

**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 трюму транспортного рефрижератора дедвейтом 7340 тон»

Виконав: студент IV курсу, групи 4257  
спеціальності

142 «Енергетичне машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

«Холодильні машини і установки»

(назва освітньо-професійної програми)

*Новак*

Андрій НОВАК

(прізвище та ініціали)

Керівник Артем Грив

(прізвище та ініціали)

Рецензент Олександр ВОЇНОВ

(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 **Новака Андрія Михайловича, група 4257**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Розробка проєкту холодильної установки для трюму транспортного рефрижератора дедвейтом 7340 тон»**

керівник роботи **Грич Артем Вікторович, 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, риба

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 кожухотрубного конденсатору

Розділ 5. Охорона праці розрахунок заземлення.

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  $pI$ -діаграмі – 1 аркуш формату А2.
3. Компонувальне креслення компресора, компресорно-конденсаторного агрегату або холодильної машини – 1 аркуш формату А1.
4. Креслення теплообмінника конденсатору – 1 аркуш формату А1.

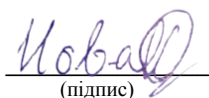
5. Дата видачі завдання « 22 » квітня 2026 року.

Дата представлення на кафедру « 10 » червня 2026 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

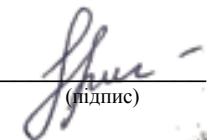
| № з/п | Назва етапів випускної магістерської роботи                                                                                              | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------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

Здобувач

  
(підпис)

Андрій НОВАК  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Артем ГРИЧ  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Новак Андрій Михайлович. Група 4257.

«Розробка проєкту холодильної установки для трюму транспортного рефрижератора дедвейтом 7340 тон.»

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування» (освітньо-професійна програма «Холодильні машини і установки»). – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсонський навчально-науковий інститут, Кафедра теплотехніки, Херсон, 2026 р.

У роботі виконано аналіз конструктивних та енергетичних характеристик судна, обґрунтовано необмежений район його плавання та автономність.

Проведено комплексний теплотехнічний розрахунок контуру рефрижерації для літніх кліматичних умов. Обґрунтовано вибір холодоагенту R404A та ефективної повітряної системи охолодження трюмів. Розраховано сумарні теплопритоки через огорожувальні конструкції та внутрішні експлуатаційні тепловиділення, які становлять 140 кВт.

Виконано термодинамічний розрахунок о парокомпресорного циклу на  $P-i$  діаграмі. На основі отриманих даних підібрано основне обладнання установки: три поршневі компресори Bitzer 6FE-44Y-40P, повітроохолоджувачі BOMB-160B, лінійний ресивер, а також розраховано діаметри всмоктувального, нагнітального та рідинного трубопроводів.

Проведено конструктивний розрахунок кожухотрубного конденсатору Bitzer K1973 продуктивністю 240 кВт.

Проведено аналізу безпеки праці та правилам техніки безпеки при експлуатації хладонових СХУ в машинному відділенні.

**Ключові слова:** суднова холодильна установка, транспортний рефрижератор, холодоагент R404A, повітряне охолодження, теплопритоки, поршковий компресор, повітроохолоджувач,  $p-i$  діаграма, охорона праці.

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.00 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          | 4    |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          |      |

## ABSTRACT

Novak Andrii Mykhailovych. Group 4257.

"Development of a refrigeration plant project for the cargo hold of a refrigerated transport ship with a deadweight of 7340 tons."

Qualification paper for a bachelor's degree in specialty 142 "Power Machinery Engineering" (educational and professional program "Refrigerating Machines and Plants"). – Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson Institute of Education and Science, Department of Heat Engineering, Kherson, 2026.

The paper provides an analysis of the vessel's structural and energy characteristics, justifying its unrestricted navigation area and endurance.

A comprehensive thermal engineering calculation of the refrigeration circuit for summer climatic conditions has been carried out. The choice of R404A refrigerant and an efficient air cooling system for the cargo holds has been substantiated. The total heat gains through the enclosing structures and internal operational heat dissipations were calculated, amounting to 140 kW.

A thermodynamic calculation of the vapor-compression cycle was performed on a P-i diagram. Based on the obtained data, the main equipment of the plant was selected: three Bitzer 6FE-44Y-40P reciprocating compressors, VOMB-160B air coolers, and a linear receiver. The diameters of the suction, discharge, and liquid pipelines were also calculated.

A structural design calculation was carried out for a Bitzer K1973 shell-and-tube condenser with a capacity of 240 kW. An analysis of occupational safety and accident prevention rules during the operation of freon-based marine refrigeration plants in the engine room was conducted.

**Keywords:** marine refrigeration plant, refrigerated transport ship, R404A refrigerant, air cooling, heat gains, reciprocating compressor, air cooler, P-i diagram, occupational safety.

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <i>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.00</i> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 | 5    |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 |      |

## ЗМІСТ

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....                                                                | 7  |
| ВСТУП.....                                                                                                | 8  |
| РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ, КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ ..                                      | 10 |
| 1.2. Основні технічні характеристики судна.....                                                           | 10 |
| 1.3. Експлуатаційні режими.....                                                                           | 12 |
| 1.4. Висновки за розділом 1.....                                                                          | 14 |
| РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВІ РОЗРАХУНКИ КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ.....                                                  | 16 |
| 2.1. Вибір параметрів повітря та води в залежності від параметрів продуктів, що зберігаються.....         | 16 |
| 1.1. Загальні відомості.....                                                                              | 18 |
| 2.2. Вибір ізоляційних конструкцій огорож приміщення, що охолоджується.....                               | 19 |
| 2.3. Визначення сумарного теплопритоку і холодопродуктивності СХУ.....                                    | 27 |
| 2.4. Вибір системи охолодження та холодильного агенту.....                                                | 33 |
| 2.5. Висновки за розділом 2.....                                                                          | 36 |
| РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ.....                                                            | 38 |
| 3.1. Побудова циклу холодильної машини на $p, h$ -діаграмі та його розрахунок.....                        | 38 |
| 3.2. Підбір холодильного компресора.....                                                                  | 42 |
| 3.3. Підбір повітроохолоджувача, теплообмінних апаратів та іншого устаткування холодильної установки..... | 46 |
| 3.4. Розміщення холодильного обладнання у приміщеннях судна.....                                          | 52 |
| 3.5. Висновки за розділом 3.....                                                                          | 54 |
| РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІННИКА.....                                                   | 56 |
| 4.1. Основні характеристики конденсаторів СХУ.....                                                        | 56 |
| 4.2. Розрахунок та підбір повітроохолоджувача.....                                                        | 58 |
| 4.3. Висновки по розділу 4.....                                                                           | 64 |
| РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....                                                                              | 66 |
| 5.1. Аналіз небезпек в машинному відділенні на рефрижераторних суднах.....                                | 66 |
| 5.2. Витяг з правил техніки безпеки хладонових ХУ.....                                                    | 69 |
| 5.3. Розрахунок захисного заземлення.....                                                                 | 71 |
| 5.4. Висновки за розділом 5.....                                                                          | 73 |
| ВИСНОВКИ .....                                                                                            | 75 |
| ЛІТЕРАТУРА.....                                                                                           | 77 |

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.00 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          | 6    |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          |      |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ГД – головний двигун;

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

ЕУ – енергетична установка;

ЗП – зовнішнє повітря;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

Кн – конденсатор;

ЛР – лінійний ресивер;

ПО – повітроохолоджувач;

РМВ –рефрижераторне машинне відділення;

РТ–реле тиску;

СХУ – суднова холодильна машина;

ТРВ – терморегулюючий вентиль;

УК – утилізаційний котел;

ЦО – центральний охолоджувач;

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <i>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.00</i> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 | 7    |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 |      |

## ВСТУП

На сьогоднішній день морський рефрижераторний транспорт відіграє стратегічну роль у забезпеченні глобальної логістики та збереженні якості швидкопсувних вантажів і морепродуктів під час тривалих океанських переходів. Ефективне функціонування суднових холодильних установок безпосередньо впливає на економічні показники судноплавних компаній та продовольчу безпеку. Модернізація та проектування таких установок вимагають вирішення низки сучасно-технічних та екологічних викликів. Зокрема, у зв'язку з жорсткими міжнародними вимогами Монреальського протоколу та додатку Кігалі, виникає гостра потреба у повному виведенні з експлуатації озоноруйнівних хладонів і переході на екологічно безпечні, озононеруйнівні гідрофторвуглецеві (ГФВ) холодоагенти. Окрім екологічного аспекту, критично важливим є підвищення енергоефективності суднового обладнання через оптимізацію термодинамічних циклів, впровадження високонадійних компресорів і сучасних засобів автоматизації. Розробка проекту ефективної суднової холодильної установки для транспортного рефрижератора дедвейтом 7340 тонн (на базі судна «ІВУКІ») є актуальним інженерним завданням, спрямованим на енергозбереження, екологічну безпеку та надійність морських перевезень.

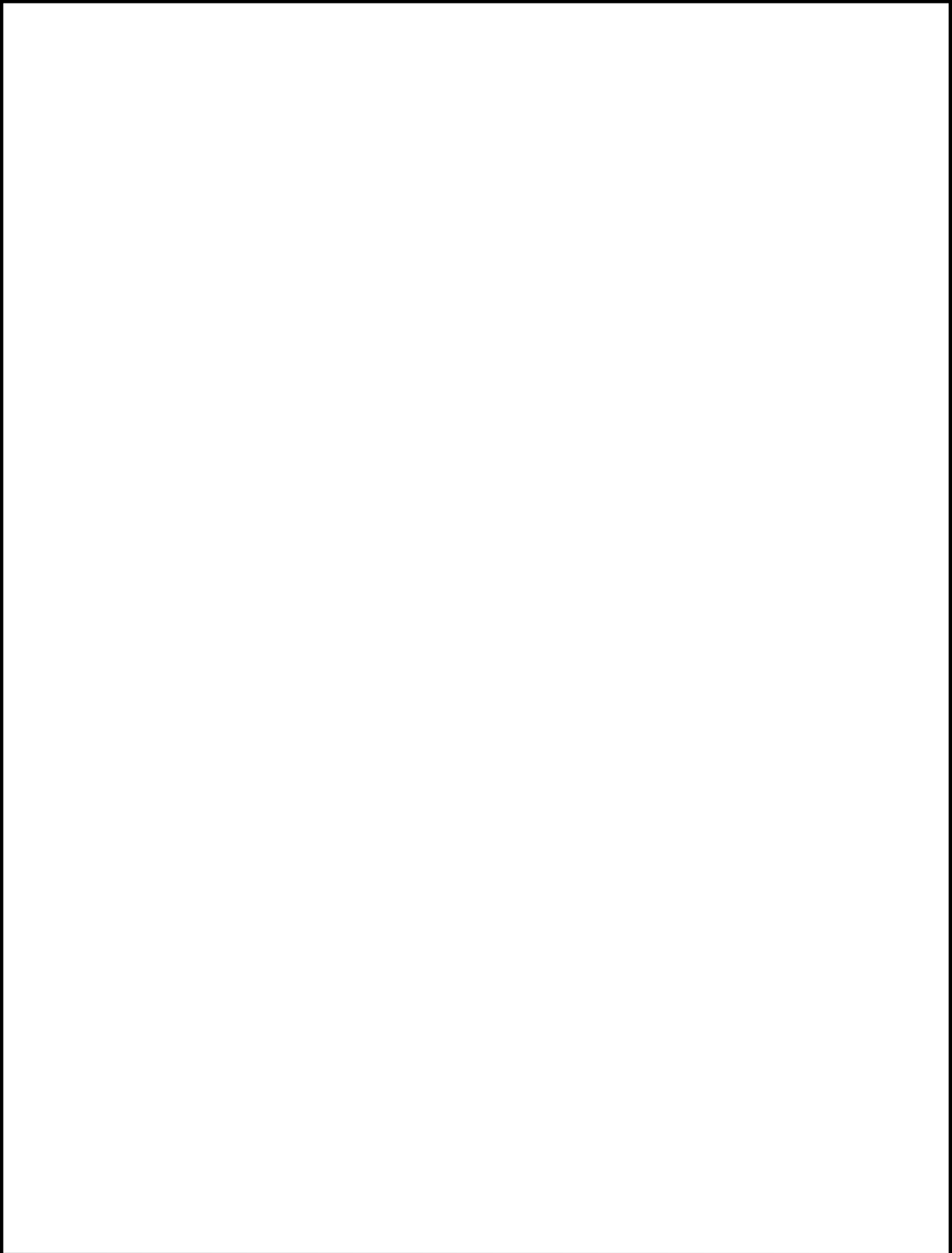
**Об'єкт дослідження** – процеси виробництва та розподілу штучного холоду в суднових холодильних установках низькотемпературних трюмів морських транспортних рефрижераторів.

**Мета роботи** – розробка та техніко-технологічне обґрунтування проекту високоефективної, екологічно безпечної та автоматизованої суднової холодильної установки для охолодження вантажного трюму транспортного рефрижератора дедвейтом 7340 тонн в екстремальних літніх кліматичних умовах експлуатації.

**Структура та обсяг кваліфікаційної роботи.** Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 23 найменування. Загальний обсяг роботи складає 79 сторінки, містить 30 рисунків та 6 таблиць.

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.00 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          | 8    |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          |      |





|                  |      |                      |        |      |                                 |                 |      |         |
|------------------|------|----------------------|--------|------|---------------------------------|-----------------|------|---------|
|                  |      |                      |        |      | <i>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.01</i> |                 |      |         |
|                  |      |                      |        |      |                                 |                 |      |         |
| Змн.             | Арк. | № докум.             | Підпис | Дата | <i>Розділ 1</i>                 | Літ.            | Арк. | Аркушів |
| <i>Студент</i>   |      | <i>Новак А. М.</i>   |        |      |                                 |                 |      |         |
| <i>Керівник</i>  |      | <i>Грич А.В.</i>     |        |      |                                 |                 |      |         |
|                  |      |                      |        |      |                                 |                 |      |         |
| <i>Консульт.</i> |      |                      |        |      |                                 |                 |      |         |
| <i>Зав.каф.</i>  |      | <i>Кобалава Г.О.</i> |        |      |                                 | <i>ХННІ НУК</i> |      |         |
|                  |      |                      |        |      |                                 |                 |      | 9       |

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ, КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ

### 1.2. Основні технічні характеристики судна.

Транспортний рефрижератор «IBUKI» є головним судном серії, побудованим у 2013 році на верфі Kyokuyo Shipyard Corporation (Японія). Це високотехнологічне судно, спроектоване для перевезення вантажів при ультранизьких температурах.

#### Загальні відомості та тип

Судно призначене для перевезення рефрижераторних вантажів (банани, фрукти, риба), генеральних вантажів та контейнерів (як у трюмах, так і на люкових кришках).

#### Конструктивні особливості:

- Корпус: сталевий, однопалубний з двома вантажними платформами.
- Форма: бульбоподібна носова частина (для покращення гідродинаміки) та транцева корма.
- Компонівка: кормове розташування житлової надбудови та машинного відділення (МВ), що максимізує корисний об'єм вантажних трюмів.
- Вантажні приміщення: 4 трюми з водонепроникними поперечними перебірками. Передбачена можливість перевезення рибного борошна в твіндеку №4.

Експлуатаційні можливості: Судно пристосоване для проведення швартовних операцій у відкритому морі (лівим бортом) для прийому вантажу з промислових суден при хвилюванні моря до 5 балів за шкалою Бофорта.

#### Район плавання та класифікація

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.01 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 10   |

Район плавання — необмежений. Судно сертифіковане для роботи в арктичних умовах у розрідженому битому льоду в літній період, а також цілорічно в неарктичних морях з легким льодовим режимом.

Класифікаційний статус (Nippon Kaiji Kyokai):

NK NS (PSCM), MNS, RMC Особлива відмітка: спроектовано для перевезення рефрижераторних вантажів при мінімальній температурі  $-50^{\circ}\text{C}$ .

Головні розмірення (типові для даного класу)



Рис. 1.1 Загальний вигляд рефрижераторного судна IBUKI: Super cool reefer [25]

Головні розмірення, міжпалубні висоти Таблиця 1.1.

| Параметр                                     | Значення |
|----------------------------------------------|----------|
| Довжина найбільша, м                         | 134,15   |
| Довжина між перпендикулярами, м              | 127,00   |
| Ширина найбільша, м                          | 20,2     |
| Висота борту на міделі до верхньої палуби, м | 10,3     |
| Осадка по літню вантажну марку, м            | 7,10     |

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.01 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 11   |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| Коефіцієнт загальної повноти | 0,685 |
| Дедвейт, т                   | 7340  |
| Швидкість руху, вузлів       | 15,4  |
| Екіпаж, чол..                | 14    |

Загальний вид судна зображено на рисунку 1.1, та на кресленні 1.2.

### 1.3. Експлуатаційні режими.

#### Морехідні якості та автономність

Дальність плавання судна за запасами палива та мастильних матеріалів становить приблизно 25 000 миль. Розрахункова автономність за запасами провізії, питної води та палива для допоміжних механізмів складає 90 діб.

Швидкісні характеристики судна за результатами ходових випробувань мають наступні показники:

- при осадці  $T_{cp} = 6,5$  м та потужності головного двигуна 12 200 к.с. ( $n = 120$  об/хв) швидкість становить 16,9 вузла;
- при осадці  $T_{cp} = 7,7$  та потужності 14 000 к.с. при частоті обертання гребного вала 127 об/хв швидкість досягає 19,4 вузла.

#### Непотоплюваність та остійність

Конструкція корпусу забезпечує належну непотоплюваність судна при затопленні будь-якого одного відсіку, що повністю відповідає вимогам «Правил забезпечення непотоплюваності морських суден». Показники остійності судна відповідають чинним нормам «Правил класифікації і будови морських суден».

#### Енергетична установка

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.01 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 12   |

Як головний двигун (ГД) на судні встановлено малообертовий дизель моделі 6S50ME-B9 виробництва компанії «MAN B&W». Двигун шестициліндровий, вертикальний, рядного виконання, двотактний, крейцкопфного типу з газотурбінним наддувом та електронним керуванням упорскуванням палива.

- Ефективна потужність: 10 680 кВт.
- Номінальна частота обертання: 117 хв<sup>-1</sup>.
- Питома витрата палива: 0,168 кг/(кВт·год).
- Тип палива: важке паливо (HFO).

Суднова електростанція включає три автоматизовані дизель-генератори на базі двигунів HHI-Himssen 6H21/32. Це чотиритактні тронкові двигуни простої дії з безпосереднім упорскуванням палива, кожен потужністю 1170 кВт при 900 хв<sup>-1</sup>. Електроенергія виробляється синхронними генераторами змінного струму виробництва Hyundai.

Для забезпечення теплових потреб судна передбачено два парові котли фірми «Kangrim»:

1. Допоміжний котел продуктивністю 4000 кг/год.
2. Утилізаційний котел, що працює на енергії вихлопних газів ГД, продуктивністю 2000 кг/год.

Загальносуднові та побутові системи

Згідно з технічною документацією, судно оснащено сучасним обладнанням систем життєзабезпечення та безпеки:

- система автоматизованого контролю баласту Kongsberg ICMS та установка очищення баластних вод RWO;
- стаціонарна установка опріснення морської води;

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.01 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 13   |

- комплекс протипожежного захисту, що включає сигналізацію Autronica (Auto Prime-BS-200M) та систему порошкового пожежогасіння NK/Dry chemical powder.

Як рушій використано гребний гвинт фіксованого кроку, виготовлений зі сплаву Ni-Al-Bronze компанією «ННІ». Передача крутного моменту здійснюється безпосередньо від головного двигуна.

Побутовий комплекс судна включає системи прісної та забортної води, стічно-шпінатну систему, парове опалення, а також розвинену мережу вентиляції та кондиціонування повітря. Окрему увагу приділено рефрижераторному комплексу, що включає системи охолодження та вентиляції вантажних трюмів і машинних відділень холодильних установок.

