зменшеною теплопередачею від гарячого газу до сторони всмоктуваного газу, це призводить до унікальної робочої характеристики.

Система головки блоку циліндрів:

Плавна робота оптимізованих робочих клапанів, включаючи геометричну конструкцію напірних робочих клапанів для мінімального зворотного розширення при взаємодії з каналами потоку та сполученими об'ємами.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.03	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Версії

// Однокомпресор ECOLINE;

// ECOLINE тандем;

// ECOLINE VARISPEED;

// Спеціальні версії;

– для спеціальних холодоагентів;

– з однофазним двигуном;

– для вибухонебезпечних зон;

– для транспортних застосувань;

– для високотемпературних теплових насосів

Переваги:

– низькі внутрішні втрати тиску;

– двигун великого об'єму з високим ККД;

Властивості головки циліндрів:

– низька пульсація;

Високі максимально допустимі робочі тиски:

19 бар / 32 бар для LP / HP.

Внутрішній захист двигуна.

Поршневі компресори оснащені внутрішнім захистом від обриву лінії, встановленим на обмотках двигуна. Захист являє собою пристрій автоматичного скидання, що містить біметалічний вимикач швидкої дії.

Внутрішні захисні пристрої реагують на перевантаження по струму та перегрів. Вони призначені для переривання струму двигуна за різних умов несправності, таких як неможливість запуску, перевантаження під час роботи та відмова вентилятора. Якщо внутрішній захист від перевантаження спрацює, він повинен охолонути приблизно до 60°C (140°F), щоб скинути його. Залежно від температури навколишнього середовища, це може зайняти до кількох годин.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.03	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Захист від зворотного обертання

Компресор працюватиме належним чином лише в одному напрямку. Потрібно використовувати фазометр для встановлення порядку фаз та підключити фази лінії L1, L2 та L3 до клем T1, T2 та T3 відповідно. Для трифазних компресорів двигун працюватиме однаково добре в обох напрямках. Зворотне обертання призводить до надмірного шуму; відсутності різниці тисків між всмоктуванням та нагнітанням; та нагрівання всмоктувальної лінії, а не негайного охолодження. Під час першого запуску повинен бути присутнім сервісний технік, щоб перевірити правильність фазування живлення та правильність обертання компресора та допоміжного обладнання.

Холодоагент та мастильні матеріали. Загальна інформація.

Під час вибору холодоагенту необхідно враховувати різні аспекти:

- Законодавство (зараз та в майбутньому);
- Безпека;
- Межі застосування залежно від очікуваних умов експлуатації;
- Потужність та ефективність компресора;
- Рекомендації та інструкції виробника компресора.

Додаткові моменти можуть вплинути на остаточний вибір:

- Екологічні міркування;
- Стандартизація холодоагентів та мастильних матеріалів;
- Вартість холодоагенту;
- Наявність холодоагенту.

Компресори повинні експлуатуватися з затвердженими холодоагентами та мастилами, навіть на початку випробувань на виробничій лінії.

R448A – це холодоагент на основі гідрофторвуглецевого фуморизованого газу (HFO) з подібними властивостями (Склад: 21% R134a; 20% R1234yf; 26% R125; 26% R32; 7% R1234ze). Має показник глобального потепління (GWP) нижче 1500 та відповідають вимогам ЄС щодо F-газів.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		40

Хладон R448A можна використовувати як альтернативу холодоагентам R404A та R507 у системах МВР (метанологічної обробки). R448A має нульовий потенціал руйнування озонного шару (ODP=0). R448A особливо підходить для застосувань з низькою температурою випаровування, але його також можна застосовувати для застосувань із середньою температурою випаровування.

R448A є суміш та має великий температурний перехід, тому його необхідно заправляти в газовій фазі.

Температура навколишнього середовища компресора

Компресори можуть використовуватися за температури навколишнього середовища від -35°C (-31°F) до 55°C (131°F). Компресори розроблені як на 100% охолоджувати всмоктуваним газом без потреби в додатковому охолодженні вентилятором. Температура навколишнього середовища має дуже незначний вплив на продуктивність компресора.

Висока температура навколишнього середовища

У випадку закритого корпусу та високої температури навколишнього середовища рекомендується перевірити температуру силових проводів та відповідність їх ізоляції вимогам. У разі безпечного спрацювання внутрішнього захисту від перевантаження компресора компресор повинен охолонути приблизно до 60°C (140°F), перш ніж перевантаження скинеться. Висока температура навколишнього середовища може значно уповільнити цей процес охолодження.

Низька температура навколишнього середовища

Хоча сам компресор може витримувати низьку температуру навколишнього середовища, система може потребувати спеціальних конструктивних особливостей для забезпечення безпечної та надійної роботи. Див. розділ «Рекомендації щодо спеціального застосування».

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

Максимальна температура нагнітального газу

Температура нагнітального газу залежить головним чином від комбінації температури випаровування, температури конденсації та перегріву всмоктуваного газу. Температуру нагнітального газу слід контролювати за допомогою ізольованої термопари або термостата, прикріпленого до нагнітальної лінії на відстані 15 см (6 дюймів) від корпусу компресора. Максимальна температура нагнітального газу не повинна перевищувати 135°C (275°F), коли компресор працює в межах затвердженого робочого діапазону.

3.2.2. Розрахунок і підбір теплообмінних апаратів та іншого устаткування

3.2.2.1. Розрахунок і підбір повітроохолоджувача

Тепловий розрахунок повітроохолоджувача зводиться до визначення загальної поверхні теплообміну, яка необхідна для відведення теплоприпливів з охолоджуваної камери, м²,

$$F_{\text{по}} = Q_{0\text{по}} / (k_3 \cdot \theta),$$

де $Q_{0\text{по}}$ - теплове навантаження на повітроохолоджувач в охолоджуваній камері, Вт;

k_3 - коефіцієнт теплопередачі, віднесений до повної зовнішньої ребристої поверхні ПО; $k_3 = 18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [5];

θ - повна різниця температур, °С,

$$\theta = \frac{t_{\text{в1}} - t_{\text{в2}}}{\ln \cdot \frac{t_{\text{в1}} - t_0}{t_{\text{в2}} - t_0}}.$$

Підбор повітроохолоджувача здійснюється для кожної камери. Розрахунок загальної поверхні теплообміну та марки повітроохолоджувачів для кожної охолоджуваної камери представлені в табл. 3.2.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.03	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2. Розрахунок загальної поверхні теплообміну та марки повітроохолоджувачів для кожної охолоджуваної камери

Камера, що охолоджується	$Q_{зберіг},$ кВт	k_z	$\Delta t_p,$ $^{\circ}\text{C}$	$F,$ м^2	Тип апарату	Кількість
м'яса	917	18	10	5,1	ПО-10Н	1
риби	699	18	10	3,9	ПО-10Н	1
овочів	1203	18	20	3,3	ПО-20	1
сухої провізії	987	18	26	2,7	ПО-10	2

3.2.2.2. Підбір терморегулюючого вентиля

Збалансована конструкція електронного терморегулюючого клапана KVS-1C-16 фірми Danfoss (рис. 3.9) забезпечує двопотокову роботу, а також функцію соленоїдного відключення в обох напрямках потоку при P_D 40 бар.

Характеристики та переваги:

- Точне керування тиском та температурою;
- Повторюваність роботи клапана за будь-яких умов;
- Вищий MOPD (максимально допустимий хід обертання);
- Легко підходить для різних застосувань та умов експлуатації;
- Двопотоковий. Технологія прямого приводу двигуна клапана;
- Потужний двигун, що гарантує точне керування потоком та підвищену енергоефективність системи;
- Зменшення складності завдяки зменшенню кількості деталей;
- Підтримує різноманітні холодоагенти, в тому числі R448A, схвалено для безмасляних застосувань;
- Швидкий час відкриття/закриття 2,5 сек.;

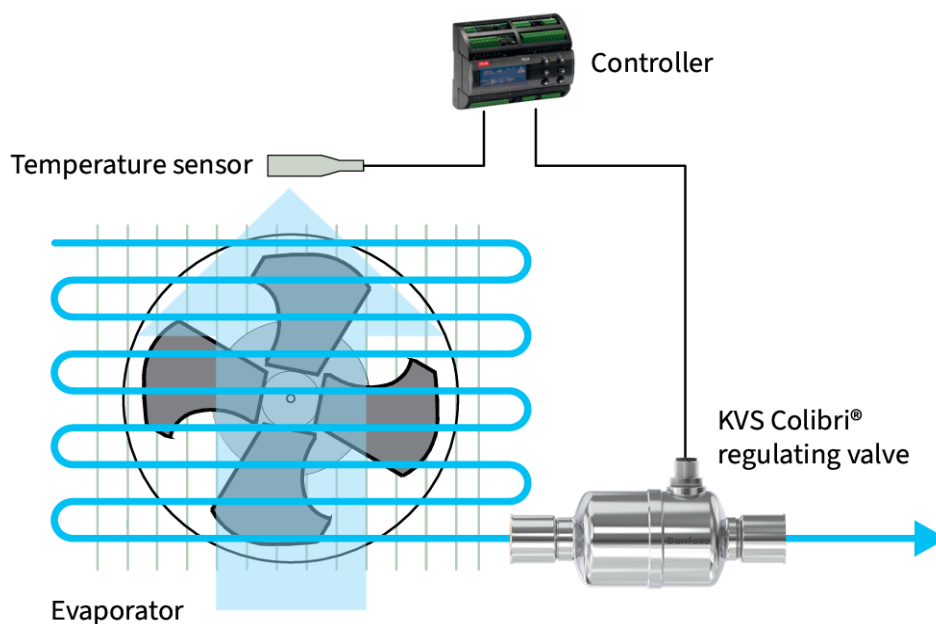


Рисунок 3.9. Електронний терморегулюючий клапан KVS-1C-16 фірми Danfoss

- Швидка реакція на робочі умови. Герметичне закриття соленоїдом;
- Біметалеві з'єднувачі. Швидкий та покращений процес паяння – не потрібне мокре обгортання;
- Конструкція з нержавіючої сталі. Стійкість до внутрішньої та зовнішньої корозії. Повністю герметична конструкція з лазерним зварюванням;
- Герметичний клапан відповідно до Регламенту ЄС щодо F-газів (EU) 517/2014;
- Відсутність зовнішніх витоків, що заощаджує витрати на обслуговування та втрату холодоагенту;
- Захист навколишнього середовища та клімату. Виготовлено відповідно до ISO/TS 16949.

3.3. Розміщення обладнання холодильної установки у приміщенні.

Для зручності та підвищення якості монтажу, зменшення комунікацій і кількості обладнання окремі елементи холодильної машини зібрані на одній рамі у вузол, виготовлений на машинобудівному заводі. Це забезпечує підвищену надійність роботи машини в умовах її експлуатації на судні.

Проектowana установка включає: компресорно-конденсаторну установку, що працює на R448A, запірну арматуру, пристрої керування та захисту.

Компресорно-конденсаторний агрегат складається з [11]:

- бессальник компресорний;
- конденсатор;
- пристроїв автоматизації;
- трубопроводи та арматура.

Агрегат монтується на фундаменті судна, на амортизаторах, що забезпечує необхідну жорсткість кріплення і знижує вібрацію.

Холодильна установка розташована на головній палубі, з правого борту судна.

Розміщення машини в автофургоні забезпечує швидкий і зручний демонтаж, монтаж і чищення елементів холодильної установки. Вільні проходи між кінцевими частинами обладнання - 700 мм, між обладнанням і перегородками - не менше 100 мм. Для зменшення впливу розгойдування судна на роботу агрегату його встановлюють паралельно кілю судна.