#### **1.4. Висновки за розділом 1.**

У першому розділі було проведено комплексний аналіз техніко-експлуатаційних характеристик судна «IBUKI». Дане судно є сучасним рефрижератором типу Super Cool Reefer із дедвейтом 7340 тонн, що визначає його спеціалізацію на перевезенні вантажів, які потребують суворого дотримання температурного режиму.

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <i>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.01</i> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 | 14   |

|           |               |          |        |      |                          |  |  |  |          |      |         |
|-----------|---------------|----------|--------|------|--------------------------|--|--|--|----------|------|---------|
|           |               |          |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 |  |  |  |          |      |         |
| Змн.      | Арк.          | № докум. | Підпис | Дата |                          |  |  |  |          |      |         |
| Студент   | Новак А.М.    |          |        |      | Розділ 2                 |  |  |  | Літ.     | Арк. | Аркушів |
| Керівник  | Грич А.В.     |          |        |      |                          |  |  |  |          |      |         |
|           |               |          |        |      |                          |  |  |  |          |      |         |
| Консульт. |               |          |        |      |                          |  |  |  | ХННІ НУК |      |         |
| Зав.каф.  | Кобалава Г.О. |          |        |      |                          |  |  |  |          |      |         |
|           |               |          |        |      | 15                       |  |  |  |          |      |         |

## РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВІ РОЗРАХУНКИ КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ.

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

Для обґрунтованого вибору параметрів робочого середовища холодильної установки необхідно детально враховувати умови експлуатації об'єкта проектування. Особливе значення має архітектурно-конструктивне розташування вантажних приміщень (трюмів) на судні, параметри повітряного середовища всередині та зовні них, а також інтенсивність джерел тепло-, волого- та газовиділень.

Основними розрахунковими параметрами вологого повітря, що визначають стан середовища у трюмах та житлових чи службових приміщеннях судна, є:

- температура,  $t$  (°C);
- вологовміст,  $d$  (г/кг або кг/кг);
- відносна вологість,  $\phi$  (%);
- ентальпія (тебловміст),  $i$  (кДж/кг);
- швидкість руху повітряних потоків,  $v$  (м/с);
- вміст шкідливих домішок та газів.

#### 1. Літній (теплий) період:

- температура зовнішнього повітря: +34 °C;
- відносна вологість зовнішнього повітря: 80%;
- температура забортної води: +30 °C.

#### 2. Зимовий (холодний) період:

- температура зовнішнього повітря: -25 °C;
- відносна вологість зовнішнього повітря: 85%;

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          | 16   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          |      |



- температура забортної води: 0 °С

### **Транспортування і зберігання риби холодильної обробки.**

Транспортування і зберігання риби холодильної обробки здійснюють згідно з правилами перевезення та зберігання швидкопсувних вантажів. Температура в разі перевезення охолодженої риби залізничним і водним видами транспорту понад 3 год повинна бути від -1 до +5°С. Для зберігання охолодженої риби на холодильниках, базах і складах потрібно витримувати температуру від -2 до +2°С. Залежно від виду риби і виду її розбирання терміни зберігання коливаються від 3 до 12 діб. У роздрібних торговельних підприємствах, які мають засоби охолодження, охолоджену рибу зберігають до 2 діб, за прилавком – 1-2 год. У магазинах без засобів охолодження таку рибу реалізовувати не дозволяється.

Морожені рибні товари з температурою нижче за -18°С перевозять у рефрижераторах. На холодильниках, торговельних базах і складах морожені рибні товари зберігають переважно за температури нижче. Терміни зберігання залежать від виду риби, способу заморожування, виду розбирання, розмірної групи, тари та ін. Морожену рибу у транспортній тарі зберігають від 2 до 8 міс. Глазуровані риби зберігають на 1-2 міс. довше, ніж неглазуровані. Терміни зберігання риби у споживчій тарі (пачка, пакет) знижуються на 1 міс. За температури -23 - -25°С порівняно з температурою -18°С терміни зберігання мороженої риби збільшують на 25-30%. Терміни зберігання мороженої прісноводної риби за температури -10°С не перевищують 3 міс, морської - 2 міс.

Отже обираємо умови зберігання:

- Замороженна риба: температура –18°С, відносна вологість 70...90%.

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <b>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02</b> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 | 17   |

## 1.1. Загальні відомості.

Сучасні рефрижераторні судна класифікуються за декількома визначальними ознаками, що обумовлюють їх конструктивні особливості та тип холодильного обладнання.

За водними шляхами експлуатації:

Морські (необмеженого та обмеженого району плавання);

Річкові та судна змішаного типу («річка-море»).

За типом головної енергетичної установки:

Теплоходи (дизельні установки з прямою передачею);

Дизель-електроходи (електрична трансмісія);

Турбоходи (газо- або паротурбінні установки).

За функціональним призначенням виділяють три основні групи:

### 1. Вантажні рефрижераторні судна:

- Універсальні: призначені для транспортування широкого спектра вантажів (м'ясо, риба, молочні продукти) при стабільних низьких температурах.
- Фруктовози: спеціалізовані судна для перевезення плодоовочевої продукції. Особливістю є наявність потужних систем вентиляції для видалення продуктів дихання плодів (CO<sub>2</sub>, етилен) та підвищена холодопродуктивність для швидкого охолодження вантажу, прийнятого з плантацій.
- Газовози: призначені для перевезення зріджених газів (метан, пропан тощо) під тиском або при криогенних температурах. Обладнуються установками реконденсації для мінімізації втрат вантажу.

### 2. Промислові судна:

- Видобувні (МРТР, СРТМ, БМРТ): виконують повний або частковий цикл обробки вилову. Обладнуються швидкоморозильними

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 18   |

апаратами (плитковими або шафовими) та низькотемпературними трюмами для зберігання.

- Оброблювальні (плавбази): заводи в морі, що приймають сировину від видобувних суден. Характеризуються наявністю механізованих ліній консервування, жиромучних установок та розвиненої системи холодопостачання.

- Приймально-транспортні: швидкісні великотоннажні судна, що забезпечують доставку готової мороженої продукції з районів промислу до портів призначення.

3. Вантажопасажирські рефрижератори: судна, що мають обмежену кількість рефрижераторних трюмів для комерційних перевезень паралельно з обслуговуванням пасажирів.

## **2.2. Вибір ізоляційних конструкцій огорож приміщення, що охолоджується.**

Головним споживачем холоду у рефрижераторних перевезеннях є тепло, яке проходить до приміщень, що охолоджується, ззовні крізь конструкції, які їх огороджують. Зменшення зовнішніх теплоприпливів сприяє зменшенню холодопотреби судна. Це можливо забезпечити шляхом виконання теплової ізоляції огорожувальних поверхонь.

Ізоляційні матеріали – це спеціальні матеріали, що володіють порівняно низькими коефіцієнтами теплопровідності і призначені для ізоляції огорожувальних конструкцій охолоджуваних приміщень, зменшення теплопритоків у них.

У холодильних установках застосовують тепло та гідроізоляційні матеріали. Теплозахисними властивостями володіють матеріали з шпаристою структурою, а також матеріали, шпари яких заповнені повітрям (або іншим наповнювачем -  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ), що має при 0-20°C низький коефіцієнт теплопровідності.

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <b>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02</b> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 | 19   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 |      |

Вимоги, які пред'являються до ізоляційних матеріалів:

- низький коефіцієнт теплопровідності;
- мала густина;
- висока механічна міцність та еластичність;
- морозостійкість;
- вогнестійкість та негорючість;
- відсутність запахів та несприятливість до них;
- малі вологомісткість та гігроскопічність;
- мінімальна усадка насипного ізоляційного матеріалу;
- неспричинення та не сприяння корозії поверхонь;
- нешкідливість для здоров'я людей;
- достатня стійкість до гнилісних бактерій та грибків;
- не сприяння розмноженню паразитів;
- низька вартість, доступність,
- зручність при транспортуванні, монтажу та експлуатації, довговічність.

Поверхні, що підлягають ізоляції повинні бути забарвлені згідно вимоги керівних документів. При ремонті ізоляції слід застосовувати ті ж ізоляційні матеріали, фарби і клеї, що і при первинному монтажі.

Обираємо плити теплоізоляційні зі стіродуру.

**Стіродур** – це екструдований твердий пінопласт – полістирол німецького концерну BASF. Характеризується низьким  $\lambda$ , високою вологостійкістю і тривкістю на стиск  $\sigma=0.15\dots0.7$  МПа ( в залежності від марки та товщини) при 10-% деформації.

Таке сполучення дозволяє застосовувати його як захисний шар від промерзання ґрунту під автомобільними шляхами, залізничними коліями і т.д. за даними фірми він виправдав себе при використанні в холодильних камерах, авторефрижераторах і на судах. Випускається 9 марок плит стіродура: 2000, 2500, 3035 – із рівними краями; 2800S, 3035S, 4000S, 5000S – з уступчастим

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 20   |

фальцем; 2500N і 3035N – із краями шипаз. Матеріал не містить хладонів, горючий, важкозаймистий.

**Таблиця 2.1**

|                                                                                    |                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Щільність, кг/м <sup>3</sup> 25                                                    | 25; 33; 45;                                |
| Температура застосування, °C                                                       | до 70 °C;                                  |
| Стійкість до тиску, МПа                                                            | 0.15 – 0.7;                                |
| Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м*K)                                              | 0.028 – 0.035;                             |
| Розміри плит, мм:<br>ширина<br>довжина<br>інтервали по довжині і ширині<br>товщина | 1250 – 2500;<br>600;<br>50;<br>0.02 – 0.2; |

Використовуються для ізоляції бортів, перегородок, підволоков і палуб в охолоджуваних приміщеннях, а також холодних трубопроводів і вентиляційних каналів.

Транспортуються без упаковки в закритих транспортних засобах; при зберіганні повинні дотримуватися заходи протипожежної безпеки.

#### **Вибір ізоляційних конструкцій:**

У класичному виконанні теплоізоляційний шар бортів, перегородок та підволоків у рефрижераторних трюмах захищається обшивкою, яка складається з одного ряду шпунтованих дощок завтовшки 16–25 мм. Для запобігання дифузії вологи та забезпечення герметичності контуру, стики суміжних листів ізоляції ретельно ущільнюють із використанням спеціальних герметизуючих матеріалів (наприклад, тіоколової стрічки тощо).

З боку вантажного приміщення (трюму) дерев'яну зашивку облицьовують листами з легких корозійностійких алюмінієво-магнієвих сплавів типу АМг завтовшки 1,5–2,0 мм або листами оцинкованої сталі

завтовшки 0,8–1,5 мм, що забезпечує належний санітарно-гігієнічний стан та механічну міцність огорожі.

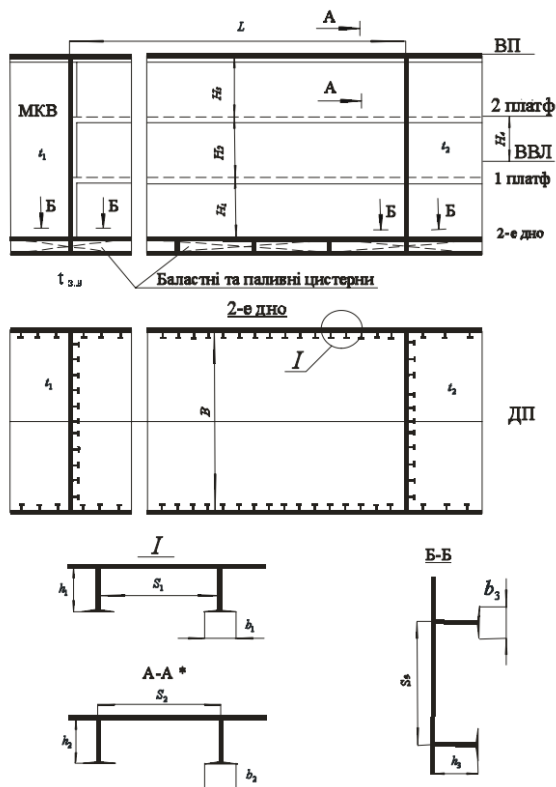


Рис 2.1 Схема рефрижераторного трюму

Таблиця 2.2

|                           |                                                                              |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Довжина, м                | $L1=10$<br>$L2=8,7$                                                          |
| Ширина, м                 | $B=14,5$                                                                     |
| Висота, м                 | $H1=4,0$<br>$H2=4,2$<br>$H3=0$                                               |
| Крок набору, м            | $S1=0,65$<br>$S2=0,70$<br>$S3=0,50$                                          |
| Висота профілю набору, мм | $h1=220$<br>$h2=240$<br>$h3=185$                                             |
| Ширина набору, мм         | $b1=60$<br>$b2=56$<br>$b3=38$                                                |
| Температура, °C           | $t_{з.в} = 30$<br>$t_{з.н} = 35$<br>$t1=35$<br>$t2=30$<br>$t3=32$<br>$t4=30$ |

Розрахунок теплової ізоляції зводиться до визначення коефіцієнту теплопередачі. Для елементів приміщення, дотичних до набору корпусу (стеля, передня та задня стінка). Обираємо нормальну конструкцію ізоляції: перекриваючий набір з перпендикулярним розташуванням брусків набору (рис 2.3).

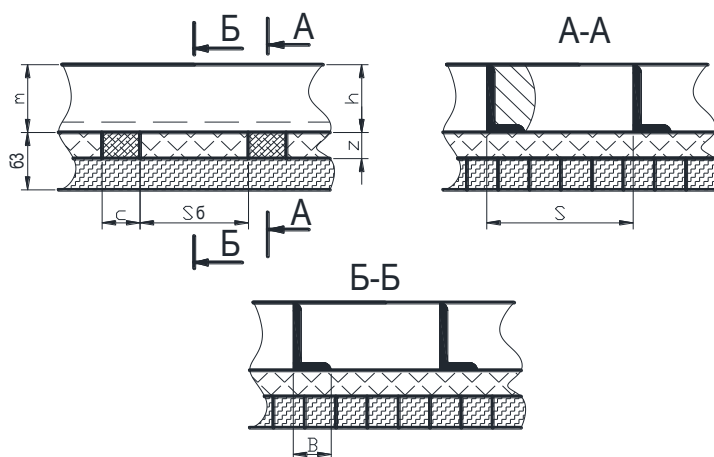


Рис 2.3 Перекриваючий набір з перпендикулярним розташуванням брусків набору

#### Підволік.

Вихідні дані:  $t_1=40^{\circ}\text{C}$ ;  $t_2=42^{\circ}\text{C}$ ;  $b_1=0,06\text{м}$ ;  $h_1=0,2\text{м}$ ;  $S_1=0,65\text{м}$ ;  $m=0,15$ ,  $\lambda_{\text{д}}=0,15$  Вт/м\*К;  $\lambda_{\text{із}}=0,035$  Вт/м\*К;  $\delta_3=0,05\text{м}$ ;  $n=0,233$ ;  $\Delta t=62^{\circ}\text{C}$ ;

#### Розріз А-А

$$q_{1A} = \frac{b * \lambda_{\text{д}}}{z + \delta_3} = \frac{0,06 * 0,15}{0,05 + 0,05} = 0,09 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{2A} = \lambda_{\text{із}} \frac{2}{\pi} * \ln \frac{h + n(z + \delta_3)}{n(z + \delta_3)} = 0,035 \frac{2}{\pi} * \ln \frac{0,2 + 0,233(0,05 + 0,05)}{0,233(0,05 + 0,05)} = 0,05 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{3A} = \lambda_{\text{із}} \frac{(S - 4h)/(\pi - b)}{h + n(z + \delta_3)} = 0,035 \frac{(0,65 - 4 * 0,2)/(\pi - 0,06)}{0,2 + 0,233(0,05 + 0,05)} = 0,0525 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

#### Розріз Б-Б

$$q_{1B} = \frac{\lambda_{\text{із}} * b}{z + n * \delta_3} = \frac{0,035 * 0,06}{0,05 + 0,233 * 0,05} = 0,0341 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{2B} = \lambda_{\text{із}} \frac{2}{\pi} \ln \frac{h + z + n\delta}{z + n\delta_3} = 0,035 \frac{2}{\pi} \ln \frac{0,2 + 0,05 + 0,233 * 0,05}{0,05 + 0,233 * 0,05} = 0,032 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

|                          |      |             |        |      |      |
|--------------------------|------|-------------|--------|------|------|
| КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 |      |             |        |      | Арк. |
|                          |      |             |        |      | 23   |
| Змн.                     | Арк. | № документа | Підпис | Дата |      |

$$q_{3B} = \lambda_{uz} \frac{(S - 4h)/(\pi - b)}{h + z + n\delta_3} = 0,035 \frac{(0,65 - 4 * 0,2)/(3,14 - 0,06)}{0,2 + 0,05 + 0,233 * 0,05} = 0,0448 \frac{Bm}{M^2}$$

$$k_A = (q_{1A} + 2q_{2A} + q_{3A})/S = (0,09 + 2 * 0,05 + 0,0525)/0,65 = 0,373 \frac{Bm}{M^2 * K}$$

$$k_B = (q_{1B} + 2q_{2B} + q_{3B})/S = (0,0241 + 2 * 0,032 + 0,0448)/0,65 = 0,22 \frac{Bm}{M^2}$$

$$k = (k_A * l + k_B (S - c))/S = (0,373 * 0,05 + 0,22(0,65 - 0,05))/0,65 = 0,232 \frac{Bm}{M^2 * K}$$

$$k_p = \beta_m * k = 1,2 * 0,232 = 0,278 \frac{Bm}{M^2 * K}; \beta = 1,15...1,2$$

$$k_{огор} = \frac{3,836}{\Delta t^{0,578}} = \frac{3,836}{62^{0,578}} = 0,353 \frac{Bm}{M^2 * K}$$

### Ізоляція полки з набором.

Вихідні дані:  $b_3=0,042m$ ;  $h_3=0,18m$ ;  $S_3=0,55m$ ;  $t_d=29^\circ C$ ;  $\Delta t=49^\circ C$ ;  $n=0,233$ ;

$m = h + z = 0,18 + 0,05 = 0,23m$ ;  $z=0,05m$ ;  $\delta_3=0,05m$ ;

#### Розріз А-А

$$q_{1A} = \frac{0,042 * 0,15}{0,05 + 0,05} = 0,63 \frac{Bm}{M^2}$$

$$q_{2A} = 0,035 \frac{2}{\pi} * \ln \frac{0,18 + 0,233(0,05 + 0,05)}{0,233(0,05 + 0,05)} = 0,048 \frac{Bm}{M^2}$$

$$q_{3A} = 0,035 \frac{(0,55 - 4 * 0,18)/(\pi - 0,042)}{0,18 + 0,233(0,05 + 0,05)} = 0,0479 \frac{Bm}{M^2}$$

#### Розріз Б-Б

$$q_{1B} = \frac{0,035 * 0,042}{0,05 + 0,233 * 0,05} = 0,0238 \frac{Bm}{M^2}$$

$$q_{2B} = 0,035 \frac{2}{\pi} \ln \frac{0,18 + 0,05 + 0,233 * 0,05}{0,05 + 0,233 * 0,05} = 0,030 \frac{Bm}{M^2}$$

$$q_{3B} = 0,035 \frac{(0,55 - 4 * 0,18)/(3,14 - 0,042)}{0,18 + 0,05 + 0,233 * 0,05} = 0,040 \frac{Bm}{M^2}$$

$$k_A = (q_{1A} + 2q_{2A} + q_{3A})/S = (0,063 + 2 * 0,048 + 0,0479)/0,55 = 0,376 \frac{Bm}{M^2 * K}$$

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 24   |



$$k_B = (q_{1B} + 2q_{2B} + q_{3B}) / S = (0,0238 + 2 * 0,030 + 0,040) / 0,50 = 0,225 \frac{Bm}{m^2}$$

$$k = (0,376 * 0,05 + 0,225(0,55 - 0,05)) / 0,55 = 0,2387 \frac{Bm}{m^2 * K}$$

$$k_p = \beta_m * k = 1,2 * 0,2387 = 0,286 \frac{Bm}{m^2 * K}; \beta = 1,15...1,2$$

$$k_{огор} = \frac{3,836}{\Delta t^{0,578}} = \frac{3,836}{49^{0,578}} = 0,4045 \frac{Bm}{m^2 * K}$$