Взаємне розташування вузлів відповідає функціональній послідовності елементів у монтажній схемі, тобто всі елементи розташовані так, щоб сполучні трубопроводи мали мінімальну кількість витків. Для подачі морської води в конденсатор передбачені відцентрові насоси. На пульті управління розташовані індикатори вимірювальних приладів, що контролюють тепловий стан камер забезпечення.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

У разі виникнення пожежі передбачений аварійний викид холодоагенту в атмосферу. Завдяки високій плинності холодоагенту установка оснащена газоаналізатором.

3.4. Система автоматичного керування холодильною установкою

Автоматизовані холодильні установки провізійних камер можуть дещо відрізнятися від налаштувань ручного керування. Автоматизована установка забезпечує більш точне встановлення діапазону різниці температур в холодильних камерах активує функцію регулювання, керування та захисту.

Установка регулює такі параметри: холодопродуктивність, температури в камерах, подачу рідкого холодоагенту до випарника, тиск конденсації холодоагенту. Під час роботи автоматизованої холодильної установки параметри автоматичного керування на основних агрегатах установки взаємопов'язані. Таким чином створюється комплекс, який підтримуватиме задану температуру в зонах охолодження. СХУ працює в дренажних басейнах для виробництва пари. Оскільки температура повітря в коморах повинна підтримуватися постійною, виникає потреба в регулюванні температури та холодопродуктивності. Регулювання температури в камерах здійснюється двопозиційним способом за допомогою додаткового термостата, який реагує на температуру в цій камері та забезпечує, щоб електромагнітний клапан, встановлений на трубопроводах, відключав подачу рідкого холодоагенту в обшивочну камеру при низьких встановлених межах температури.

Основним завданням автоматизації є підтримка необхідного температурного режиму в приміщеннях, що охолоджуються, що допомагає регулювати холодопродуктивність компресорів. Щоденні гвинтові компресори регулюються додатковим золотниковим механізмом у діапазоні від 100 до 10% холодопродуктивності [15].

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

Однак регулятор продуктивності має велику інерцію, що може призвести до нестабільності температурного режиму в трюмах. Тому в схемі автоматизації подача холодоагенту переводиться залежно від температури охолоджуваної зони.

Термостатичні клапани встановлюються на трубопроводах, що подають основну частину холодоагенту до випарника, а проміжну частину – до підстанції. Чутливі елементи встановлені на термоелектричній батареї, а решта – на паропроводі. Місце встановлення термопатрона та батареї ізольоване для захисту навколишнього середовища від занадто жорстких умов. Встановлення термостатичного клапана з термоелектричною батареєю використан дає значну перевагу. Термоелектричний «підсилювач-коректор» дозволяє контролювати не тільки перегрів пари, але й температуру в трюмі, оскільки в холодильній зоні встановлена термоопора.

3.5. Висновки з розділу 3

В даному розділі бакалаврської випускної роботи побудований цикл холодильної машини в в Н-Р діаграмі холодильного агента R 448A, та проведений його розрахунок. Також був виконаний підбір холодильного компресора фірми Bitzer марки Ecoline 4EES-4Y-40S, з номінальною холодопродуктивністю $Q_0 = 6,8$ кВт при температурі кипіння $t_0 = -22$ °C, теплообмінних апаратів та іншого устаткування.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		47

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.04		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 4		
Студент		Шевченко Г.					
Керівник		Самохвалов В.С.					
Консульт.							
Зав.каф.		Кобалава Г.О.			ХННІ НУК 48		

РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІННИКА

4.1. Тепловий розрахунок конденсатора

Визначаємо теплове навантаження на конденсатор за формулою, кВт [13],

$$Q_k = Q_0 + N_e \cdot k,$$

де Q_0 – холодопродуктивність установки, кВт;

$N_e = 5,1$ кВт – електрична потужність компресора на розрахунковому режимі, кВт;

k – коефіцієнт, що ураховує втрати теплоти в зовнішнє середовище; $k = 0,80$ [13].

$$Q_k = 6,8 + 4,1 \cdot 0,80 = 10,2 \text{ кВт.}$$

Температура води на вході в конденсатор

$$t_{w1} = t_{3B} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

Притискуємо підігрів води в конденсаторі $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, тоді температура води на виході з K_H

$$t_{w2} = t_{w1} + 5 = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Визначаємо температурний напор в конденсаторі

$$\theta = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{2,3 \lg \frac{t_k - t_{w1}}{t_k - t_{w2}}} = \frac{35 - 30}{2,3 \lg \frac{40 - 30}{40 - 35}} = 7,22 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

і орієнтовну поверхню теплообміну

$$F_k = \frac{10^3 \cdot Q_k}{k_{\text{вн}} \cdot \theta} = \frac{10^3 \cdot 10,2}{1400 \cdot 7,2} = 1,03 \text{ м}^2,$$

де $k_{\text{вн}}$ – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт/м}^2 \text{ К}$, віднесений до внутрішньої поверхні труби конденсатора. Для хладонових конденсаторів

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.04	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$k_{\text{вн}} = 1300 \dots 1800 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$. Принято $k_{\text{вн}} = 1400 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$, оскільки буде застосована оребрена поверхня теплообміну і використовується R448A.

Для проектованого конденсатора застосовуємо трубу з налитим оребренням, яка має наступні характеристики [13]:

- зовнішній діаметр ребер $D_p = 12,2 \text{ мм}$;
- діаметр трубки в просвітах між ребрами $d_H = 11,2 \text{ мм}$;
- внутрішній діаметр трубки $d_{\text{вн}} = 10,0 \text{ мм}$;
- шаг ребер $S_p = 11,8 \text{ мм}$;
- товщина ребра у основи $V_{\text{осн}} = 0,8 \text{ мм}$;
- товщина ребра у товщина $V_T = 0,65 \text{ мм}$;
- кут розбіжності міжреберної канавки $\alpha = 220$;
- ступінь оребрення $\beta = 3,3$;
- площа зовнішньої поверхні на погонний метр $F_{\text{нс}} = 0,129 \text{ м}^2$;
- крок труби в пучку по горизонтами $S_1 = 22 \text{ мм}$;
- компактність теплопередаючої поверхні $W = 248 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Враховуючи, що $F_k < 15 \text{ м}^2$, приймаємо число ходів води в конденсаторі $Z = 2$.

Витрата охолоджуючої води

$$G_w = \frac{Q_k}{C_p(t_{w2} - t_{w1})} = \frac{10,2}{4,19 \cdot (35 - 30)} = 0,52 \text{ кг/с}.$$

Прийнявши швидкість руху води $W_w = 1,0 \text{ м/с}$ (W_w для мідних труби не повинен перевищувати $1,5 \text{ м/с}$), визначаємо необхідну сумарну площу для потоку води за один хід, м^2 ,

$$S_x = \frac{G_w}{W_w \rho_w} = \frac{0,52}{1,0 \cdot 1025} = 0,51 \cdot 10^{-3},$$

де $\rho_w = 1025 \text{ кг/м}^3$ - густина морської води.

Визначаємо число трубок за один хід

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.04	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$n_x = \frac{4S_x}{z \cdot d_{em}^2} = \frac{4 \cdot 0,52 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,01^2} = 10,2$$

Приймаємо число трубок за одиницю $n_x = 10$.

Тоді:

$$W_w = \frac{4G}{n_x z \cdot d_{em}^2 \rho} > 1,39 < 1,5 \text{ м/с.}$$

Кількість трубок в конденсаторі складає

$$n_{tr} = n_x \cdot Z = 10 \cdot 2 = 20 \text{ шт.}$$

Довжина трубок буде визначена після розрахунку уточненої поверхні теплообміну.

Тепер проводячи остаточну компоновку конденсатора і розробляємо конструкцію конденсатора.

4.2. Вибір та опис конструкції конденсатора.

Стандартне виконання для звичайної води

Труби теплообмінника характеризуються високою товщиною матеріалу; трубні решітки мають пластикове покриття. Ця серія підходить для всіх типів охолоджувачів, які не пошкоджують мідь.

Конструкція, стійка до морської води

Моделі К перевірили себе протягом десятиліть у всіх морських застосуваннях. Вони надзвичайно стійкі до корозії морської води. Профільні труби з низьким рівнем забруднення та пластикове покриття трубних решіток і кришок для реверсивного потоку охолоджувачів роблять їх першим вибором. У моделях до K813НВ рідкий холодоагент зливається через занурювальну трубку, а починаючи з K1053НВ - через два виходи для холодоагенту.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		51

Перегрівачі нагнітаючого газу

Конструкційні розміри від K1053H до K4803T також доступні у стандартному виконанні для звичайної води як перегрівачі нагнітаючого газу. Все, що потрібно, це замовити додатковий другий вихід для холодоагенту.

Для суднової холодильної установки з холодопродуктивністю $Q_0 = 7,1$ кВт та теплопродуктивності на конденсатор $Q_k = 10,2$ кВт обираємо конденсатор фірми **Bitzer** серії **K073HB** (рис. 4.1).

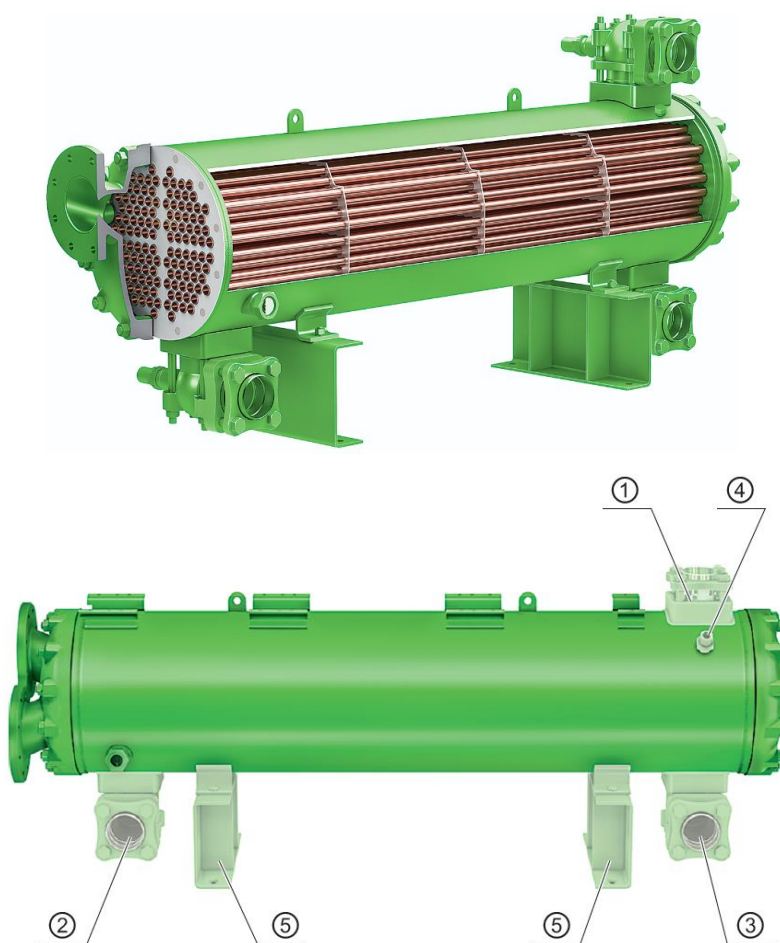


Рисунок 4.1. Конденсатор фірми **Bitzer**

- 1 – Вхід хладону; 2 – Вихід хладону; 3 - Вихід хладону (опційно);
4 – Кріплення запобіжного клапану; 5 – Кріплення до фундаменту

Усі кожухотрубні конденсатори можна використовувати з новими холодоагентами з низьким потенціалом парникового потепління (ПГП). Ці

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		52

холодоагенти є важливими інструментами для досягнення скорочення викидів, передбаченого Регламентом ЄС 517/2014 та аналогічними сценаріями, чітко визначеними в усьому світі. Їх використання відповідає нашим інноваційним цілям.