### Ізоляція борту.

Вихідні дані:  $b_2=0,064m$ ;  $h_2=0,22m$ ;  $S_2=0,75m$ ;  $n=0,233$ ;  $z=0,05m$ ;  $\delta=0,05m$ ;  
 $\lambda_d=0,15 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$ ;  $t_{3.п.}=38^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta t=58^{\circ}\text{C}$ ;

### Розріз А-А

$$q_{1A} = \frac{0,064 * 0,15}{0,05 + 0,05} = 0,096 \frac{Bm}{m^2}$$

$$q_{2A} = 0,035 \frac{2}{\pi} * \ln \frac{0,22 + 0,233(0,05 + 0,05)}{0,233(0,05 + 0,05)} = 0,052 \frac{Bm}{m^2}$$

$$q_{3A} = 0,035 \frac{(0,75 - 4 * 0,22) / (\pi - 0,064)}{0,22 + 0,233(0,05 + 0,05)} = 0,058 \frac{Bm}{m^2}$$

### Розріз Б-Б

$$q_{1B} = \frac{0,035 * 0,064}{0,05 + 0,233 * 0,05} = 0,035 \frac{Bm}{m^2}$$

$$q_{2B} = 0,035 \frac{2}{\pi} \ln \frac{0,22 + 0,05 + 0,233 * 0,05}{0,05 + 0,233 * 0,05} = 0,0339 \frac{Bm}{m^2}$$

$$q_{3B} = 0,035 \frac{(0,75 - 4 * 0,22) / (3,14 - 0,064)}{0,22 + 0,05 + 0,233 * 0,05} = 0,05 \frac{Bm}{m^2}$$

$$k_A = (0,096 + 2 * 0,052 + 0,058) / 0,75 = 0,344 \frac{Bm}{m^2 * K}$$

$$k_B = (0,036 + 2 * 0,034 + 0,050) / 0,75 = 0,205 \frac{Bm}{m^2}$$

$$k = (0,344 * 0,05 + 0,205(0,75 - 0,05)) / 0,75 = 0,214 \frac{Bm}{m^2 * K}$$

$$k_p = \beta_m * k = 1,2 * 0,214 = 0,257 \frac{Bm}{m^2 * K}; \beta = 1,15...1,2$$

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          | 25   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          |      |

$$k_{огор} = \frac{3,836}{\Delta t^{0,578}} = \frac{3,836}{58^{0,578}} = 0,367 \frac{Вт}{м^2 * К}$$

### Ізоляція палуби

Вихідні дані:  $t_5=41^{\circ}C$ ;  $t_4=44^{\circ}C$ ;  $\delta=0,05м$ ;  $\Delta t=64^{\circ}C$ ;  $\alpha_n=8 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ ;  $\lambda_d=0,84 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ ;  $\lambda_{из}=0,035 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ ;

$$k_{огор} = \frac{3,836}{\Delta t^{0,578}} = \frac{3,836}{64^{0,578}} = 0,347 \frac{Вт}{м^2 * К}$$

$$k_n = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{k} + \frac{1}{\alpha_n}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{1}{0,347} + \frac{1}{8}} = 0,319 \frac{Вт}{м^2 * К}$$

$$m = \left( \frac{1}{k} - \frac{\delta}{\lambda_o} \right) * \lambda_{из} = \left( \frac{1}{0,319} - \frac{0,05}{0,84} \right) * 0,035 = (3,1348 - 0,0595) * 0,035 = 0,108 м = 108 мм$$

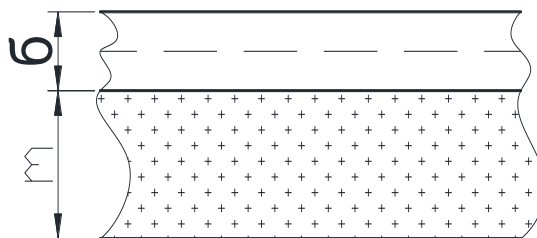


Рис. 2.4 Схема ізоляції палуби

### Ізоляція гладких перебірок

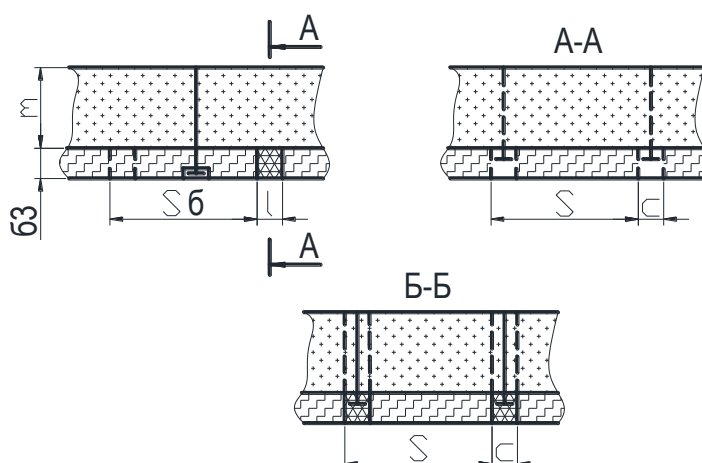


Рис. 2.5 Схема ізоляції гладких перебірок

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 26   |

Вихідні дані:  $t_3=45^{\circ}\text{C}$ ;  $\lambda_d=0,15 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$ ;  $\lambda_{i3}=0,035 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$ ;  $S=0,6\text{м}$ ;  $\delta=0,05\text{м}$ ;  
 $\Delta t=64^{\circ}\text{C}$ ;  $m=0,06\text{м}$ ;  $\beta_{мп}=1,03$ ;  $\beta_m=1,01$ ;

$$q_{1Б} = \frac{c}{\frac{m}{\lambda_{i3}} + \frac{\delta}{\lambda_d}} = \frac{0,05}{\frac{0,06}{0,035} + \frac{0,05}{0,15}} = 0,0244 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{2Б} = \frac{\lambda_{i3}(S - c)}{m + \delta} = \frac{0,035(0,6 - 0,05)}{0,06 + 0,05} = 0,175 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$k_n = \frac{1}{\frac{m}{\lambda_{i3}} + \frac{\delta}{\lambda_d}} = \frac{1}{\frac{0,06}{0,035} + \frac{0,05}{0,15}} = 0,488 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k_Б = (q_{1Б} + q_{2Б}) / S_б = (0,0244 + 0,175) / 0,6 = 0,332 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$k = \frac{1}{S_б} (K_A * l + K_Б (S_Б - c)) = \frac{1}{0,6} (0,488 * 0,05 + 0,332(0,6 - 0,05)) = 0,345 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k_p = \beta_m * \beta_{мп} * k = 1,101 * 1,103 * 0,345 = 0,359 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$k_{огор} = \frac{3,836}{\Delta t^{0,578}} = \frac{3,836}{64^{0,578}} = 0,347 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

### 2.3. Визначення сумарного теплопритоку і холодопродуктивності СХУ.

Проектна холодопродуктивність суднової холодильної установки (СХУ) повинна повністю забезпечувати компенсацію всіх зовнішніх та внутрішніх теплопритоків для надійного підтримання заданих температурних та вологісних режимів у вантажних трюмах транспортного рефрижератора.

Теплові притоки є динамічними величинами, які суттєво змінюються у часі. Тимчасовий профіль теплового навантаження залежить від низки факторів: конструктивних особливостей та архітектурно-конструктивного типу судна (геометрія трюмів, якість теплоізоляції, наявність суміжного набору); поточних кліматичних умов у районі плавання (інсоляція, параметри повітря та води); технологічних та експлуатаційних режимів роботи установки

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 27   |

(режим первинного охолодження/заморожування вантажу під час приймання або режим тривалого транспортування попередньо охолодженої продукції).

Температура дотичних приміщень з ПК:

$$\begin{array}{llll} t_1=40^{\circ}\text{C} & t_2=42^{\circ}\text{C} & t_3=45^{\circ}\text{C} & t_4=44^{\circ}\text{C} \\ t_5=41^{\circ}\text{C} & t_6=31^{\circ}\text{C} & t_7=20^{\circ}\text{C} & t_8=38^{\circ}\text{C} \\ t_9=29^{\circ}\text{C} & t_{3.\Pi.}=38^{\circ}\text{C} & & \end{array}$$

Розрахунок теплопритоків через огородження приміщень:

$$Q_{огор} = \sum_{i=1}^n Q_i, \text{Вт},$$

где  $n$  – кількість поверхонь приміщень;

$$Q_i = k_i * F_i (t_{зовн} - t_{внутр}), \text{Вт}$$

$t_{зовн}$  – температура зовнішнього повітря;

$t_{внутр}$  – температура перевозу вантажу ( $t = -20^{\circ}\text{C}$ ).

Площа кожної поверхні судна – середня:

$$F_{ip} = 0,5(F_{ізовн} + F_{івн}), \text{ м}^2$$

$F_{ізовн}$  – площа поверхні без урахування ізоляції;

$F_{івн}$  – з урахуванням ізоляції;

Результати розрахунку вносим до таблиці:

Таблица 2.3

| Поверхня          | Параметри                        |                                |                               |                               |                    |                 |                        |
|-------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------|------------------------|
|                   | $K_i,$<br>Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | $F_{зов.і},$<br>м <sup>2</sup> | $F_{вн.і},$<br>м <sup>2</sup> | $F_{ср.і},$<br>м <sup>2</sup> | $t_{зов.і},$<br>°С | $t_{тр},$<br>°С | $Q_{конв}^{огр}$<br>Вт |
| Носова переборка  | 0,34                             | 112,00                         | 106,78                        | 109,39                        | 32,00              | -18,00          | 1859,610               |
| Кормова переборка | 0,34                             | 112,00                         | 106,78                        | 109,39                        | 35,00              | -18,00          | 1971,186               |
| Над ВЛ            | 0,35                             | 72,00                          | 68,84                         | 70,42                         | 35,00              | -18,00          | 1306,272               |

|           |      |        |        |        |       |        |                  |
|-----------|------|--------|--------|--------|-------|--------|------------------|
| Під ВЛ    | 0,35 | 72,00  | 68,84  | 70,42  | 30,00 | -18,00 | 1183,039         |
| Подволок  | 0,35 | 252,00 | 245,15 | 248,57 | 35,00 | -18,00 | 4611,020         |
| Друге дно | 0,32 | 252,00 | 244,61 | 252,00 | 30,00 | -18,00 | 3858,624         |
| $\Sigma$  |      |        |        |        |       |        | <b>14789,751</b> |

$$Q_{\Sigma} = 14,789 \text{ кВт}$$

### Розрахунок експлуатаційних теплопритоків.

Експлуатаційні теплопритоки у вантажних приміщеннях транспортного рефрижератора формуються під впливом внутрішніх джерел тепловиділення та технологічних процесів обслуговування трюмів. Структура та загальна величина цих теплопритоків безпосередньо залежать від режимів роботи суднових механізмів, систем вентиляції та графіку проведення вантажних або інспекційних робіт.

До основних складових експлуатаційного теплового навантаження належать:

Тепловиділення від роботи технологічного обладнання та механізмів: теплота, що виділяється електродвигунами вентиляторів повітроохолоджувачів та іншими пристроями, які забезпечують циркуляцію повітря у трюмі.

Теплопритоки від систем штучного освітлення: теплова енергія, яка виділяється освітлювальними приладами під час огляду трюмів або виконання вантажних операцій.

Тепловиділення від обслуговуючого персоналу: теплота, що надходить у приміщення від людей, які перебувають у трюмі під виконання технологічних робіт

Теплопритоки внаслідок інфільтрації зовнішнього повітря: надходження тепла й вологи під час відкриття люкових закриттів, дверей або технологічних лазів, а також теплопритоки, пов'язані з роботою системи загальносуднової

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <b>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02</b> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 | 29   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 |      |

вентиляції (якщо передбачено режим освіження повітряного середовища під час транспортування певних видів вантажу).

Усі складові експлуатаційних теплопритоків враховуються у тепловому балансі СХУ з урахуванням коефіцієнтів одночасності їхньої дії впродовж доби. Теплопритоки від продуктів обробки:

$$Q_2 = \frac{m_r * c_r (t_{поч} - t_{кін})}{\tau * 3600} = \frac{567,88 * 10^3 * 1,7 * 10^3 (-10 - (-18))}{20 * 3600} = 107,26 \text{ кВт}$$

де  $m_r$  – маса вантажу;

$$m = 10^3 * V / V_B = 10^3 * 2016 / 3,55 = 567880 \text{ кг}$$

$V_B$  – вантажний питомий об'єм,  $3,55 \text{ м}^3/\text{т}$

$$t_{поч} = t_{трюм} + (2 \dots 10^\circ\text{C}) = -18 + 8 = -10^\circ\text{C}$$

$c$  – теплоємність продуктів, що охолоджуються,  $\text{Дж}/(\text{кг} * \text{К}) = 1,34 \dots 1,8$  при певній температурі;

$Q_{2T} = Q_2$  – бо у провізійну камеру рибу завантажують в пластикових обгортках, тому їх не враховуємо;

**Теплопритоки, зумовлені зовнішнім повітрям чи вентиляцією.**

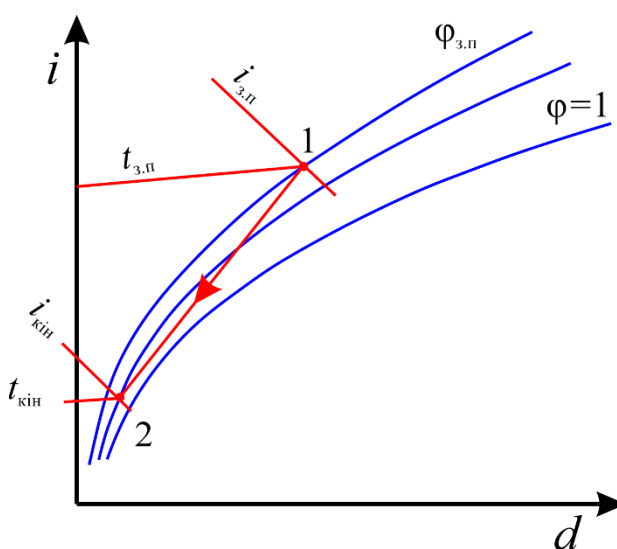


Рис. 2.6. Схема процесу охолодження припливного повітря на  $I-d$  діаграмі вологого повітря.

$$Q_3 = V * n * \rho_{3.п} (I_{3.п} - I_{кін}) / 24 * 3600 = 2016 * 2 * 1,149 (60 + 19) * 10^3 / (24 * 3600) = 4,2 \text{ кВт}$$

$Q_3$  – кількість необхідного холоду для охолодження і зневоднення повітря, що надходить при вентиляції у приміщення, що охолоджується.

$V$  – об'єм повітря, що охолоджується,  $\text{м}^3$ ;

$n$  – кратність вентиляції,  $n=2$ ;

$\rho_{3,\Pi}$  – густина зовнішнього повітря;  $\rho_{3,\Pi} = 1/V_{3,\Pi} = 1/0,87 = 1,149 \text{кг/м}^3$ ,  $V_{3,\Pi} = 0,87 \text{м}^3/\text{кг}$  (з діаграми);

$I$  – ентальпія;

З цієї ж діаграми знімаємо ентальпію зовнішнього повітря  $I_{3,\Pi}$  і ентальпію повітря у приміщенні  $I_{\text{кім}}$ :

$I_{3,\Pi} = 60 \text{кДж/кг}$

$I_{\text{кім}} = -19 \text{кДж/кг}$

Теплопритоки від приладів освітлення, Вт

$$Q'_4 = (\tau_{\text{осв}} / 24) * \psi_{\text{осв}} \sum_{i=1}^n N_i$$

где  $\tau_{\text{осв}}$  – тривалість роботи освітлювачів протягом доби, год;

$\psi_{\text{осв}}$  – коефіцієнт одночасної роботи освітлювачів (0,40...0,75);

$n$  – кількість освітлювачів,  $n=4$ ;

$N_i$  – потужність і-го освітлювача, Вт;  $N_i = 60 \text{Вт}$ ;

$$Q'_4 = (3 / 24) * 0,6 * 4 = 18 \text{Вт}$$

Теплопритоки від працюючих людей, Вт:

$$Q''_4 = (\tau_{\text{люд}} / 24) * z * q_{\text{люд}}$$

де  $\tau_{\text{люд}}$  – час роботи людей у приміщенні, що охолоджується, протягом доби, год;

$z$  – кількість одночасно працюючих людей,  $z=2$ ;

$q_{\text{люд}}$  – тепловий потік від однієї людини при середній інтенсивності роботи,  $q_{\text{люд}} = 240 \text{Вт}$ ;

$$Q''_4 = (2 / 24) * 2 * 240 = 40 \text{Вт}$$

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          | 31   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          |      |

Теплопритоки від працюючих механізмів залежать від того, де розташовані ці механізми. Якщо електродвигуни знаходяться у приміщенні, що охолоджується, то і корисна робота, і втрати у двигуні перетворюються в теплоту і передаються повітрю приміщення, Вт;

$$Q_4''' = \psi_{\text{мех}} \sum_{i=1}^n N_{\partial\sigma}; N_{\partial\sigma} = 2\kappa Bm$$

де  $\sum N_{\text{дв}}$  – сумарна кількість всіх двигунів, що встановлю у приміщенні;

$\psi_{\text{мех}}$  – коефіцієнт одночасності роботи механізмів, приймається

$$\psi_{\text{мех}} = 0,4 \dots 1,0 \quad (\psi_{\text{мех}} = 0,5)$$

$$Q_4''' = 0,5 * 2 = 1000 Bm = 1\kappa Bm$$

Інші теплоприпливи, що не розраховуються, викликані в основному втратами холоду за приміщенням, що охолоджується: у трубопроводах холодильного агенту і проміжного холодоносія, через ізольовані поверхні випарників, розсільних насосів, інших апаратів і елементів, а також через шпарини в люках і дверях і т.п. Вони приймаються як частини вже розрахованих сумарних теплопритоків через огороження, Вт.

$$Q_5 = (0,15 \dots 0,2) Q_1$$

$$Q_5 = 0,2 Q_1 = 0,2 * 4311 = 862,2 \text{ Вт}$$

Визначаємо холодопродуктивність устаткування:

$$Q_0' = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_5 + \sum Q_4$$

$$Q_0' = 14789 + 10726 + 4200 + 862,2 + 18 + 40 + 3000 = 129351 Bm$$

Отже сумарно:

$$Q_0 = Q_0' / b = 129,351 / 0,9 = 140,37 \kappa Bm$$

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 32   |



## 2.4. Вибір системи охолодження та холодильного агенту.

Суднова система охолодження являє собою комплекс взаємопов'язаного обладнання, що включає охолоджувальні прилади, вентиляційні установки, насоси та систему повітроводів, за допомогою яких забезпечується безперервне відведення теплоти з рефрижераторних трюмів і вантажних камер з метою підтримання заданого температурно-вологісного режиму.

Залежно від способу передачі холоду до об'єкта та конструктивного виконання охолоджувальних пристроїв, у судноводуванні та холодильній техніці виділяють кілька основних систем охолодження:

1. Система безпосереднього охолодження (батарейна)  
здійснюється шляхом природної конвекції трюмного повітря.
2. Система охолодження з проміжним холодоносієм
3. Повітряна система охолодження
4. Комбінована (повітряно-розсільна) система охолодження
5. Панельна система охолодження
- Охолоджувальні прилади виконуються у вигляді панелей спеціальної
6. Змішані системи охолодження

Нижче принципові схеми зазначених систем охолодження для транспортного рефрижератора.