Ненасичені фторовані вуглеводні (HFO) R1234yf та R1234ze(E), два варіанти тетрафторпропену, відіграють у цьому центральну роль. Їх можна використовувати як чисті речовини або як компоненти сумішей. Чисті речовини R1234yf та R1234ze(E) класифікуються як легкозаймисті в A2L згідно з ISO817. Усі кожухотрубні конденсатори можна використовувати з екологічно чистими холодоагентами R290 пропан та R1270 пропен.

Для легкозаймистих холодоагентів необхідно провести оцінку ризику для системи, яка враховує займистість, і вона повинна бути побудована відповідно до національних або місцевих норм. Якщо оцінка ризику класифікує зону встановлення як вибухобезпечну, кожухотрубні конденсатори використовувати не можна.

Дозволені холодоагенти для використання в конденсаторі фірми Bitzer серії K073HB: R134a, R22, R290, R1270, R1234yf, R1234ze(E), R404A, R507A, R407C, R448A, R448A, R450A, R513A.

Дозволені охолоджувальні рідини для використання в конденсаторі фірми Bitzer серії K073HB:

- Промислова вода;
- Прісна вода;
- Технологічна вода;
- Морська вода;
- Етиленгліколь/вода;
- Пропіленгліколь/вода;
- CaCl₂ у воді;
- Тухофіт 1,15 у воді.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.04	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Габаритні розміри конденсатора фірми Bitzer серії K073NB представлені на рис. 4.2 та в табл. 4.1 [19].

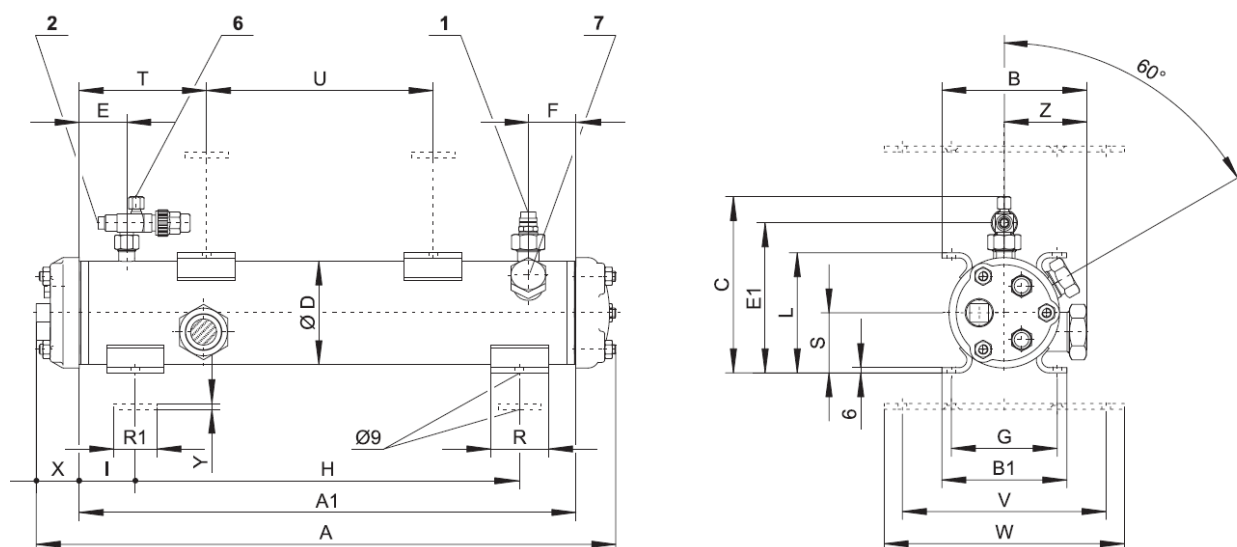


Рисунок 4.2. Габаритні розміри конденсатора фірми Bitzer серії K073NB

Таблиця 4.1. Габаритні розміри конденсатора фірми Bitzer серії K

Model	Dimensions in mm												
–Pass	A	A1	B	B1	C	C1	ØD	E	E1	F	G	H	I
K033NB	626	517	152	130	184	–	108	50	156	50	110	400	58
K033HB	626	517	152	130	184	–	108	50	156	110	110	400	58
K073HB	626	517	152	130	184	–	108	50	155	50	110	400	58
K123HB	876	767	152	130	237	172	108	60	154	60	110	400	184
K203HB	882	767	197	130	299	234	159	60	213	60	110	400	184
K283HB	882	767	197	130	307	242	159	60	223	60	110	400	184
K373HB	1132	1017	197	130	313	248	159	60	223	60	110	740	138

Холодоагент **R448A** повністю сумісний із кожухотрубним конденсатором Bitzer **K073NB**. Оскільки це суміш холодоагентів групи HFO/HFC, що має певний температурний перепад (~4 K), перехід на цей фреон змінює деякі заправні та теплові показники обладнання:

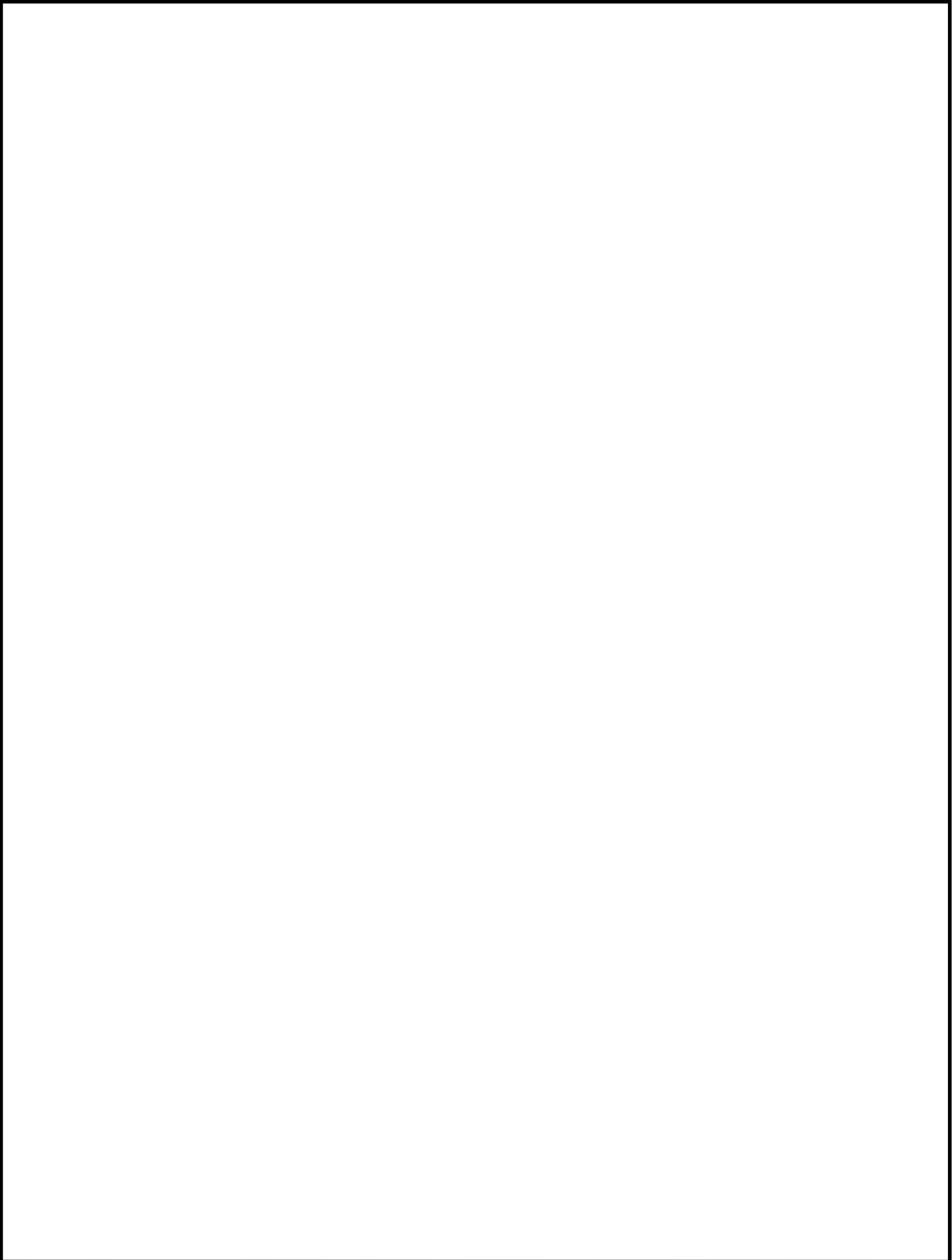
Кількість ходів води: Для підключення використовується **2 ходи** охолоджуючої води в водяних патрубках регулювання у кришці конденсатора.

Заправка холодоагентом: Норма максимальної заправки для R448A (за об'єму теплообмінника 90%) становить **3,4 кг**.

4.3 Висновки по розділу 4

В даному розділі бакалаврської роботи проведено розрахунок кожухотрубного конденсатора СХУ, визначені основні параметри та теплопродуктивність конденсатора. Також було обрано один конденсатор фірми Bitzer серії K073NB для експлуатації СХУ.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.04	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.05			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 5			
Студент		Шевченко Г.						
Керівник		Самохвалов						
Консульт.								
Зав.каф.		Кобалава Г.О.			ХННІ НУК 56			

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз небезпек в машинному відділенні на рефрижераторних суднах.

Охорона праці – Охорона праці - це система правових, соціально - економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [20, 21].

Згідно статті 50 кожний має право на безпечне навколишнє середовище та на відшкодування збитку від порушення цього права. Кожний має право на доступ до інформації про стан навколишнього середовища, продуктів харчування та предметів побуту, ця інформація ніяким чином та ніким не може бути засекречена.

5.2. Технічні заходи захисту від теплових випромінювань

Технічні заходи захисту від теплових випромінювань наступні: механізація, автоматизація, дистанційне керування і спостереження, зменшення теплових втрат випромінюванням, теплова ізоляція і герметичність джерел випромінювання (печей, трубопроводів з гарячими газами і рідинами), екранування джерел випромінювання та робочих місць.

Теплова ізоляція поверхонь джерел випромінювання знижує температуру випромінюючої поверхні і зменшує як загальне тепловиділення, так і радіаційну його частину. Зменшуючи теплові втрати обладнання, теплова ізоляція обумовлює скорочення витрати палива (електроенергії). Печі ізолюють в більшості випадків легковажним цеглою; між зовнішнім сталевим кожухом і цегляною кладкою іноді застосовують засипки з сипких

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

або волокнистих матеріалів; склепіння ізолюють засипанням з сипучих матеріалів (наприклад, піску або колошникового пилу). Засипка створює герметичність, що особливо важливо для газових викидів.

Екранування - найбільш поширений і ефективний спосіб захисту від теплового випромінювання. Екрани застосовуються для локалізації джерел променистої теплоти, зниження облученості на робочих місцях, зниження температур навколишніх робоче місце поверхонь. За принципом дії екрани підрозділяються на теплоотражающие, теплопоглинальні, тепловідвідні. Подібне поділ певною мірою умовно, оскільки кожен екран має здатність відбивати, поглинати і відводити теплоту. Віднесення екрану до тієї чи іншої групи залежить від того, яка з його здібностей найбільш виражена. По конструкції і можливості спостереження за технологічним процесом екрани можна розділити на три групи:

- Непрозорі. Матеріалом для теплоотражающих екранів служать листовий алюміній, біла жерсть, алюмінієва фольга, укріплюються на несучому матеріалі (картоні, азбесті, сітці). Гідності відображають екранів - висока ефективність, мала маса, економічність; недоліки - нестійкість до високих температур, механічних впливів, ухудшающаяся ефективність при пиловідкладення і окисленні.