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 33   |

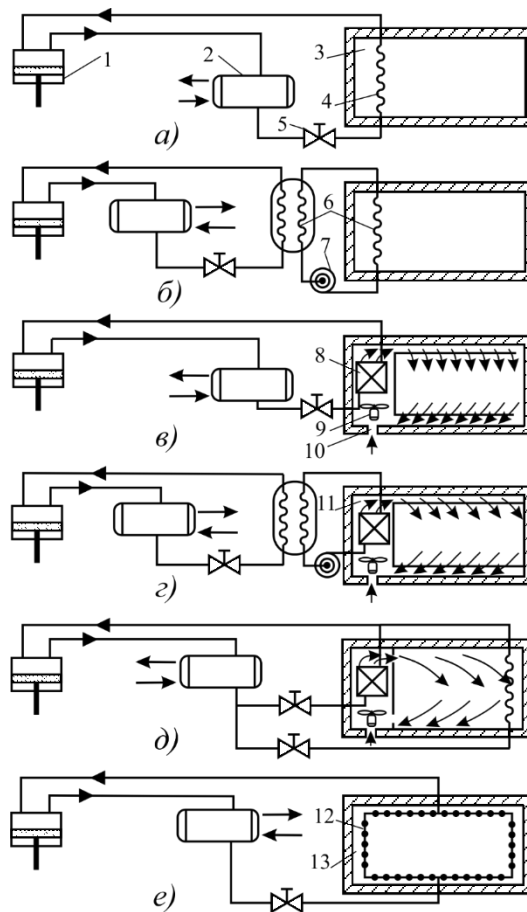


Рис. 3.1. Схеми системи охолодження рефрижераторного трюму:

а – безпосереднє, б – розсільне, в – повітряне, г – комбіноване повітряно-розсільне, д – змішане повітряно-батареєне, е – панельне охолодження.

Вибір системи охолодження судна є визначальним етапом проектування СХУ, оскільки вона безпосередньо впливає на збереженість та величину природного усушення вантажу, питомі витрати електроенергії, корисне використання вантажного об'єму трюмів, чисту вантажопідйомність судна, а також на загальну безпеку мореплавства.

Переваги та недоліки повітряної системи охолодження

Широке впровадження повітряних систем на транспортних рефрижераторах обумовлене такими перевагами:

Висока рівномірність температурно-вологісних полів: інтенсивна примусова циркуляція виключає утворення локальних зон перегріву або застійних областей у вантажному об'ємі.

Інтенсифікація тепломасообміну: використання багатошвидкісних вентиляторів дозволяє значно прискорити процес первинного охолодження або заморожування продукції під час її приймання на борт.

Універсальність та гнучкість регулювання: продуктивність вентиляторів можна змінювати залежно від роду вантажу — від мінімальних швидкостей (для запобігання усушення мороженої риби чи м'яса) до максимальних режимів (під час транспортування фруктів, що інтенсивно виділяють теплоту дихання).

Контроль газового складу: система дозволяє легко організувати регульоване подавання свіжого зовнішнього повітря для вентиляції трюмів.

Технологічність обслуговування та відтавання: оскільки повітроохолоджувачі винесені в окремі вигородки, процес видалення «снігової шуби» (відтавання) здійснюється швидко, без ризику потрапляння талої води на вантаж та без значного теплового впливу на ваажні приміщення.

Покращені масогабаритні показники: завдяки високому коефіцієнту теплопередачі при вимушеному русі повітря, площа поверхні та загальна маса обладнання повітряної системи є значно меншими, ніж у класичних батарейних системах тихого охолодження.

Для забезпечення ефективної та безпечної роботи суднової холодильної установки транспортного рефрижератора важливим етапом є підбір робочого тіла (холодоагенту). З огляду на міжнародні екологічні вимоги, а також специфіку середньо- та низькотемпературного охолодження вантажних трюмів, як основний холодоагент у проекті розглядається R404A.

Холодоагент R404A є довгостроковою ознобезпечною альтернативою застарілим та забороненим до використання у новому судновому обладнанні хладагентам R502 та R22.

Хімічний склад та термодинамічні властивості R404A

R404A — це трикомпонентна суміш на базі гідрофторвуглеців (ГФУ), яка має такий масовий склад:

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 35   |

ГФУ-143а — 52%; ГФУ-125 — 44%; ГФУ-134а — 4%.

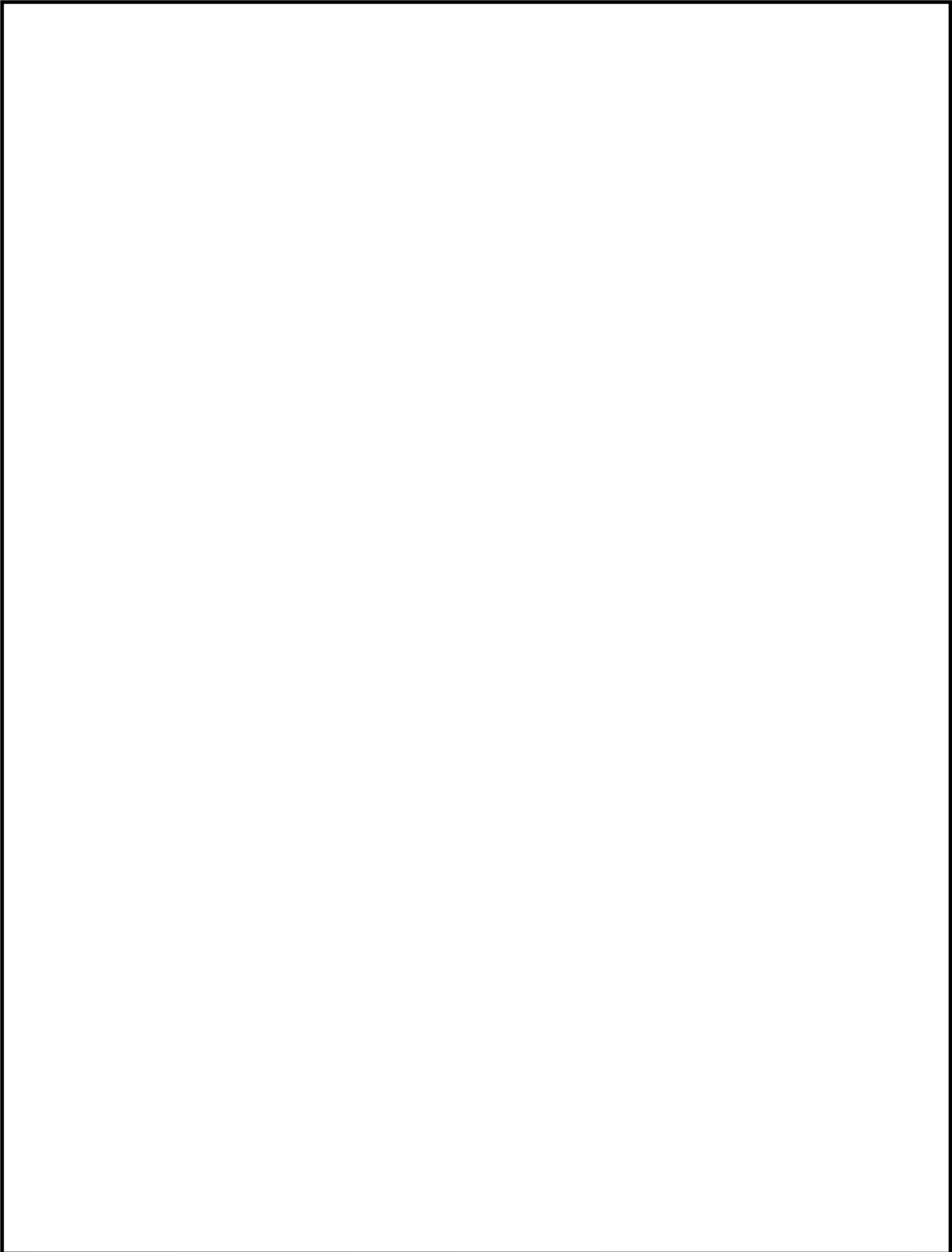
За своїми термодинамічними властивостями ця суміш є близькою до азеотропної. Це забезпечує високу стабільність хімічного складу холодильного агенту навіть у випадках неодноразових витоків та дозаправок системи під час експлуатації. Завдяки мінімальному температурному "глайду" (розшаруванню компонентів при кипінні й конденсації), сервісне обслуговування суднової установки спрощується: дозаправку контуру можна виконувати безпосередньо у рідкій фазі після кожної фіксації витoku без необхідності повної регенерації робочого тіла.

## 2.5. Висновки за розділом 2.

Обґрунтовано та визначено розрахункові параметри повітряного середовища у вантажних трюмах транспортного рефрижератора. Розглянуто конструктивні особливості сучасного теплоізоляційного контуру рефрижераторних трюмів.

Сформовано структуру та розраховано тепловий баланс об'єкта, враховуючи динамічний характер зовнішніх теплопритоків через огороження судна та внутрішніх експлуатаційних тепловиділень. Визначено, що сукупність цих факторів формує максимальне теплове навантаження на СХУ, яке є основою для подальшого підбору компресорного та теплообмінного обладнання. Встановлено, що масимальне теплове навантаження, з урахуванням всіх теплопливів становить близько 140 кВт.

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 36   |



|           |      |               |        |      |                                 |                 |      |         |
|-----------|------|---------------|--------|------|---------------------------------|-----------------|------|---------|
|           |      |               |        |      | <i>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03</i> |                 |      |         |
|           |      |               |        |      |                                 |                 |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.      | Підпис | Дата |                                 |                 |      |         |
| Студент   |      | Новак А.М.    |        |      | <i>Розділ 3</i>                 |                 |      |         |
| Керівник  |      | Грич А.В.     |        |      |                                 |                 |      |         |
|           |      |               |        |      |                                 |                 |      |         |
| Консульт. |      |               |        |      |                                 |                 |      |         |
| Зав.каф.  |      | Кобалава Г.О. |        |      |                                 |                 |      |         |
|           |      |               |        |      |                                 | Літ.            | Арк. | Аркушів |
|           |      |               |        |      |                                 |                 |      |         |
|           |      |               |        |      |                                 | <i>ХННІ НУК</i> |      |         |
|           |      |               |        |      |                                 | 37              |      |         |

## РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ

### 3.1. Побудова циклу холодильної машини на $p, h$ -діаграмі та його розрахунок.

В судових холодильних установках широкі розповсюдження отримали одноступеневі парокомпресорні холодильні машини (ПКХМ). Принципова схема ПКХМ зображена на рис.3.2

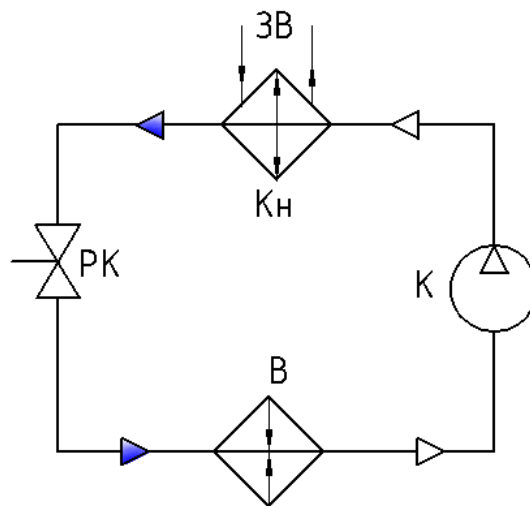


Рис. 3.2 Принципова схема парокомпресорної холодильної машини. К – компресор; К<sub>н</sub> – конденсатор; ДК – дроселюючий клапан; В – випарник.

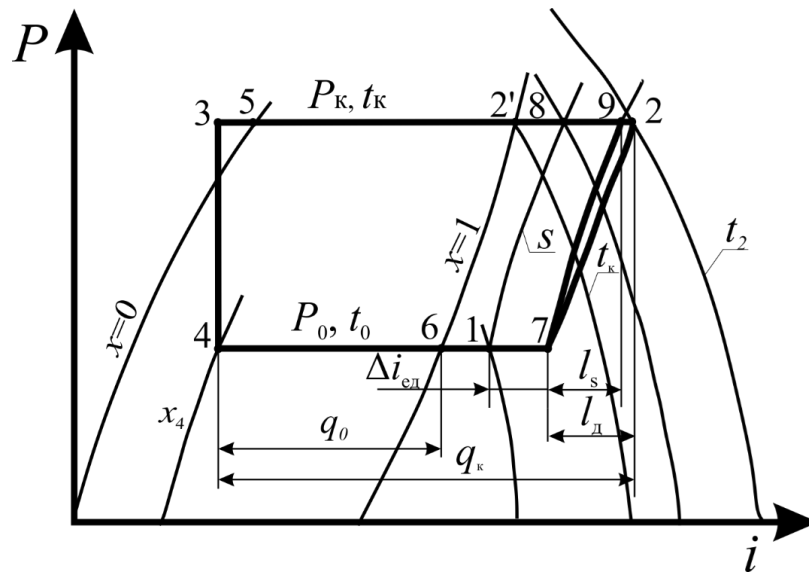


Рис. 3.3. Цикл ПКХМ

Об'єктом розгляду в цій роботі є завантажений замороженою рибою ТРЮМ.

Розраховуємо температури:

1) кипіння

$$t_0 = t_{\text{пр}} - \Delta t_1 = -18 - 7 = -25^\circ\text{C}$$

2) конденсації

$$t_{\text{кон}} = t_{3.\text{в.}} + \Delta t_2, \Delta t_2 = 6 \dots 12^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{кон}} = 30 + 10 = 40^\circ\text{C}$$

3) переохолодження холодоагенту

$$t_3 = t_{\text{к}} - \Delta t_{\text{переох}}, \Delta t_{\text{переох}} = 1 \dots 6^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 40 - 5 = 35^\circ\text{C}$$

4) перегрів холодоагенту у приміщенні (тч.Б)

$$t_1 = t_0 + 0.5(t_{\text{пр}} - t_0) = -25 + 0.5(-18 - (-25)) = -21^\circ\text{C}$$

Визначимо збільшення ентальпії електродвигуна:

$$\Delta i_{\text{ед}} = \frac{i_8 - i_1}{\eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{\text{ед}}} (1 - \eta_{\text{ед}}) \cdot \Psi$$

$\eta_i$  – індикаторний ККД компресора,  $\eta_i = f(P_{\text{к}}/P_0)$

|      |      |             |        |      |
|------|------|-------------|--------|------|
|      |      |             |        |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |

КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03

Арк.

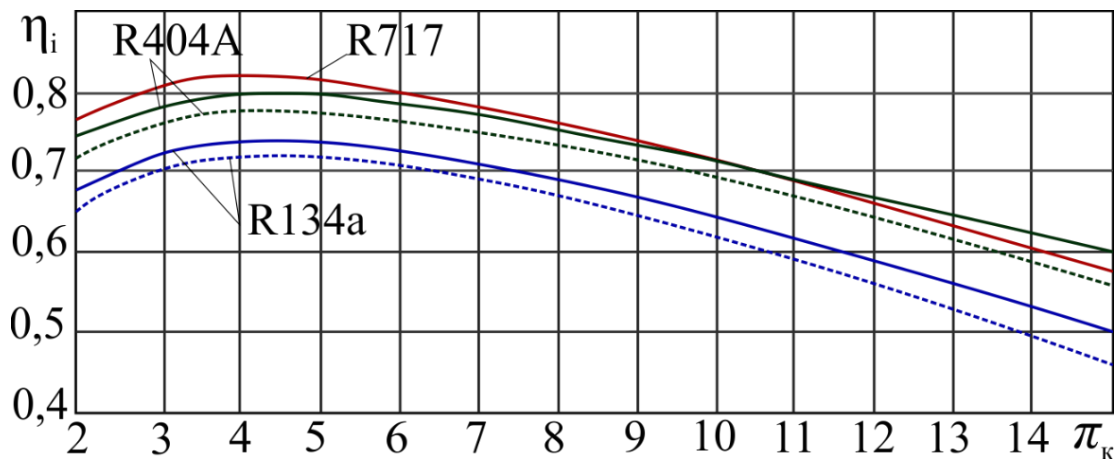


Рис. 3.4. Залежність індикаторного ККД поршневого компресора від ступеня підвищення тиску

----- для сальникових компресорів

\_\_\_\_\_ для без сальникових компресорів

$$P_k/P_0 = 18,16/2,5 = 7,26 \rightarrow \eta_i = 0,8$$

$\eta_m$  – механічний ККД компресора,  $\eta_m = 0,90$

$$\eta_{ед} = 0,78 \dots 0,85 \text{ (0,8)}$$

$\psi$  – коефіцієнт обміну з оточуючим середовищем (0,4...0,6)(0,5)

$$\Delta i_{ед} = \frac{398 - 357}{0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,85} (1 - 0,85) \cdot 0,5 = 5,0 \text{ кДж / кг}$$

$$i_7 = i_1 + \Delta i_{ед} = 357 + 5 = 362 \text{ кДж}$$

Визначимо ентальпію у точці 2.

Для цього необхідно знайти дійсну роботу в компресорі:

$$l_o = \frac{l_s}{\eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{ед}} = \frac{i_9 - i_7}{\eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{ед}} = 54 \text{ кДж / кг}$$

$$i_2 = i_7 + l_o = 362 + 54 = 416 \text{ кДж/кг}$$



**Таблиця 3.1**

| Параметр<br>та одиниці<br>вимірювання         | Точки циклу |          |          |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------------------------------------|-------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                               | 6           | 1        | 7        | 2         | 2'        | 9         | 8         | 5         | 3         | 4         |
| 1. Температура<br>$t, ^\circ\text{C}$         | -25         | -<br>21  | -<br>14  | 67        | 40        | 57        | 51        | 40        | 35        | -25       |
| 2. Тиск $P$ , Бар                             | 2,5         | 2,<br>5  | 2,<br>5  | 18,<br>16 | 18,<br>16 | 18,<br>16 | 18,<br>16 | 18,<br>16 | 18,<br>16 | 2,5       |
| 3. Ентальпія $I$ ,<br>кДж/кг                  | 352         | 35<br>7  | 36<br>2  | 416       | 384       | 405       | 398       | 264       | 254       | 254       |
| 4. Питомий об'єм<br>$v, \text{м}^3/\text{кг}$ | 0,0<br>78   | 0,<br>08 | 0,<br>08 | 0,0<br>12 | 0,0<br>1  | 0,0<br>11 | 0,0<br>13 | 0,0<br>01 | -         | 0,0<br>37 |

Питома масова холодопродуктивність, кДж/кг

$$q_0 = i_6 - i_4 = 352 - 254 = 98$$

Питома об'ємна холодопродуктивність, кДж/м<sup>3</sup>

$$q_v = q_0 / V_6 = 98 / 0,07 = 1256$$

Масова витрата холодоагенту, кг/с

$$G_0 = Q_0 / q_0 = 140 / 98 = 1,43$$

Дійсний об'єм пари, м<sup>3</sup>/с

$$V_0 = Q_0 / q_v = 140 / 1256 = 0,111$$

Питома робота, що витрачається у компресорі, кДж/кг

$$l = i_2 - i_7 = 416 - 362 = 53,7$$

Питома теплота, що відводиться в конденсаторі, кДж/кг

$$q_k = i_2 - i_3 = 416 - 254 = 161$$

Теоретичний холодильний коефіцієнт

$$\varepsilon = q_0 / l = 98 / 53,7 = 1,82$$

Теплове навантаження на конденсатор, кВт

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 41   |

$$Q_k = G_0 \cdot q_k = 1,43 \cdot 161 = 231$$

### 3.2. Підбір холодильного компресора.

Основним елементом суднової холодильної установки, що забезпечує циркуляцію холодильного агенту R404A та підвищення його тиску від тиску кипіння до тиску конденсації, є компресорний агрегат. Для реалізації запроєктованого холодильного циклу транспортного рефрижератора прийнято до впровадження компресор поршневого типу.

Принцип дії та робочий процес поршневого компресора

Поршневий компресор — це об'ємна гідрогазодинамічна машина, принцип роботи якої базується на періодичній зміні робочого об'єму циліндрів за рахунок зворотно-поступального руху поршня. Компресори цього класу мають високу надійність і універсальність, завдяки чому широко застосовуються у машинобудуванні, хімічній промисловості, енергетиці, а також у суднових холодильних та кріогенних установках.

Робочий процес у циліндрі поршневого компресора складається з таких послідовних фаз:

Всмоктування: при русі поршня від верхньої мертвої точки (ВМТ) до нижньої мертвої точки (НМТ) об'єм робочої камери між днищем поршня та кришкою циліндра збільшується. Це призводить до падіння тиску всередині циліндра нижче тиску у всмоктувальному трубопроводі. Під дією утвореної різниці тисків відкривається всмоктувальний клапан, і нова порція перегрітої пари холодоагенту з випарника заповнює циліндр.

Стиснення: при зворотному русі поршня (від НМТ до ВМТ) всмоктувальний клапан закривається. Робочий об'єм камери зменшується, внаслідок чого тиск і температура пари холодоагенту стрімко зростають.

Нагнітання: коли тиск у циліндрі починає перевищувати тиск у конденсаторі (з урахуванням опору пружини), відкривається нагнітальний

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 42   |

клапан. Стиснута пара робочого тіла виштовхується через нагнітальний патрубок у конденсатор суднової установки, після чого робочий цикл компресора повторюється.

#### Конструктивні типи поршневих компресорів

Залежно від способу з'єднання компресорної частини з приводним електродвигуном та ступеня герметизації корпусу, поршневі компресори поділяють на три основні групи:

Герметичні компресори: компресорна група та приводний електродвигун розташовані на загальному валу всередині єдиного нерозбірного (звареного) сталевого кожуха. Такі агрегати повністю виключають витік холодоагенту через сальникові ущільнення, проте мають обмежену потужність електродвигуна (зазвичай до 30–40 кВт) і застосовуються в холодильних установках малої та середньої холодопродуктивності (суднові провізійні камери, автономні кондиціонери).

Напівгерметичні (безсальникові) компресори: електродвигун та компресор інтегровані в один розбірний чавунний корпус. Стики ущільнюються за допомогою фланцевих з'єднань із прокладками. Така конструкція забезпечує високий рівень герметичності системи, але, на відміну від герметичних компресорів, є повністю ремонтпридатною в умовах судна (дозволяє проводити ревізію клапанних дощок, поршневої групи та заміну обмоток статора).

Відкритого типу (сальникові): компресор та електродвигун є окремими агрегатами, з'єднаними за допомогою муфти або пасової передачі. Для запобігання витоку холодоагенту в місці виходу колінчастого вала з картера встановлюється спеціальне торцеве (сальникове) ущільнення. Сальникові компресори відрізняються високою надійністю та тривалим терміном служби, що є критично важливим для великих суднових установок.

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 43   |

Враховуючи значне теплове навантаження на СХУ транспортного рефрижератора дедвейтом 7340 тонн та необхідність забезпечення високої холодопродуктивності, для реалізації проекту доцільно орієнтуватися на використання сучасних напівгерметичних поршневих компресорів великої потужності або компресорів відкритого типу, які забезпечують максимальну гнучкість обслуговування та високий холодильний коефіцієнт при роботі на холодоагенті R404A.

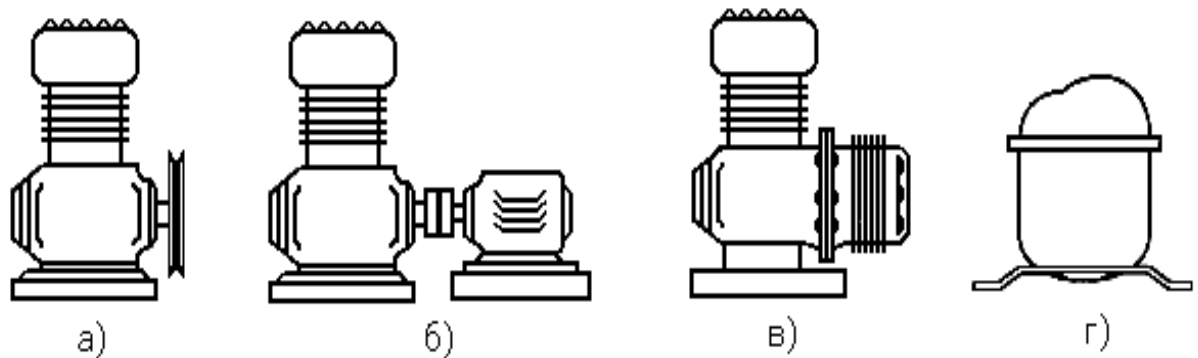


Рис. 3.5. Умовні схеми компресорів за ступенем герметизації  
а, б—відкриті, в—напівгерметичні, г—герметичні

Компресори поділяють за тиском, що створюється (тиском нагнітання) на компресори:

- низького тиску — від 0,3 до 1 МПа;
- середнього тиску — до 10 МПа;
- високого тиску — вище за 10 МПа.
- 

#### **Переваги поршневих компресорів:**

1. Вищі об'ємні і енергетичні показники.
2. Менші масогабаритні показники.
3. Висока технологічність конструкції.
4. Гарна взаємозамінність вузлів і деталей компресора.
5. Спрощення конструкції зі зменшенням холодопроизводительности компресора.

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 44   |

6. Можливість роботи на різних холодильних агентах.

7. Більш високе відношення тиску в одному щаблі стиснення.

Адіабатична потужність компресора, кВт

$$N_{ад} = G_0 * l = 1,43 * 53,7 = 95,92$$

Об'єм, що описує поршень компресора, м<sup>3</sup>/с

$$V_h = V_0 / \lambda = 0,08 / 0,67 = 0,114$$

$\lambda$  – коефіцієнт подачі визначається згідно до  $P_k/P_0$

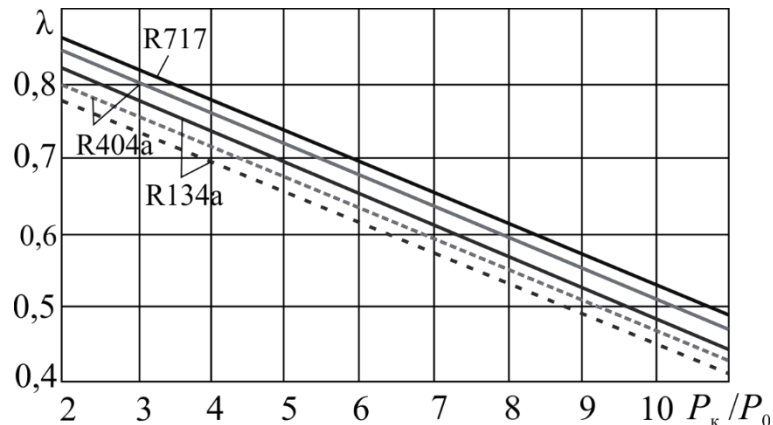


Рис. 3.6. Графік коефіцієнта подачі поршневих компресорів

Стандартна холодопродуктивність, кВт

$$Q_{0ст} = Q_0 * q_{вст} * \lambda_{ст} / (q_v * \lambda) = 140 * 0,72 * 1339 / (1256 * 0,67) = 153$$

Визначимо індикаторну потужність компресора, кВт

$$N_i = N_{ад} / \eta_i = 95 / 0,8 = 119$$

Ефективна потужність компресора, кВт

$$N_e = N_{ад} / \eta_e = N_i / \eta_m = 95 / 0,91 = 106$$

Згідно з  $V_h$  підбираємо компресор три безсальникових компресора ПБ60 з об'ємом, що описує поршень  $V_h = 0,045$  м<sup>3</sup>/с розмірами 1090x700x685 мм та вагою 420 кг.

Як еквівалентна альтернатива може бути використані три компресори Bitzer 6FE-44Y-40P виробництва Євросоюзу. Розрахунок проводився згідно програмного забезпечення фірми виробника Bitzer Software online 2024.

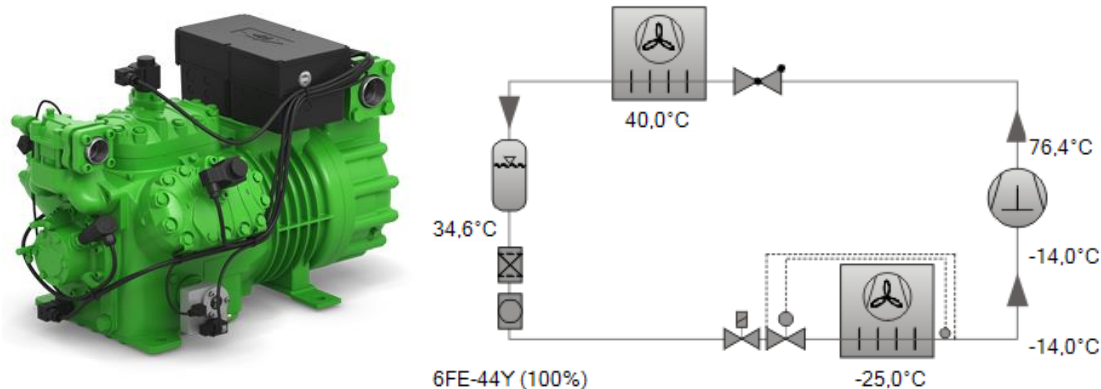


Рис 3.7 Компресор Bitzer 6FE-44Y-40P та схема холодильної машини на його базі по даним Bitzer Software online 2024

Холодопродуктивність – 46,3 kW

Потужність Двигуна – 25,5 kW

Струм (400V) – 49,1 A

Напруга живлення – 380-420V

COP – 1,81

Масова витрата – 1422 kg/h

Температура нагнітання без охолодження – 76,4 °C

### 3.3. Підбір повітроохолоджувача, теплообмінних апаратів та іншого устаткування холодильної установки

Повітроохолоджувач суднової холодильної установки являє собою спеціалізований теплообмінний апарат (випарник), у якому відведення теплоти від об'єкта здійснюється шляхом вимушеного (примусового) руху повітряного потоку через розвинену ребрену поверхню. Циркуляція повітря забезпечується осьовим або відцентровим вентилятором, що утворює єдиний агрегат із теплообмінним блоком і приводиться до руху індивідуальним електровентилятором.

Завдяки високій інтенсифікації теплообміну, судна, оснащені повітряними системами, мають значно меншу металомісткість і габаритні розміри обладнання порівняно з системами, де застосовуються випарники з

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          | 46   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          |      |

природною конвекцією. Повітроохолоджувачі цього типу широко застосовуються у промисловому та комерційному холодильному обладнанні, стаціонарних камерах зберігання продовольства, швидкоморозильних апаратах, а також у трюмах транспортних рефрижераторів і контейнерів.

Завдяки виділенню прихованої теплоти фазового переходу (конденсації та подальшого замерзання вологи), сумарний коефіцієнт зовнішньої тепловіддачі в процесі інтенсивного вологовипадання може зростати у 2–3 рази. Це забезпечує збільшення густини теплового потоку через поверхню апарату до 140 Вт/м<sup>2</sup>, що дозволяє значно інтенсифікувати процес охолодження вантажних приміщень судна.

У повітроохолодниках, які працюють за вдємних температур, має відбуватися періодичне відтавання снігової шуби. Це здійснюють шляхом вимкнення повітроохолодника при працюючому вентиляторі шляхом подавання до повітроохолодника гарячої пари холодильного агента з компресора, або шляхом встановлення спеціальних електрогрілок, які вмонтовані у повітроохолодник і періодично вмикаються за допомогою термореле.

$$F_{\text{ПО}} = \frac{Q_0 \eta_{\text{ПО}}}{k_{\text{ПО}} \theta_{\text{ПО}}},$$

де  $Q_0$  – холодопродуктивність повітроохолоджувача, Вт;  $k_{\text{ПО}}$  – коефіцієнт теплопередачі ПО, Вт/(м<sup>2</sup>·К), для хладонових ПО з трубками, які мають ребра при коефіцієнті оребрення  $\beta = 10 \dots 15$  –  $k_{\text{ПО}} = 17,5 \dots 23,3$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\theta_{\text{ПО}}$  – середня різниця температур між циркулюючим повітрям та холодоагентом, що кипить;  $\eta_{\text{ПО}}$  – коефіцієнт запасу поверхні, який приймають рівним 1,05...1,10.

Середня різниця температур (температурний напір) для ПО безпосереднього охолодження, °С, де  $t_{\text{п1}}$ ,  $t_{\text{п2}}$  – відповідно, температура повітря на вході та на виході з ПО, °С;  $t_0$  – температура кипіння холодоагенту, °С.

$$t_{\text{п1}} = t_{\text{ПР}} + 2 = -18 + 2 = -16^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{п2}} = t_{\text{ПР}} - 2 = -18 - 2 = -20^\circ\text{C};$$

$$t_0 = -25^\circ\text{C};$$

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 47   |

отже:

$$\theta_{\text{ПО}} = \frac{t_{\text{п1}} - t_{\text{п2}}}{\ln \frac{t_{\text{п1}} - t_0}{t_{\text{п2}} - t_0}} = \frac{-15 - (-20)}{\ln \frac{-15 - (-25)}{-20 - (-25)}} = 7,22^\circ\text{C} ,$$

звідки:

$$F_{\text{ПО}} = \frac{140000 \cdot 1,05}{23 \cdot 7,22} = 460 \text{ м}^2$$

Кількість ПО приймаємо  $n=4$ ;

$$F_{\text{ПО}} = F_{\text{ПОсум}} / n = 460 / 4 \approx 150 \text{ м}^2;$$

Обираємо ПО марки BOMB-160Б з поверхнею теплообміну  $150 \text{ м}^2$ , кількість електровентиляторів  $n_{\text{ев}}=4$ ;

Сумарна подача електровентиляторів:

Витрата повітря через ПО,  $\text{м}^3/\text{с}$ ,

$$V_{\text{ПО}} = \frac{10^{-3} Q_0}{\rho_{\text{п}} \cdot (I_{\text{п1}} - I_{\text{п2}})} ,$$

де  $I_{\text{п1}}$  і  $I_{\text{п2}}$  – ентальпія повітря на вході і виході з ПО,  $\text{кДж/кг}$ ;  $\rho_{\text{п}}$  – густина повітря,  $\text{кг/м}^3$ , при середній температурі, яка дорівнює  $0,5(t_{\text{п1}} + t_{\text{п2}})$ .

$$V_{\text{ПО}} = \frac{140}{1,39 \cdot (-16,2 + 20,9)} = 22,38 \text{ м}^3 / \text{с};$$

Продуктивність 1 електровентилятора:

$$V_{\text{ев}}^1 = V_{\text{ПО}} / (n_{\text{по}} \cdot n_{\text{ев}}) = 22,38 / (4 \cdot 4) = 1,3 \text{ м}^3/\text{с} = 5300 \text{ м}^3/\text{год};$$

Підбираємо осьовий електровентилятор YWF 5E 450-S / B об'ємною подачею повітря  $5\,620 \text{ м}^3/\text{год}$ , потужність електродвигуна  $0,350 \text{ кВт}$ .

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          | 48   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          |      |





Рис.3.10. осьовий електровентилятор для повітроохолоджувача фірми  
Weiguang

Сумарна потужність електродвигунів :

$$Q_{\text{мех.}} = n_{\text{по}} \cdot n_{\text{ев}} \cdot N_{\text{ед.}} = 4 \cdot 4 \cdot 0,350 = 5,6 \text{ кВт};$$

### Трубопровід

Розрахунок діаметру всмоктувального трубопроводу:

$$d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{G V_1}{W}}$$

де  $d_1$  – діаметр і-го трубопроводу;

$G_i$  – розрахунок робочої речовини у ХМ;

$V_1$  – питомий об'єм холодоагенту;

$W_i$  – на всмоктуванні у компресор 8...12, на нагнітанні 10...18, рідинний  
0,5...1,3

$$d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{G_1 V_1}{10}} = 1,13 \sqrt{\frac{0,013 \cdot 0,08}{10}} = 1,13 \sqrt{0,000135} = 36 \text{ мм}$$

Обираємо трубу з діаметром 40 мм і товщиною стінки 1,5 мм.

Трубопровід нагнітання:

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{0,013 \cdot 0,08}{14}} = 1,13 \sqrt{0,000964} = 32 \text{ мм}$$

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 49   |

Обираємо трубу з діаметром 32мм і товщиною стінки 1,5 мм.

Рідинний трубопровід:

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{0,013 \cdot 0,09}{0,7}} = 1,13 \sqrt{0,000193} = 20 \text{ мм}$$

Обираємо стальну безшовну трубу 20х1.

Розводка трубопроводу верхня. При верхній розводці трубопроводи кріпляться до переборок. Така розводка зустрічається частіше, тому при ній труби більш доступні для огляду і періодичного ремонту. На трубопроводах встановлені запірні прохідні клапани, запобіжні клапани і клапани регулюючі.

### **Підбір лінійного ресивера:**

Головним функціональним призначенням лінійного ресивера у складі суднової холодильної установки є безперервне акумулювання рідкого робочого тіла, яке утворюється в результаті конденсації пари холодоагенту в конденсаторі. Крім того, цей апарат забезпечує створення стабільних умов для безперебійного й рівномірного подавання рідкого холодильного агента до регулювальних вентилів та випарної системи (повітроохолоджувачів вантажних трюмів) незалежно від поточних коливань теплового навантаження.

Інженерно-технічний вибір та розрахунок лінійного ресивера здійснюється за його геометричною ємністю (об'ємом). Розрахунковий об'єм апарату повинен бути достатнім для розміщення регламентованої нормами частки загального заправного об'єму холодоагенту R404A в системі з урахуванням суднового нахилу та вимог безпечної експлуатації СХУ.  $V_{\text{л.р.}} = 1,2 \cdot (0,3 \dots 0,6) \cdot V_{\text{исп. сист.}} / 0,5$ , де

0,3 ... 0,6 – коефіцієнт заповнення рідким холодоагентом для системи з верхньою і нижньою подачею (для BOLSP подача нижня), тому коефіцієнт 0,6.

0,5 – коефіцієнт, що враховує норму заповнення ресивера при експлуатації.

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <b>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03</b> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 | 50   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 |      |

1,2 – коефіцієнт запасу,

$V_{\text{исп. сист}}$  – ємність випарної системи.

$$V_{\text{исп. сист}} = \Sigma V_{\text{во}} + \Sigma V_{\text{трубопр}} = 1,1 \cdot \Sigma V_{\text{во}}.$$

У довідкових даних по BOLSP ємність не приведена, тому визначимо її з наближеного співвідношення:

$$V_{\text{во}}/F_{\text{во}} = 0,36 \text{ м}^3/\text{м}^2$$

$$V_{\text{во}} = 0,36 \cdot 10^{-3} \cdot F_{\text{во}} = 0,2 \text{ м}^3$$

$$\Sigma V_{\text{во}} = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{исп. сист}} = 1,1 \cdot 0,4 = 0,44 \text{ м}^3$$

Ємність ресивера:  $V_{\text{л.р.}} = 1,2 \cdot 0,6 \cdot 0,44 / 0,5 = 0,63 \text{ м}^3$

Вибираємо ресивер фірми GVN VLR-7A-F/F-25x1c  $V=0,026 \text{ м}^3$ .

### Принцип роботи та інженерний підбір терморегулюючого вентиля

Терморегулюючий вентиль (ТРВ) є прецизійним автоматичним пристроєм, призначеним для дозованого подавання рідкого холодильного агенту у випарну систему залежно від інтенсивності його кипіння та поточного теплового навантаження. Головною функцією ТРВ є підтримання постійної величини перегріву пари на виході з випарника (повітроохолоджувача), що дозволяє максимально ефективно використовувати корисну теплообмінну поверхню апарату та повністю виключає ризик вологого ходу компресора (потрапляння рідкого холодоагенту у всмоктувальний магістральний трубопровід).

При інженерному підборі оптимальної моделі ТРВ для суднової установки враховують розрахункову температуру випаровування (кипіння)  $t_0$ , а також чистий перепад тиску на клапані вентиля. Цей перепад визначається як різниця

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 51   |

між тисками конденсації та випаровування за вирахуванням сумарних гідродинамічних втрат у рідинному контурі:

- втрат тиску в самому розподільнику рідини та на розподільних патрубках повітроохолоджувача;
- лінійних втрат тиску по довжині рідинного трубопроводу;
- місцевих втрат тиску на елементах лінійної автоматики та арматури (фільтрах-осушувачах, соленоїдних електромагнітних клапанах, запірних вентилях, оглядових вікнах тощо).