Тепловідвідні екрани являють собою зварні або литі конструкції, охолоджувані протікає всередині водою. Подібні екрани практично теплонепроникність. Вони найбільш ефективні в порівнянні з іншими видами непрозорих екранів, але до їх пристрою пред'являються певні вимоги безпеки;

- Напівпрозорі. До теплопоглинальних екранам відносяться металеві сітки (розмір комірки 3-3,5 мм), ланцюгові завіси, армоване сталевую сіткою скло. Ці екрани поступаються за ефективністю непрозорим екранам;

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		58

- Прозорі. Для теплопоглинаючих екранів використовують різні скла (силікатні, органічні, кварцові), безбарвні або пофарбовані в масі, тонкі металеві плівки, обложені на склі.

Дистанційні пульти керування (або кабіни), призначені для захисту від теплового випромінювання, повинні відповідати таким вимогам: обсяг кабіни оператора - більше 3 м³; стіни, підлога і стеля обладнані теплозахисними огорожами; площа скління достатня для спостереження за технологічним процесом і мінімальна для зменшення надходження теплоти.

Засоби індивідуального захисту від теплового випромінювання призначені для захисту очей, обличчя та поверхні тіла. Для захисту очей й обличчя використовують окуляри з світлофільтрами і щитки, голову від перегріву захищають каскою, іноді - крислатому повсяної або фетровому капелюхом. Іншу частину тіла захищають спецодягом з важко-займистих і повітропроникних матеріалів - сукна, брезенту або лляних тканин і спецвзуттям. У гарячих цехах для підтримання водного балансу в організмі забезпечують питний режим.

5.3 Розрахунок системи штучного освітлення машинного відділення

Завдання. Завдання. Зробити розрахунок загального освітлення виробничого приміщення. Довжина $A = 14$ м, ширина $B = 9$ м, висота $H = 3,5$ м. Висота робочої поверхні $h_p = 1$ м. Для освітлення приймаємо світильники типу УПМ-15. Мінімальна освітленість лампами розжарювання за нормами $E_{\min} = 100$ лк. Коефіцієнт відображення стелі $\rho_l = 70\%$, стін $\rho_c = 50\%$, робочої поверхні $\rho_p = 10\%$. Напруга мережі 220 В.

Рішення.

Відстань від стелі до робочої поверхні, м:

$$H_o = H - h_p = 3,5 - 1 = 2,5 \text{ м.}$$

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		59

Відстань від стелі до світильника, м:

$$h_c = 0,2 \cdot H_o = 0,2 \cdot 2,5 = 0,50 \text{ м.}$$

Висота підвішування світильника над освітлюваною поверхнею, м:

$$h = H_o - h_c = 2,5 - 0,50 = 2,00 \text{ м.}$$

Висота підвішування світильника над підлогою, м:

$$H_{\text{п}} = h + h_p = 2,00 + 1 = 3,00 \text{ м.}$$

Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймаємо відношення:

$$L/h = 1,5.$$

Тоді відстань між центром світильників, м:

$$L = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 2,00 = 3,00 \text{ м.}$$

Необхідна кількість світильників

$$N = S/L^2 = A \cdot B / L^2 = 14 \cdot 9 / 3,00^2 = 14 \text{ шт,}$$

де $S = A \cdot B = 14 \cdot 9 = 126 \text{ м}^2$ – площа освітлюваного приміщення;

приймаємо $N = 14$ світильників (два ряди по 7 світильників). Індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{14 \cdot 9}{2,00 \cdot (14 + 9)} = 3,9.$$

За табл. 22 [26] приймаємо $i = 3,5$; $\rho_{\text{л}} = 70 \%$, $\rho_{\text{с}} = 50 \%$, $\rho_{\text{р}} = 10 \%$ для світильника типу УПМ-15 коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,68$.

Світловий потік однієї лампи, лм:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E_{\text{мін}} \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{100 \cdot 126 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{14 \cdot 0,68} = 1978 \text{ лм}$$

де $K_z = 1,3$ з табл. 5 [26];

$Z = 1,15$ для ламп розжарювання [26].

За знайденим світловим потоком з табл. 16 [26] вибираємо лампу Г215-225-150-1 потужністю 150 Вт, що має світловий потік 2090 лм, найбільш близький до розрахункового.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.05	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

При цьому фактична освітленість, лк:

$$E_{\phi} = E_{\min} \frac{\Phi_{\text{л}}}{\Phi_{\text{р}}} = 100 \frac{2090}{1978} = 106 \text{ лк}$$

Загальна потужність освітлювальної установки, кВт:

$$P_3 = P_{\text{л}} N = 150 \cdot 14 = 2100 \text{ Вт} = 2,1 \text{ кВт.}$$

5.4. Висновки за розділом 5.

В даному розділі бакалаврської роботи розглянуто можливі причини пожеж у МВ та засоби для їх гасіння, а також виконано розрахунок системи штучного освітлення машинного відділення

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.05	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1) В даній роботі спроектована холодильна установка провізійних комор хімовозу «Bow Orion» дедвейтом $D_w=49000$ т.

2) У другому розділі виконаний вибір ізоляційних конструкцій огорож приміщень, що охолоджуються та проведений розрахунок теплоприпливів у провізійні комори, що складає $Q_{зберіг}=5,1$ кВт.

3) У третьому розділі побудований цикл холодильної машини в p, h - діаграмі і проведений його розрахунок. Підібраний поршневий холодильний компресор фірми Bitzer марки Ecoline 4EES-4Y-40S з холодопродуктивністю до $Q_0 = 6,8$ кВт, споживаючий до $N_e = 4,1$ кВт електричної потужності.

4) Як холодоносій був узятий хладон R-448A, оскільки це найбільш економічний варіант на сьогоднішній день.