Враховуючи викладені фактори, температурний режим роботи СХУ та використання холодоагенту R404A, для проекту вибрано терморегулюючий вентиль виробництва компанії **Danfoss серії TGE-10** із зовнішнім вирівнюванням тиску. Дана марка ТРВ стабільно працює у діапазоні температур кипіння  $t_0 = -30...+20$  °С, має високу експлуатаційну надійність і підходить для суднових систем із динамічними тепловими навантаженнями.

### 3.4 Розміщення холодильного обладнання у приміщеннях судна

Рефрижераторне машинне відділення (РМВ) транспортного рефрижератора проектується як окреме суднове приміщення, планування якого виконується з суворим дотриманням правил Регістру судноплавства та норм техніки безпеки:

- **Монтажні зазори:** компресорні агрегати, насоси та теплообмінні апарати встановлюються на фундаментах на відстані не менше 100 мм від перегородок та суміжного обладнання для забезпечення доступу під час обслуговування.
- **Проходи та евакуація:** ширина робочих проходів по всій довжині приміщення — від постів керування та зон обслуговування до евакуаційних виходів — передбачена не менше 600 мм. Аналогічну чисту ширину мають суднової трапи та входні двері РМВ.

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 52   |

- **Орієнтація обладнання:** для мінімізації негативного впливу поздовжньої та бортової хвищі (качки) судна на роботу рухомих частин і циркуляцію рідин, поршневі компресори та їхні електродвигуни монтуються так, щоб осі їхніх колінчастих валів розташовувалися строго паралельно діаметральній площині (ДП) судна. Лінійні апарати СХУ (конденсатори, лінійні та дренажні ресивери) також орієнтують своїми поздовжніми осями паралельно ДП.

- **Ергономіка трубопроводів та ремонтпридатність:** взаємне розташування компресорів та апаратів виключає утворення петель (мішків) на сполучних трубопроводах, що запобігає заляганню мастила. Компонування обладнання забезпечує достатній простір для проведення ремонтних робіт: виїмки колінчастих валів і поршнів компресорів, а також для механічного чищення або заміни внутрішніх трубок кожухотрубних теплообмінників.

Повітроохолоджувальні агрегати розміщуються безпосередньо у вантажних просторах у спеціально обладнаних ізольованих вигородах. Доступ до вигорода здійснюється через герметичні технологічні лази, габарити яких розраховані на можливість демонтажу та винесення робочого колеса електровентилятора.

Циркуляція повітря організована за вертикальною канальною схемою: охолоджене повітря з повітроохолоджувача подається вентиляторами під решітчастий настил (пайол) трюму. Піднімаючись догори, повітряний потік рівномірно омиває штабель вантажу, проходить через решітчастий настил твіндека, забезпечуючи охолодження розміщеної в ньому продукції, і засмоктується з-під підволока твіндека через приймальні вікна назад у вигорода повітроохолоджувача.

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <i>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03</i> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 | 53   |

### 3.5. Висновки за розділом 3.

Здійснено графічну побудову робочого циклу в діаграмі стану «тиск – ентальпія», за результатами якої визначено термодинамічні параметри холодоагенту у всіх характерних точках холодильного контуру.

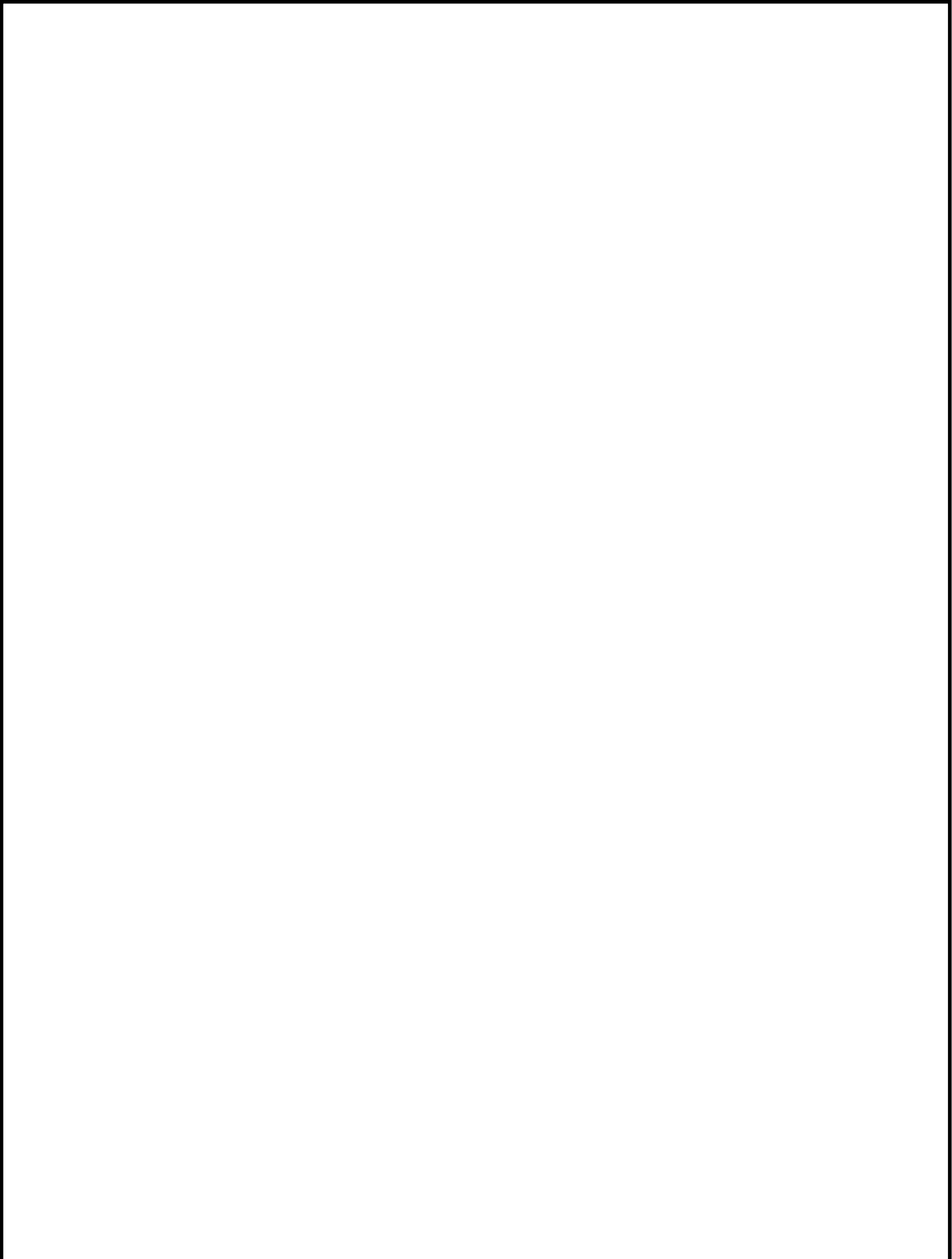
На підставі виконаного теплотехнічного розрахунку циклу здійснено інженерний підбір основного та допоміжного обладнання СХУ: Вибрано поршневий компресор напівгерметичного типу, робочі характеристики якого повністю забезпечують необхідну об'ємну продуктивність та компенсацію максимального літнього теплового навантаження;

Розраховано та підібрано компактний випарник-повітроохолоджувач із примусовим обдувом оребреної поверхні, що дозволяє мінімізувати масогабаритні показники охолоджувальних систем у трюмі;

Обрано автоматичний терморегулюючий клапан компанії Danfoss серії TGE-10 із зовнішнім вирівнюванням тиску. Виконано гідродинамічний розрахунок хладонових комунікацій СХУ, за результатами якого визначено оптимальні внутрішні діаметри всмоктувальних, нагнітальних та рідинних трубопроводів,.

Проведено комплексний підбір суднового допоміжного обладнання включаючи лінійний ресивер, фільтри-осушувачі, соленоїдні клапани та оглядові вікна

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <b>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.03</b> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 | 54   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 |      |



|           |      |                      |        |      |                                 |  |  |
|-----------|------|----------------------|--------|------|---------------------------------|--|--|
|           |      |                      |        |      | <i>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.04</i> |  |  |
|           |      |                      |        |      |                                 |  |  |
| Змн.      | Арк. | № докум.             | Підпис | Дата | <i>Розділ 4</i>                 |  |  |
| Студент   |      | <i>Новак А.М.</i>    |        |      |                                 |  |  |
| Керівник  |      | <i>Грич А.В.</i>     |        |      |                                 |  |  |
|           |      |                      |        |      |                                 |  |  |
| Консульт. |      |                      |        |      |                                 |  |  |
| Зав.каф.  |      | <i>Кобалава Г.О.</i> |        |      | <i>ХННІ НУК</i>                 |  |  |
|           |      |                      |        |      | 55                              |  |  |

## РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІННИКА

### 4.1. Основні характеристики конденсаторів СХУ.

У сучасних суднових холодильних установках як теплообмінні апарати високого тиску найширшого застосування набули кожухотрубні горизонтальні конденсатори. Конструктивно такий апарат складається з циліндричного сталевго корпусу (кожуха), до торцевих частин якого за допомогою зварювання жорстко закріплені трубні дошки. У внутрішньому об'ємі корпусу розміщено пучок теплообмінних труб діаметром від 1 до 2 дюймів (25...50 мм), кінці яких надійно розвальцьовані або вварені в отвори трубних дошок.

Торцеві трубні дошки закриваються знімними чавунними або сталевими кришками. Внутрішня порожнина цих кришок розділена спеціальними перегородками, які забезпечують багаторазову зміну напрямку руху охолоджувальної води через трубний простір апарату. Залежно від розрахункової швидкості води та необхідної інтенсивності теплообміну, кількість ходів води у суднових конденсаторах зазвичай приймають у межах від 2 до 12.

Для підключення до загальносуднової системи захисної або забортної води на одній із торцевих кришок передбачено фланцеві патрубки для підведення та відведення охолоджувального середовища. Також на кришках монтується арматура для видалення повітряних пробок (повітряні вентилі) та запірно-спускні вентилі для повного осушення водяної порожнини апарату під час проведення ремонтних робіт або зимового відстою судна.

Вода, що охолоджує, надходить у конденсатор крізь нижній отвір у кришці, омиває внутрішню поверхню теплообмінних труб та виходить крізь верхній отвір. Вибором відповідної кількості ходів можна регулювати швидкість течії води у трубах у діапазоні 1,5...2,5 м/с. При середньому

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.04 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 56   |



перепаді температур  $\Delta t_k = 5 \dots 6^\circ\text{C}$ , густина теплового потоку становить  $3 \dots 6 \text{ кВт/м}^2$ .

Загальний вигляд горизонтального кожухотрубного конденсатора для аміачних холодильних машин наведено на рис. 4.1.

Горизонтальні кожухотрубні конденсатори для фреонових холодильних машин виконуються аналогічно до розглянутих вище. Відміною є застосування для фреонів мідних труб як більш стійких до корозії та таких, що мають менший гідравлічний опір. Окрім того, внаслідок малої теплоти пароутворення та великої в'язкості д коефіцієнт тепловіддачі з боку фреону значно менший, ніж з боку води. Через це для збільшення компактності фреонового конденсатора зовнішню поверхню мідних труб оребрюють методом накатування або насадження ребер. Накатування надає зовнішній поверхні труби форму нарізки, збільшуючи тим самим поверхню у  $2 \dots 3$  рази та більше. Внаслідок низької висоти ребер (висота ребра  $= 2,5 \text{ мм}$  при шагу  $2 \text{ мм}$ ) коефіцієнт оребрення  $\beta$  коливається від  $2,8$  до  $3,5$ , а ефективність накатного оребрення  $E_p$  близька до одиниці. Внаслідок цього густина теплового потоку, щодо внутрішньої поверхні труби, становить  $6 \dots 8 \text{ кВт/м}^2$  при такому самому значенні  $\Delta t_k = 5 \dots 6^\circ\text{C}$ .

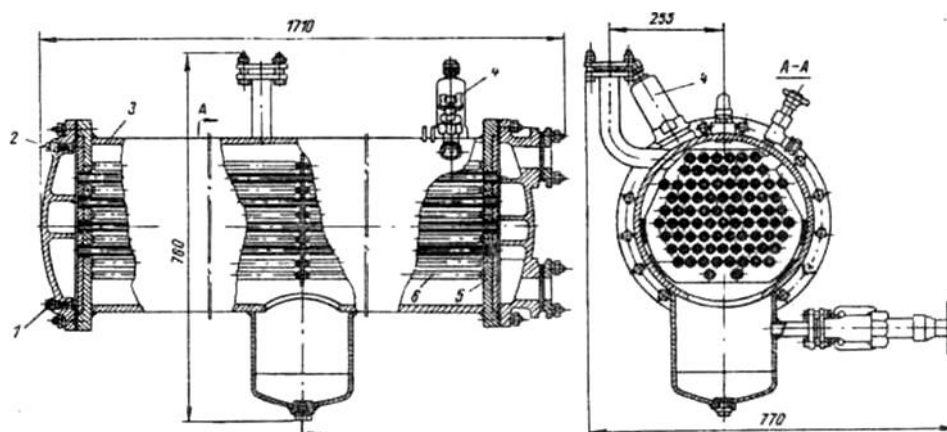


Рис. 4.1. Загальний вигляд горизонтального кожухотрубного фреонового конденсатора: 1 – пробка для спуску води; 2 – пробка для випуску

повітря; 3 – зварний кожух; 4 – запобіжний клапан; 5- трубні дошки; 6 – трубки із накатними ребрами.

У конденсаторів морського виконання з метою боротьби із корозією передбачається наплавлення тонкого шару міді на трубну решітку, а також на зварні сталеві кришки з боку перегородок, які схильні до ерозії внаслідок морської води.

#### 4.2. Розрахунок та підбір повітроохолоджувача.

Обираємо конденсатор з водяним охолодженням. Рух води в середині труб забезпечується насосом.

Визначаємо теплове навантаження на конденсатор за формулою:

$$Q_K = Q_0 + N_e \cdot k, \text{ кВт}$$

де  $Q_0$  – холодопродуктивність компресору, кВт;

$N_e$  – електрична потужність компресору на розрахунковому режимі, кВт;

$k$  – коеф., якій враховує втрати тепла до навколишнього середовища.

Для герметичних суднових компресорів  $k = 0,85$ .

$$Q_K = 140 + 77 \cdot 0,85 = 205 \text{ кВт}$$

Для попереднього компонування конденсатору необхідно орієнтовно оцінити площу поверхні теплообміну по внутрішній поверхні трубок:

$$F_K = \frac{Q_K \cdot 10^3}{k_{BH} \cdot \theta} \cdot \eta_K, \text{ м}^2$$

$Q_K = 205$  кВт – теплове навантаження на конденсатор;

$k_{BH}$  – коефіцієнт теплопередачі  $k_{BH} = 1100 \dots 1800 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ ;

$\eta_K$  – коефіцієнт запасу поверхні  $\eta_K = 1,05 \dots 1,1$ ;

$\theta$  – повний температурний напір в конденсаторі, °С

$$\theta = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{2,3 \lg \frac{t_K - t_{w1}}{t_K - t_{w2}}},$$

де  $t_{w1} = t_{3.B.} = 30^\circ\text{С}$  - температура води на вході до конденсатору;

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.04 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 58   |

$t_{w2} = t_{w1} + (2...4)^{\circ}\text{C} = 30 + 3 = 33^{\circ}\text{C}$  – температура води на виході з конденсатору;

$t_k = 40^{\circ}\text{C}$  – температура конденсації.

$$\theta = \frac{33 - 30}{2,3 \lg\left(\frac{40 - 30}{40 - 33}\right)} = 8,4 \text{ K}$$

$$F_k = \frac{205 \cdot 10^3}{1300 \cdot 8,41} \cdot 1,05 = 19,72 \text{ м}^2$$

Як прототип приймаємо фреоновий кожухотрубний конденсатор КТР-25  $F_{кн.} = 30 \text{ м}^2$ .

Для суднових фреонових конденсаторів рекомендується мідна трубка з накатним оребренням, яка має наступні характеристики:

|                                     |                                  |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| –зовнішній діаметр ребер            | $D_p = 16,6 \text{ мм};$         |
| –діаметр трубки в просвітах         | $d_3 = 14,2 \text{ мм};$         |
| –внутрішній діаметр трубки          | $d_{вн} = 12,6 \text{ мм};$      |
| – крок ребер                        | $S_p = 1,18 \text{ мм};$         |
| – товщина ребер у торця             | $\delta_T = 0,65 \text{ мм};$    |
| –товщина ребер у основи             | $\delta_{осн} = 0,8 \text{ мм};$ |
| –ступень оребрення                  | $\beta = 3,3.$                   |
| –крок трубок в пучці по горизонталі | $S_l = 22 \text{ мм}$            |

Витрата води через конденсатор:

$$G_w = Q_k / c_w(t_{w2} - t_{w1}) = 205 / (4,19 \cdot (33 - 30)) = 16,46 \text{ кг/с};$$

де  $c_w = 4,19 \text{ кДж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$  – теплоємність морської води.

Число трубок в одному ході:

Орієнтовно визначаємо загальну довжину трубок.

$$L_p = \frac{F_k \cdot 10^3}{\pi \cdot d_{вн}} = \frac{20 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 12,6} = 554 \text{ м}$$

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.04 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 59   |

За значенням  $F_k$  орієнтовно обираємо довжину одної трубки  $l_{тр} = 2$  м.  
Приймаємо  $L_{mp} = 555$  м, тому загальна кількість трубок в конденсаторі:

$$n_{mp} = \frac{L_{mp}}{l_{mp}} = \frac{554}{2} = 277 \text{ шт.}$$

Кількість ходів води  $-z = 2$ .

Кількість трубок в одному ході:

$$n_x = \frac{n_{mp}}{z} = \frac{274}{2} = 137 \text{ шт.}$$

Дійсний тепловий потік в конденсаторі визначається за умов рівності теплових потоків від холодоагенту до стінки та від стінки до води, тобто при перетинанні кривих  $q_a = f(t_{ст})$  та  $q_w = \psi(t_{ст})$ .

Чисельні значення цих функцій розраховуються з шагом  $0,1$  °C в діапазоні  $t_k = t_{wcp}$ , приймаючи в першому наближенні  $t_{cp} = 0,5 \cdot (t_k + t_{wcp})$ ;

$$t_{wcp} = 0,5 \cdot (t_{w1} + t_{w2}) = 0,5 \cdot (30 + 33) = 31,5^\circ\text{C};$$

$$t_{cp} = 0,5 \cdot (40 + 31,5) = 35,75^\circ\text{C}.$$

Для випадку конденсації на пучці оребрених горизонтальних труб питомий тепловий потік з боку холодоагенту розраховують за формулою [1]:

$$q_a = 0,43b \cdot \Delta i_k^{0,25} \cdot d_3^{-0,25} \cdot \beta \cdot \psi_a \cdot n_p^{-0,167} \cdot (t_k - t_{cm})^{0,75}$$

Значення коефіцієнту  $b = \sqrt[4]{\frac{v^2 \cdot \lambda^3}{\mu}} \approx 1200$ , визначають за середньою

температурою

плівки конденсату  $t_{п} = 0,5 \cdot (t_k + t_{ст}) = 37,85$  °C.

Коефіцієнт  $\psi_a = 1,3(F_B/F_3) \cdot (d_H/n_p)^{0,25} + (F_\Gamma/F_H)$ ,

Де  $F_\Gamma = \pi \cdot d_3(1 - \delta_{оч}/S_p) + \pi \cdot D_p \cdot \delta_\Gamma \cdot \delta_{оч}/S_p = 3,14 \cdot 14,2(1 - 0,8/1,18) + 3,14 \cdot 16,6 \cdot 0,65 \cdot 0,8/1,18 = 40,3 \text{ мм}^2$

$$F_B = \pi \cdot (D_p^2 - d_{вн}^2) / (2 S_p) = 98,4 \text{ мм}^2$$

$$F_H = F_B + F_\Gamma = 98,4 + 37,35 = 135,75 \text{ мм}^2$$

$$h'_p = \pi/4 \cdot ((D_p^2 - d_3^2)/D_p) = 3,14/4 \cdot ((16,6^2 - 14,2^2)/16,6) = 3,5$$

$$\psi_a = 1,3 \cdot (98,4/135,75) \cdot (14,2/3,5)^{0,25} + (37,35/135,75) = 1,6$$

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.04 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 60   |

$$\Delta i_{\kappa}^{0,25} = 205^{0,25} = 3,765$$

$$d_3^{-0,25} = (14,2 \cdot 10^{-3})^{-0,25} = 2,897$$

Тепловий потік до води:

$$q_w = (1430 + 22,1 t_{w \text{ cp}}) \cdot (W_w^{0,8} / d_{\text{BH}}^{0,2}) \cdot (t_{\text{CT}} - t_{w \text{ cp}}),$$

де  $W_w = 1,4$  м/с – швидкість води.

Розрахунок значень  $q_a$  та  $q_w$  зведений до табл. 4.1.

На рис.4.3 показані графіки залежностей  $q_a = f(t_{\text{CT}})$  та  $q_w = f(t_{\text{CT}})$ . Точка перетину цих графіків вказує на значення дійсного теплового потоку в конденсаторі  $q = 11000$  Вт/м<sup>2</sup>.

**Табл. 4.1.** Значення  $q_a$  та  $q_w$  в залежності від  $t_{\text{CT}}$ .

| $t_{\text{CT}}, ^\circ\text{C}$ | $q_a, \text{Вт/м}^2$ | $q_w, \text{Вт/м}^2$ |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|
| 35                              | 20051,54             | 6203,90              |
| 35,2                            | 19446,94             | 6558,41              |
| 35,4                            | 18836,00             | 6912,92              |
| 35,6                            | 18218,38             | 7267,43              |
| 35,8                            | 17593,70             | 7621,94              |
| 36                              | 16961,54             | 7976,45              |
| 36,2                            | 16321,42             | 8330,96              |
| 36,4                            | 15672,82             | 8685,47              |
| 36,6                            | 15015,14             | 9039,97              |
| 36,8                            | 14347,72             | 9394,48              |
| 37                              | 13669,77             | 9748,99              |
| 37,2                            | 12980,42             | 10103,50             |
| 37,4                            | 12278,64             | 10458,01             |
| 37,6                            | 11563,22             | 10812,52             |
| 37,8                            | 10832,71             | 11167,03             |
| 38                              | 10085,39             | 11521,54             |
| 38,2                            | 9319,12              | 11876,04             |
| 38,4                            | 8531,20              | 12230,55             |
| 38,6                            | 7718,21              | 12585,06             |
| 38,8                            | 6875,53              | 12939,57             |
| 39                              | 5996,81              | 13294,08             |
| 39,2                            | 5072,68              | 13648,59             |
| 39,4                            | 4088,22              | 14003,10             |
| 39,6                            | 3016,24              | 14357,61             |
| 39,8                            | 1793,46              | 14712,11             |

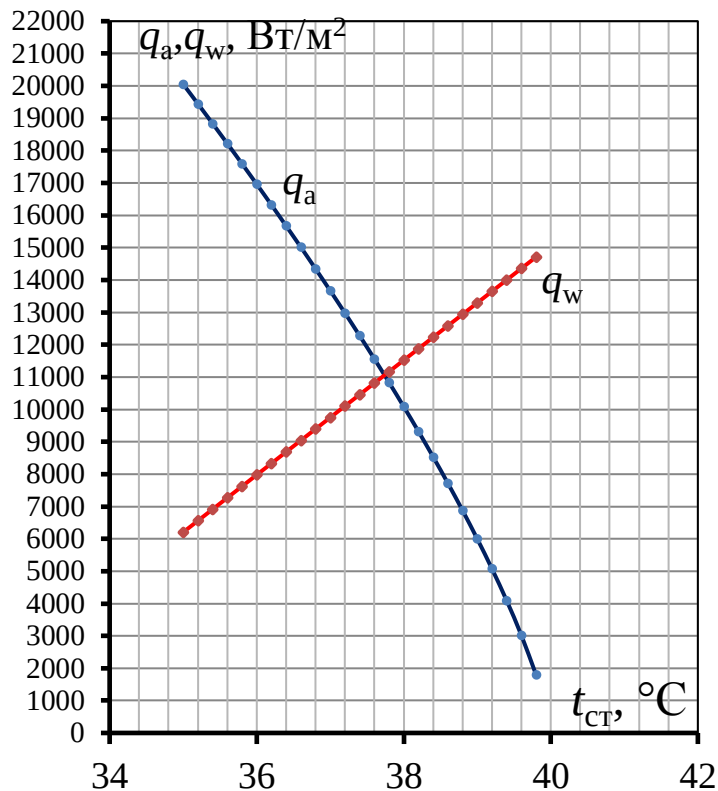


Рис. 4.3. До визначення дійсного теплового потоку в конденсаторі  
Потрібна, поверхня конденсатора.

$$F_{\kappa} = \frac{Q_{\kappa} \cdot 10^3}{q} \cdot \eta_{\kappa}', \text{ де}$$

$\eta_{\kappa}'$  – коефіцієнт запасу поверхні (на забруднення, заглушення частини трубок)  $\eta_{\kappa}' = 1,2$ .

$$F_{\kappa} = \frac{205 \cdot 10^3}{11000} \cdot 1,2 = 22,41 \text{ м}^2$$

Загальна довжина трубок:

$$L_p = \frac{20 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 12,6} = 566,49 \text{ м, приймаємо } L_p = 568 \text{ м}$$

Загальна кількість трубок в конденсаторі:

$$n = 568 / 2 = 284 \text{ шт.}$$

Витрата води через конденсатор:

$$G_w = \frac{Q_k}{c_w \cdot (t_{w2} - t_{w1})} = \frac{205}{4,19 \cdot (33 - 30)} = 16,34 \text{ кг/с}$$

Уточнюємо швидкість води у трубах:

$$W_w = \frac{4G_w}{n_x \cdot \gamma_w \cdot \pi \cdot d_{вн}^2} = \frac{4 \cdot 16,34}{142 \cdot 1020 \cdot 3,14 \cdot (12,6 \cdot 10^{-3})^2} = 1,01 \text{ м/с}$$

Отже виходячи з зовнішньої площі обираємо фреоновий кожухотрубний конденсатор КТР-25  $F_{кн.} = 30 \text{ м}^2$ . Як еквівалентна альтернатива даному конденсатору може бути кожухотрубний конденсатор фірми Bitzer K1973 виробництва Євросоюзу. Розрахунок проводився згідно програмного забезпечення фірми виробника Bitzer Software online 2024.

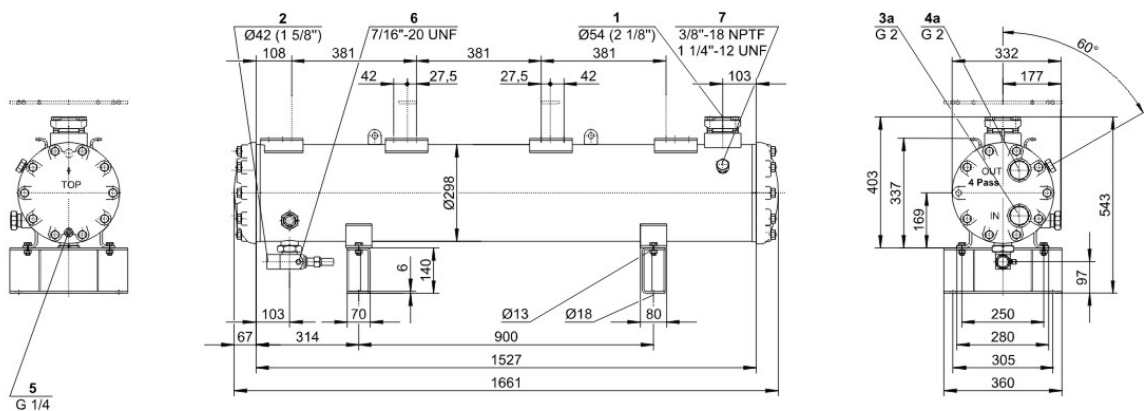


Рис. 4.5. Схема кожухотрубного конденсатору Bitzer K1973, де: 1 – вхід холодоагенту або масла; 2 – випуск холодоагенту або масла; 2а – альтернативний вихід холодоагенту (лише для версії з морською водою); 3 – вхід охолоджуючої рідини; 4–вихід охолоджуючої рідини; 5 – злив охолоджуючої рідини; 6–підключення манометра; 7 – з’єднання для клапана скидання тиску внутрішня різьба 3/8-18 NPTF, зовнішня різьба 1 1/4-12 UNF; 8 – оглядове скло; 9 – злив масла; 10 – вентиляційна пробка; 11– кріпильна рейка внизу; 12– кріпильна рейка, зверху.

### 4.3 Висновки по розділу 4

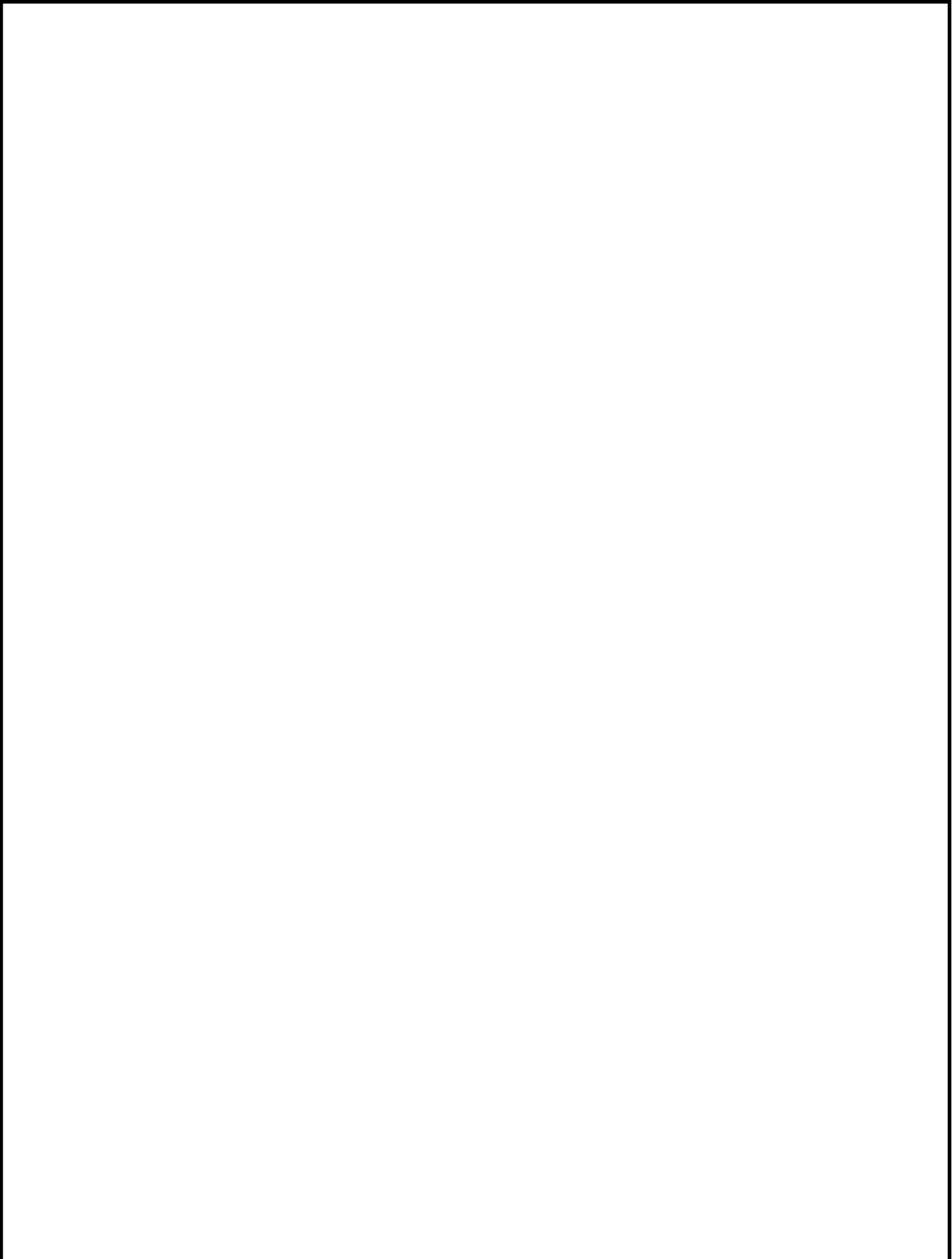
У розділі виконано комплексний конструктивний розрахунок суднового кожухотрубного горизонтального конденсатора водяного охолодження, оптимізованого для роботи у складі парокомпресорної холодильної установки на холодоагенті R404A.

На основі теплового балансу визначено повне теплове навантаження на конденсатор, яке становить  $Q_k = 205 \text{ кВт}$ , з урахуванням холодопродуктивності компресора (140 кВт) та теплового еквівалента його потужності. На основі побудови та аналізу графічних залежностей питомих теплових потоків з боку холодоагенту ( $q_a$ ) та охолоджувальної води ( $q_w$ ) визначено дійсний питомий тепловий потік у конденсаторі, який становить  $11000 \text{ Вт/м}^2$

Розраховано та обґрунтовано конструктивні параметри теплообмінної поверхні апарату. Задля збільшення компактності та інтенсифікації теплообміну в умовах низького коефіцієнта тепловіддачі фреону прийнято рішення про використання мідних трубок із зовнішнім накатним оребренням (коефіцієнт оребрення  $\beta = 3,3$ ). Повна розрахункова площа поверхні теплообміну склала  $F_{\text{кн}} = 30 \text{ м}^2$ , що відповідає габаритам суднового конденсатора типу КТР-25 або його європейського високоефективного аналога Bitzer K1973. Загальна кількість трубок в апараті становить 284 одиниці при довжині кожної трубки 2 метри. Визначено необхідну витрату охолоджувальної заборотної води через конденсатор при середньому температурному напорі.

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.04 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 64   |





|           |      |                      |        |      |                                 |  |  |  |
|-----------|------|----------------------|--------|------|---------------------------------|--|--|--|
|           |      |                      |        |      | <i>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.05</i> |  |  |  |
|           |      |                      |        |      |                                 |  |  |  |
| Змн.      | Арк. | № докум.             | Підпис | Дата | <i>Розділ 5</i>                 |  |  |  |
| Студент   |      | <i>Новак А.М.</i>    |        |      |                                 |  |  |  |
| Керівник  |      | <i>Грич А.В.</i>     |        |      |                                 |  |  |  |
|           |      |                      |        |      |                                 |  |  |  |
| Консульт. |      |                      |        |      |                                 |  |  |  |
| Зав.каф.  |      | <i>Кобалава Г.О.</i> |        |      | <i>ХННІ НУК</i> 65              |  |  |  |

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Аналіз небезпек в машинному відділенні на рефрижераторних судах.

Охорона праці на судах флоту рибної промисловості та торговельного мореплавства є системою взаємопов'язаних законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів. Усі вони спрямовані на збереження життя, здоров'я і працездатності членів екіпажу судна в процесі їхньої професійної діяльності.

Основною задачею охорони праці при експлуатації суднової холодильної установки (СХУ) є зведення до мінімуму ймовірності виробничого травматизму, аварійних ситуацій чи професійних захворювань членів екіпажу. Це досягається шляхом усунення або локалізації небезпечних і шкідливих чинників з одночасним забезпеченням належного мікрокліматичного комфорту та максимальної продуктивності праці.

Оскільки проектувана холодильна установка функціонує в специфічних умовах судна (імовірність хитавиці, вібрацій, обмеженість простору та замкнутість приміщень), обслуговуючому персоналу, який перебуває в рефрижераторному машинному відділенні (РМВ), вкрай необхідно досконало знати та суворо дотримуватися правил техніки безпеки при роботі з хладоновими (фреоновими) установками.

Безпечна експлуатація обладнання РМВ регламентується такими основними нормативними документами:

- Закон України «Про охорону праці»;
- Правила класифікації та побудови суден (Вимоги до холодильних установок);

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <i>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.05</i> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 | 66   |

- Правила техніки безпеки на суднах флоту рибної промисловості;
- Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (SOLAS-74).

У процесі виконання службових обов'язків, проведення технічного обслуговування, ремонтних робіт чи аварійних обходів у приміщеннях рефрижераторного машинного відділення (РМВ), обслуговуючий персонал (екіпаж судна) може піддаватися впливу різноманітних шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Ці чинники здатні спричинити негативний вплив на загальний стан здоров'я, працездатність та безпеку життєдіяльності моряків.

Відповідно до методологічних засад охорони праці та нормативної класифікації виробничих чинників, прийнято розрізняти такі поняття:

- Шкідливий виробничий фактор — це чинник середовища, тривалий або періодичний вплив якого на працівника в заданих умовах призводить до розвитку професійних захворювань, зниження імунітету або стійкого погіршення працездатності.

- Небезпечний виробничий фактор — це чинник, раптова або короткочасна дія якого на людину в конкретних умовах праці призводить до травмування, гострого отруєння, кріогенного чи термічного ураження або різкого критичного погіршення стану здоров'я.

Згідно з базовою класифікацією небезпечних та шкідливих виробничих факторів, усі потенційні загрози поділяють на чотири фундаментальні групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

Для умов експлуатації суднової компресорної установки та обладнання РМВ найбільш характерними є шкідливі й небезпечні фактори **фізичного та хімічного походження**:

- **Наявність рухомих машин, механізмів та незахищених елементів обладнання:** обертові вали компресорних агрегатів, приводні шківни,

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.05 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 67   |

з'єднувальні муфти, а також лопаті осьових електроventиляторів повітроохолоджувальних вигородок становлять високу загрозу механічного травмування.

• **Експлуатація судин та апаратів під високим тиском:** наявність елементів контуру високого тиску (кожухотрубних конденсаторів, лінійних ресиверів, нагнітальних магістралей), руйнування або розгерметизація яких під дією робочих тисків R404A може призвести до вибухового пошкодження конструкцій та травмування осколками.

• **Підвищена загазованість та зміна складу повітря робочої зони:** загроза раптового витoku фреону крізь сальникові чи фланцеві ущільнення, що за умов обмеженого суднового простору призводить до витіснення кисню і створює небезпеку задухи (асфіксії) для вахтового персоналу.

• **Підвищений рівень шуму на робочих місцях:** високочастотні та середньочастотні акустичні коливання, що генеруються працюючими поршневыми компресорами, насосами заборотної води та судновою вентиляцією, які перевищують санітарні норми.

• **Підвищена вібрація:** механічна вібрація від фундаментів компресорних блоків, яка передається на судновий настил (пайоли) та корпус судна, негативно впливаючи на опорно-руховий і нервовий апарати людини.

• **Динамічні коливання параметрів повітряного середовища:** коливання барометричного тиску у приміщенні при роботі потужних примусових систем вентиляції, а також висока рухомість (швидкість течії) повітряних мас у зонах встановлення повітроохолоджувачів.

• **Небезпека ураження електричним струмом:** наявність електромереж напругою 380 В (50 Гц) для живлення приводів компресорів і насосів. Умови високої вологості РМВ та висока електропровідність металевого корпусу судна створюють підвищений ризик замикання струму через тіло людини при пошкодженні ізоляції.

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.05 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 68   |

• **Незадовільні умови освітлення:** повна відсутність природного сонячного світла у підпалубних приміщеннях РМВ, а також загроза недостатньої або нерівномірної освітленості робочих зон та проходів у разі виходу з ладу елементів штучного освітлення.

• **Токсична та кріогенна дія холодильного агенту:** специфічна загроза хімічного отруєння продуктами термічного розпаду фреону R404A при його контакті з відкритим полум'ям (наприклад, під час зварювальних робіт), а також небезпека отримання миттєвих кріогенних опіків (обморожень) при потраплянні рідкої фази холодоагенту на шкірні покриви або слизові оболонки очей персоналу.