5) У четвертому розділі виконаний конструктивний розрахунок конденсатора. Обрано конденсатор фірми Bitzer серії K073HB. Кількість трубок для охолоджуючої води складає 20 шт з довжиною 560 мм. Поверхня теплообміну конденсатора складає $1,03$ м². Кількість ходів охолоджуючої води складає $z=2$. Теплове навантаження на конденсатор становить $Q_k = 10,2$ кВт.

6) У п'ятому розділі розглянуто проблемні питання охорони праці у машинному відділенні, розглянуто можливі причини пожеж у МВ та засоби для їх гасіння.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		62

ЛІТЕРАТУРА

1. Significant Ships of 2019/ Bow Orion Chemical tanker. – p. 10 – 11.
2. Методичні вказівки з виконання випускної бакалаврської роботи з напряму 6.050604 “Енергомашинобудування” зі спеціальності "Холодильні машини і установки"/ М.І. Радченко, І.П. Єсін, Ф.О. Чегринцев, О.В. Литош. – Миколаїв: НУК. – 2013 р. – 28 с.
3. Радченко М.І. Суднові холодильні машини: Навчальний посібник / М.І. Радченко, О.О. Лехмус. – Миколаїв: НУК. – 2015. – 392 с.
4. Загоруйко В.О., Голіков О.А. Суднова холодильна техніка: Підручник. – К.: Наукова думка, 2002.
5. Розрахунок суднової холодильної установки: Методичні вказівки / А.А. Андреев, І.П. Єсін, Ю.В. Захаров, А.О. Моря, М.І. Радченко; За ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.В. Захарова. – Миколаїв: - Вид-во МДГУ ім. П. Могили. - 2003. – 80 с.
6. Гапонов С.А., Лехмус О.О., Журавльов Г.Б. Проектування і розрахунок теплової ізоляції суднових рефрижераторних приміщень. – Ч.І. Ізоляційні матеріали і конструкції: Навчальний посібник. [друк] / Миколаїв: - УДМТУ. - 2003. – 44 с.
7. Гапонов С.А., Єсін І.П., Радченко М.І. Програма. Методичні вказівки та курсовий проєкт з дисципліни “Холодильна техніка та технологія”. - Миколаїв: НУК, 2005, - 20 с.
8. Сирота А.А. Розрахунок і підбір основного й допоміжного устаткування холодильних установок рефрижераторних суден. Компресорні й основні теплообмінні апарати. Частина 1. Навчальний посібник [друк] / Миколаїв: – 1980. – 150 с.
9. Hundy G.F. Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps. / G.F. Hundy, A.R. Trott and T.C. Welch. - Butterworth-Heinemann: Elsevier Ltd, March 2, 2016 (5th Edition). – 510 p.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.00	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

10. Лозовський А.П. Основи холодильних технологій: навчальний посібник / А.П. Лозовський, О.М. Іванов. - Суми: Університетська книга, 2015. - 149 с.

11. Мелейчук С.С. Монтаж, експлуатація, обслуговування холодильних і тепло насосних установок: навчальний посібник / С.С. Мелейчук, В.М. Арсеньєв. - Суми: СДУ, 2011. - 183 с.

12. Розрахунки з дисципліни «Теплотехнологічні процеси та установки»: Навчальний посібник / Луняка К.В., Димо Б.В., Андрєєва Н.Б., Калініченко І.В. - Херсон: ХНТУ, 2018. - 166 с. [Електронний варіант]

13. Теплообмінники суднових систем кондиціонування та рефрижерації: навчальний посібник / М.І. Радченко, А.М. Радченко, Д.В. Коновалов, Р.М. Радченко. - Миколаїв: НУК, 2014. - 260 с.

14. Франів А. Фізика низьких температур : навч. посібник / А. Франів, В. Стадник, В. Курляк. - Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2016. - 362 с.

15. Холодильні установки рефрижераторного рухомого складу: Навчальний посібник / І.Е. Мартинов, В.М. Іщенко, Н.С. Брайковська та ін. - Харків: УкрДАЗТ, 2013. - 134 с.

16. CoolPack IPU. - Електронні дані. - Режим доступу: <https://www.ipu.dk/products/coolpack/> (дата звернення 08.05.2026)

17. Sabroe Products 2023. Creating customer confidens. - 84 р. - Режим доступу <http://www.sabroe.com>. (дата звернення: 15.05.2026 р.).

18. Viessmann Heat pumps up to 2000 kW. - 42 р. - Режим доступу <http://www.viessmann.com>. (дата звернення: 15.05.2026 р.).

19. Bitzer. Режим доступу: https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/dp-200-6-en.pdf. (дата звернення: 15.05.2026 р.)

20. Артемов Г.А. Суднові енергетичні установки: навчальний посібник / Г.А. Артемов, В.М. Горбов. - Миколаїв: УДМТУ. - 2002. - 356 с.

21. Герасимов Г.Г. Енергоощадність в теплоенергетиці: навчальний посібник / Герасимов Г.Г. - Рівне: Червінко А.В., 2015. - 382 с.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.00	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

22. Методичні рекомендації до виконання розділу "Охорона праці" у бакалаврських випускних роботах (проектах) О.В. Щедролюсєв, Г.В. Додонова, А.М. Мозговий, В.В. Савельєв. – Миколаїв: НУК, 2012, 25 с.

23. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: Афіша, 2002. – 320 с.

24. Суднова енергетика та Світовий океан: Підручник/ В.М. Горбов, І.О. Ратушняк, Є.І. Трушляков, О.К. Чередніченко; За ред. В.М. Горбова. - Миколаїв: НУК, 2007. - 596 с.

25. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Підручник. – 5-те доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.

26. Тубальцев А.М. Виробниче освітлення та його розрахунок: Навчальний посібник. - Миколаїв: УДМТУ, 2001. - 84 с.

					КРБ.142.4257.09.05.ПЗ.00	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		