## **5.2. Витяг з правил техніки безпеки хладонових ХУ.**

Для забезпечення безаварійної роботи обладнання та виключення випадків виробничого травматизму, вахтовий персонал СХУ зобов'язаний суворо дотримуватися таких основних вимог безпеки

Під час виконання будь-яких експлуатаційних чи ремонтних робіт необхідно керуватися виключно затвердженими інструкціями з обслуговування суднової установки, а також технічною документацією заводів-виробників холодильного обладнання.

Слід враховувати, що холодильний агент R404A у звичайних умовах є нетоксичним. Проте, володіючи значно більшою густиною порівняно з повітрям, він накопичується у нижніх зонах суднових приміщень. При підвищенні об'ємної концентрації хладону в повітрі понад 30% виникає критичний дефіцит кисню, що може призвести до загибелі людини від асфіксії (задухи).

У приміщенні РМВ у спеціально відведених та легкодоступних місцях обов'язково повинні знаходитися первинні засоби пожежогасіння

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <b>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.05</b> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 | 69   |

(вуглекислотні вогнегасники), індивідуальні дихальні апарати стиснутого повітря, а також судова аптечка першої медичної допомоги.

Перед початком проведення робіт безпосередньо у вантажних трюмах або провізійних коморах необхідно перевірити справність запірних пристроїв та аварійних засувов дверей. Вони повинні безперешкодно відкриватися як із зовнішнього, так і з внутрішнього боку («Людина в камері»).

Проведення робіт із застосуванням відкритого вогню, газової пайки чи електрозварювання на елементах СХУ дозволяється лише після повної ізоляції вогненебезпечних ділянок, за умови суворого виконання суднових протипожежних заходів та безперервної роботи аварійної витяжної вентиляції РМВ.

У разі виникнення загоряння в приміщенні РМВ або безпосередньо на холодильній установці необхідно негайно виконати аварійну зупинку компресорних агрегатів, знеструмити електрообладнання та приступити до ліквідації пожежі.

Категорично забороняється захаращувати чи перекривати вільний доступ до головних та локальних електрощитів керування холодильною установкою.

Відкривати захисні кришки та дверцята електрощитів керування і силових збірок дозволяється виключно судновому електромеханіку або особі з відповідною групою допуску з електробезпеки.

Перед початком ремонтних, складально-розбиральних робіт чи технічного обслуговування механізмів СХУ (компресорів, насосів, вентиляторів) їх необхідно повністю відключити від джерел електроживлення (знеструмити). На пускових пристроях та автоматичних вимикачах обов'язково вивішується заборонний плакат стандартного зразка: «Не вмикати! Працюють люди!».

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.05 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 70   |

У приміщеннях рефрижераторного машинного відділення та в коморах зберігання балонів із запасом холодильного агенту суворо заборонено паління та використання будь-яких джерел іскроутворення.

### **5.3. Розрахунок захисного заземлення**

Використання потужних приводних електродвигунів для забезпечення роботи поршневих компресорів, циркуляційних насосів заборотної води, вентиляторів повітроохолоджувачів та інших елементів автоматики в умовах рефрижераторного машинного відділення (РМВ) створює підвищену небезпеку ураження персоналу електричним струмом.

**Захисне заземлення на корпус судна:** Відповідно до Правил Регістра, захисне заземлення є обов'язковим для виконання у суднових системах постійного струму при робочій напрузі понад 50 В, а в системах змінного струму — при напрузі вище 36 В. Усі металеві некорпусні частини електрообладнання (станини компресорів, кожухи щитів, корпуси насосів) надійно з'єднуються з корпусом судна за допомогою спеціальних гнучких перемичок.

**Забезпечення недоступності струмоведучих частин:** Використання захисних кожухів, закритих розподільних щитів зі ступенем захисту не нижче IP44/IP55, а також ізоляція всіх струмоведучих елементів і кабельних трас.

**Захисне секціонування (гальванічна розв'язка) мережі:** Застосування роздільних трансформаторів для живлення ланцюгів автоматики та систем сигналізації.

**Використання малих напруг:** Для переносного освітлення, ручного інструменту та локальних датчиків усередині вологих приміщень і трюмів застосовується безпечна низька напруга (12–24 В).

**Застосування подвійної ізоляції та пристроїв захисного відключення (ПЗВ):** Автоматичне миттєве знеструмлення ділянки мережі у разі виявлення струмів витоку на корпус.

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <b>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.05</b> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 | 71   |

**Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):** Застосування перевірених та таврованих діелектричних засобів — рукавичок, калош, ботів, а також обов'язкове укладання діелектричних гумових килимків перед головними та груповими судновими електрощитами.

Для захисту людини від уражень електричним струмом при пошкодженні робочої ізоляції в електроустановках та переході напруги зі струмоведучих частин на металеві, які не є струмоведучими застосовується захисне заземлення. Його дія полягає у зниженні напруги корпусу відносно землі.

Проектування заземлення для пускового пристрою з напругою 380 В зведено до вибору природних заземлень, при яких опір розтіканню струму не перебільшує встановлених норм: для напруги до 1000 В це  $R_a=4$  Ом [14]. У якості заземлення обираємо пристрій, який складається з вертикальних стержнів з кутової сталі з шириною полки 40 мм, довжиною 2,5 м, з'єднаних сталевую смугою 50 х 4 мм (див. рис. 6.1).

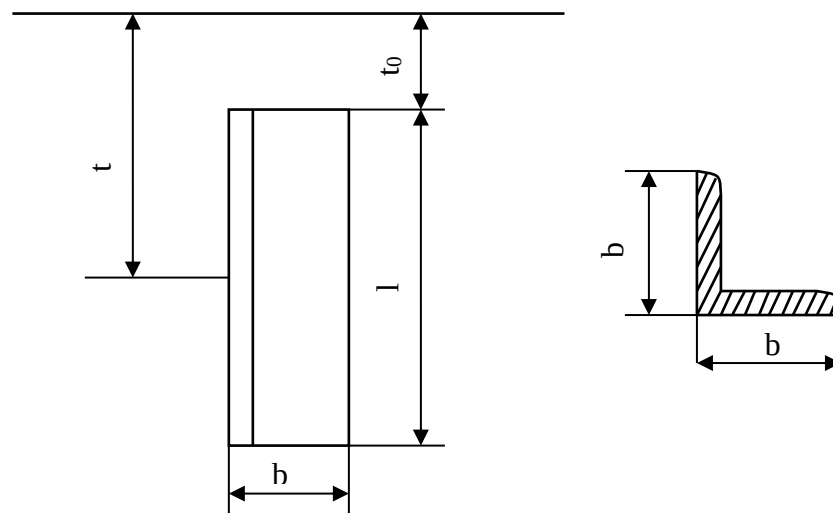


Рис. 5.1 Пристрій заземлення

Опір вертикального заземлення визначаємо за формулою

$$R_{cm.00} = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2,1l}{b} + 0,5 \ln \frac{4,2t + l}{4,2t - l} \right), \text{ Ом}$$

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.05 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          | 72   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          |      |



де  $\rho$  –питомий електричний опір ґрунту (для суглинку  $\rho=30$  Ом/м);  
 $t_0 \geq 0,5$  м, приймаємо  $t_0=1$  м, отже  $t=2,25$  м;  $b=0,01$  м [14].

$$R_{cm.од} = \frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \left( \ln \frac{2,1 \cdot 2,5}{0,01} + 0,5 \ln \frac{4,2 \cdot 2,25 + 2,5}{4,2 \cdot 2,25 - 2,5} \right) = 12,5 \text{ Ом}$$

$R_{ст.од} > R_a$ , тому застосовуємо декілька заземлень. Визначаємо необхідну кількість паралельно з'єднаних заземлень.

$$n = \frac{R_{cm.од}}{R_a \cdot \eta} = \frac{12,05}{4 \cdot 0,6} = 6$$

$\eta$  – коефіцієнт використання заземлень з кутів без врахування впливу смуги зв'язку,  $\eta=0,6$  [14].

Фактичний опір заземлень

$$R_\phi = \frac{R_{cm.од}}{n \cdot \eta} = \frac{12,05}{6 \cdot 0,6} = 3,49 \text{ Ом}$$

Опір смуги зв'язку довжина якої 15м визначається за формулою [14].

$$R'_c = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t} = \frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 15} \ln \frac{2 \cdot 15^2}{0,05 \cdot 1,1} = 2,87 \text{ Ом}$$

Опір розтіканню струму знаходиться з врахуванням коефіцієнту використання  $\eta_c=0,4$  [14].

$$R_c = \frac{R'_c}{\eta_c} = \frac{2,87}{0,4} = 7,1 \text{ Ом}$$

Фактичний опір пристрою заземлення з вертикальних заземлень та смуги зв'язку.

$$R_{с.ф} = \frac{R_\phi \cdot R_c}{R_\phi + R_c} = \frac{3,49 \cdot 7,1}{3,49 + 7,1} = 2,32 \text{ Ом}$$

Це відповідає допустимому значенню опору заземлення.

#### 5.4. Висновки за розділом 5.

У розділі проведено детальний аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що виникають під час експлуатації та обслуговування

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.05 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 73   |

суднової холодильної установки (СХУ) в приміщеннях рефрижераторного машинного відділення (РМВ).

Визначено, що основними джерелами фізичних і хімічних загроз для екіпажу судна є наявність вузлів під високим тиском хладагенту R404A, рухомі механізми, підвищений рівень шуму й вібрації, а також потенційна загазованість робочої зони фреоном у разі витоку.

Розраховано заземлювальний пристрій контурного типу, який складається з вертикальних стрижнів та з'єднувальної сталевий смуги.

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <i>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.05</i> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 | 74   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 |      |

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній бакалаврській роботі виконано розробку проєкту суднової холодильної установки (СХУ) для низькотемпературного вантажного трюму морського транспортного рефрижератора дедвейтом 7340 тонн. Результати проведеного комплексного дослідження та проєктування дозволяють зробити такі висновки:

Аналіз об'єкта та обґрунтування технічних рішень. Проведено аналіз конструктивних та енергетичних характеристик судна «ІВУКІ». Обґрунтовано відмову від озоноруйнівних хладагентів і прийнято рішення про використання гідрофторвуглецевого холодоагенту R404A. Для підтримання заданого температурного режиму в трюмі обрано найбільш ефективну повітряну систему охолодження.

Здійснено комплексний розрахунок теплопритоків у вантажні приміщення судна для найважчих літніх умов експлуатації. Запропоновано схему ізоляції огорожувальних конструкцій на основі екструдованого пінополістиролу плитами «Стіродур». Розрахункове сумарне теплове навантаження на СХУ, з урахуванням експлуатаційних та внутрішніх тепловиділень, склало 140кВт.

Побудовано та розраховано парокомпресорний холодильний цикл на Р-І діаграмі для холодоагенту R404A. Розраховано масові й об'ємні витрати холодоагенту через контур. На основі отриманих термодинамічних даних підібрано основне компресорне обладнання — три напівгерметичні поршневі компресори фірми Bitzer моделі 6FE-44Y-40P.

Розраховано та підібрано компактний випарник-повітроохолоджувач із примусовим обдувом оребреної поверхні;

Обрано автоматичний терморегулюючий клапан компанії Danfoss серії TGE-10 із зовнішнім вирівнюванням тиску. Виконано гідродинамічний розрахунок хладагентних комунікацій СХУ, за результатами якого визначено

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.00 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          | 75   |

оптимальні внутрішні діаметри всмоктувальних, нагнітальних та рідинних трубопроводів.

Проведено комплексний підбір суднового допоміжного обладнання: лінійний ресивер, фільтри-осушувачі, соленоїдні клапани та оглядові вікна.

Виконано комплексний конструктивний розрахунок суднового кожухотрубного горизонтального конденсатора водяного охолодження, оптимізованого для роботи у складі парокомпресорної холодильної установки на холодоагенті R404A.

Проведено детальний аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що виникають під час експлуатації та обслуговування суднової холодильної установки (СХУ) в приміщеннях рефрижераторного машинного відділення (РМВ).

Розраховано заземлювальний пристрій контурного типу, який складається з вертикальних стрижнів та з'єднувальної сталевий смуги.

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <i>КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.00</i> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 |      |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 | 76   |

## ЛІТЕРАТУРА

1. Захаров Ю. В. Суднові установки кондиціювання повітря та холодильні машини: Підручник. – 3-є вид., перероб. і доп. – Л.: Суднобудування, 1994. – 504 с. (1-ше вид. – Л., 1972; 2-ге вид. – Л., 1979).
2. Загоруйко В.О., Голіков О.А. Суднова холодильна техніка: Підручник. – К.: Наукова думка, 2002. - 576 с.
3. Доссат Рой Дж. Основи холодильної техніки: Підручник / Рой Дж. Доссат — М: Легка та харчова промисловість, 1984. — 520с.
4. Гапонов С.А., Лехмус А.А., Журавльов Г.Б. Проектування і розрахунок теплової ізоляції суднових рефрижераторних приміщень. – Ч.І. Ізоляційні матеріали і конструкції, Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 44 с.
5. Тубольцев А.М. Виробниче освітлення та його розрахунок. Методичні вказівки. Миколаїв. УДМТУ 2001. - 86 с.
6. М.І Радченко. Теплообмінники суднових систем кондиціонування та рефрижерації [Текст]: навч. посібник // М.І. Радченко, А.М. Радченко, Д.В. Коновалов, Р.М. Радченко Миколаїв: НУК, 2014. 258 с.
7. Зубарев А.А., Трушляков Є.І. Автоматизація суднових установок кондиціонування та рефрижерації. Методичні вказівки. Миколаїв: НУК, 2009. 40
8. Холодильна технологія та техніка : навч. посіб. / І. П. Єсін та ін. Миколаїв : НУК, 2023. 150 с.
9. Радченко М.І. Суднові холодильні машини: навчальний посібник / М.І. Радченко, О.О. Лехмус. – Миколаїв: НУК. – 2015. – 392 с.
10. Єсін І.П., Зубарев А.А. Холодильна техніка та технологія. Конспект лекцій з дисципліни “Холодильна техніка та технологія” Частина І – Холодильна технологія - Миколаїв: НУК, 2010, - с 40.

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.03.ПЗ.00 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          | 77   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          |      |

11. Єсін І.П. Холодильна техніка та технологія. Конспект лекцій з дисципліни “Холодильна техніка та технологія” - Миколаїв: НУК, 2009, - 52 с.

12. Артемов, Г.А. Суднові енергетичні установки [Текст]: навчальний посібник / Г.А. Артемов, В.М. Горбов. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 356 с.

13. Горбов, В.М. Пропульсивні комплекси морських суден [Текст]: навчальний посібник / В.М. Горбов, Б.М. Личко, В.С. Мітенкова. – Миколаїв: НУК, 2012. – 104 с.

14. Горбов, В.М. Суднова енергетика та Світовий океан [Текст]: підручник / В.М. Горбов, І.О. Ратушняк, Є.І. Трушляков, О.К. Чередніченко. – Миколаїв: НУК, 2007. – 596 с.

15. Горбов В.М. Энциклопедия судовой энергетики [Текст]: ученик / В.М. Горбов, В.П. Кот – Николаев: НУК, 2013. – 607 с.

16. MAN B&W S35ME-B9 Project Guide Electronically Controlled Two-stroke Engines [Текст]: – 1st Edition December 2006 - 309 p.

17. Михайлюк, В.О. Методичні вказівки до виконання розділу з питань безпеки життєдіяльності та цивільної оборони у дипломних роботах (проектах) студентів [Текст] / В.О. Михайлюк, В.І. Ізотов, П.В. Штейн. – Миколаїв: НУК, 2009. – 56 с.

18. Правила класифікації та побудови морських суден [Текст]. – У 4-х томах. – К.: Регістр судноплавства України, 2002.

19. Піскун І.П. Охорона праці в суднобудуванні [Текст]: навч. посібник / І.П.Піскун, А.М. Тубальцев, Н.П.Тубальцева. –Львів: ”Тріада плюс”, 2009.–580 с.

20. Проектне керівництво до двигуна S35ME-B9 MAN B&W [Текст]: – Данія: МБД.

|      |      |             |        |      |                          |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |             |        |      | КРБ.142.4257.03.03.ПЗ.00 | Арк. |
|      |      |             |        |      |                          | 78   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                          |      |

21. Marine Engine IMO Tier II and Tier III Programme 2015  
[Текст]: MAN Diesel & Turbo – a member of the B&W Group. Aug 2015 -  
204 p.

22. Шостак, В.П. Потоки енергії в дизельних установках  
морських суден [Текст]: навчальний посібник / В.П. Шостак. – Миколаїв:  
УДМТУ, 1997. – 57 с.

23. IBUKI [Текст]: - Significant Ships of 2013

|      |      |             |        |      |                                 |      |
|------|------|-------------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |             |        |      | <i>КРБ.142.4257.03.03.ПЗ.00</i> | Арк. |
|      |      |             |        |      |                                 | 79   |
| Змн. | Арк. | № документа | Підпис | Дата |                                 |      |

| Формат    | Зона          | Позиція    | Позначення | Найменування                                       | Кількість | Примітка |
|-----------|---------------|------------|------------|----------------------------------------------------|-----------|----------|
|           |               |            |            | <u>Документація</u>                                |           |          |
|           |               |            |            |                                                    |           |          |
|           |               |            |            | <u>Складальне креслення</u>                        |           |          |
|           |               |            |            |                                                    |           |          |
|           |               |            |            | <u>Складальні одиниці</u>                          |           |          |
|           |               | 1          |            | Корпус компресора                                  | 1         |          |
|           |               | 2          |            | Піддон картера                                     | 1         |          |
|           |               | 3          |            | Задня кришка                                       | 1         |          |
|           |               | 4          |            | Кришка циліндрів                                   | 3         |          |
|           |               | 5          |            | Штуцер лінії всмоктування                          | 1         |          |
|           |               | 6          |            | Штуцер лінії нагнітання                            | 1         |          |
|           |               | 7          |            | Оглядове скло картеру                              | 1         |          |
|           |               | 8          |            | Пробка збору мастила                               | 1         |          |
|           |               | 9          |            | ТЕН нагріву мастила                                | 1         |          |
|           |               | 10         |            | Масляний насос                                     | 1         |          |
|           |               | 11         |            | Колінчатий вал                                     | 1         |          |
|           |               | 12         |            | Шпонка                                             | 1         |          |
|           |               | 13         |            | Ротор електродвигуна                               | 1         |          |
|           |               | 14         |            | Статор електродвигуна                              | 1         |          |
|           |               | 15         |            | Поршень                                            | 6         |          |
|           |               | 16         |            | Маховик                                            | 1         |          |
|           |               | 17         |            | Палець поршня                                      | 6         |          |
|           |               | 18         |            | Клапан всмоктуючий                                 | 12        |          |
|           |               | 19         |            | Клапанна кришка                                    | 3         |          |
|           |               | 20         |            | Клапан нагнітання                                  | 16        |          |
|           |               | 21         |            | Шатун                                              | 6         |          |
|           |               | 22         |            | Клемна колодка                                     | 1         |          |
|           |               |            |            |                                                    |           |          |
|           |               |            |            |                                                    |           |          |
|           |               |            |            | КРБ.142.4257.03.05.ПЗ.00                           |           |          |
| Зм.       | Арк.          | № Документ | Підпис     |                                                    |           |          |
|           |               |            |            | <div>Компресор</div> <div>Bitzer 6FE-44Y-40P</div> |           |          |
| Студент   | Нова А.М.     |            |            |                                                    |           |          |
| Керівник  | Грич А.В.     |            |            |                                                    |           |          |
| Консульт. |               |            |            |                                                    |           |          |
| Зав. каф. | Кобалава Г.О. |            |            |                                                    |           |          |
|           |               |            |            | <div>Літ</div> <div>Аркуш</div> <div>Аркушів</div> |           |          |
|           |               |            |            | <div>ХННІ НУК</div>                                |           |          |