

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



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**На тему: «Розробка системи холодопостачання провізійних  
камер танкера- хімовоза SAN BIAGIO»**

Здобувача Реуса К.В.  
(прізвище, ініціали)

4 курсу ЕНСК- 141 групи

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

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

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

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

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

Одеса - 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕХНІКИ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ МЕХАНІКИ

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри КТ**

д.т.н., проф. Симоненко Ю.М

«\_\_» \_\_\_\_ 2023 року

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

Реуса Костянтина Вікторовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи холодопостачання провізійних камер танкера-хімовоза SAN BIAGIO

керівник роботи к.т.н. Соколовська-Єфименко Вікторія Вікторівна  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 26 серпня 2022 року № 490-03

2. Термін задачі здобувачем закінченої роботи 1 червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: Судно типу танкер-хімовоз, дедвейтом 4968 тон.  
Конструкція провізійних камер. Тип продукту якій зберігається: овочі, риба, м'ясо, яйця,  
суха провізія. Район плавання – необмежений.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:  
Актуальність теми; Технічні рішення, прийняті на танкері-хімовозі "SAN BIAGIO", для системи холодопостачання провізійних камер. Визначення ємності провізійних камер.  
Розрахунок ізоляційної конструкції провізійних камер. Розрахунок теплоприпливів у провізійні камери. Тепловий розрахунок холодильної машини. Перевірочний розрахунок повітроохолоджувача. Перевірочний розрахунок конденсатора. Розрахунок магістральних магістральних трубопроводів. Охорона праці. Розрахунок вартості наукового дослідження.

5. Перелік графічного матеріалу:  
Презентація Power Point ( 8 слайдів)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	проф. Морозюк Л.І.		

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

Керівник \_\_\_\_\_ доц. Соколовська-Єфименко В.В.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Реус К.В.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення технічного завдання	5 днів	
2	Огляд і вивчення літератури	14 днів	
3	Розробка математичної моделі об'єкта	2 дні	
4	Адаптація методів дослідження до практичного застосування	20 днів	
5	Енергетичні розрахунки елементів об'єкта	15 днів	
6	Розробка графічних моделей	2 дні	
7	Аналіз результатів досліджень	2 дні	
8	Оформлення пояснювальної записки	2 дні	
9	Обговорення та затвердження результатів роботи	2 дні	
10	Підготовка матеріалів роботи до захисту	2 дні	

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

Костянтин РЕУС \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

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

Вікторія СОКОЛОВСЬКА- \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

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

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

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_  
Реус К.В.  
(ПІБ)

\_\_\_\_\_ ( підпис )

## АНОТАЦІЯ

*Реус Костянтин Вікторович*

*"Розробка системи холодопостачання провізійних камер танкера-хімовоза SAN BIAGIO"*

Сучасні океанські судна мають великий тоннаж і тривалий час плавання, тому їм потрібна на борту велика кількість продовольства для екіпажу. Для збереження продуктів харчування всі сучасні вантажні судна обладнані провізійними камерами, для охолодження яких використовується холодильна система.

Холодильна система є комбінацією різних механізмів, таких як: компресор, клапани, теплообмінники та ін., котрі поєднані трубами і з'єднаннями.

Та сама холодильна установка може використовуватися для підтримки температури в різних приміщеннях постачання, де зберігаються продукти харчування для членів екіпажу.

Метою роботи є аналіз технічних рішень суднової холодильної системи для провізійних камер на танкері-хімовозі "SAN BIAGIO". Для цього розраховано: ізоляційну конструкцію провізійних камер, теплоприпливи від можливих джерел. Виконано: енергетичний аналіз циклу дійсної суднової холодильної установки, перевірочні розрахунки теплообмінних апаратів та трубопроводів, розрахунки економічних показників роботи.

***Ключові слова:*** танкер-хімовоз, провізійні камери, холодильна система.

## ABSTRACT

*Reus Kostyantyn Viktorovych*

*"Development of a cooling supply system for provision chambers of the SAN BIAGIO chemical tanker"*

Modern ocean vessels have a large tonnage and a long sailing time, so they need a large amount of food for the crew on board. To preserve food, all modern cargo ships are equipped with provision chambers, which are cooled by a refrigeration system. A refrigeration system is a combination of various mechanisms, such as a compressor, valves, heat exchangers, etc. Which are connected by pipes and joints. A refrigeration unit can also be used to maintain the temperature in different supply rooms where food is stored for crewmembers.

The purpose of the work is to analyze the technical solutions of the ship's refrigeration system for provision chambers on the chemical tanker "SAN BIAGIO". For this, the following are calculated: insulating construction of provision chambers, and heat inflows from possible sources. An energy analysis of the cycle of a real ship refrigeration plant, verification calculations of heat exchangers and pipelines, and calculations of economic indicators of the work were performed.

**Keywords:** chemical tanker, storage chambers, refrigeration system.

## ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	7
1.1 Актуальність теми.....	7
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА .....	15
2.1 Технічні рішення, прийняті на танкері-хімовозі "SAN BIAGIO", для системи холодопостачання провізійних камер .....	15
2.2 Визначення ємності провізійних камер дійсної судової холодильної установки .....	17
2.3 Розрахунок ізоляційної конструкції провізійних камер .....	18
2.4 Розрахунок теплоприпливів у провізійні камери .....	25
2.5 Тепловий розрахунок холодильної машини.....	34
2.6 Перевірочний розрахунок повітроохолоджувача .....	43
2.7 Перевірочний розрахунок конденсатора .....	51
2.8 Розрахунок магістральних трубопроводів.....	59
ОХОРОНА ПРАЦІ .....	60
РОЗРАХУНОК ВАРТОСТІ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ .....	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	75

КРБ.КТ.1.490-03.2.12

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
					<b>ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА</b>		
Розроб.		Реус К.В.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Соколовська-				6	76
Реценз.		Ефименко В.В			<b>ФНТІМ, зр ЕН-141</b>		
Н. Контр.							
Затверд.							

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Актуальність теми

Сучасні океанські судна мають великий тоннаж і тривалий час плавання, тому їм потрібна на борту велика кількість продовольства для екіпажу. Для збереження продуктів харчування всі сучасні вантажні судна обладнані провізійними камерами, для охолодження яких використовується холодильна система. Також суднові холодильні системи на борту суден необхідні для кондиціонування повітря, для охолодження об'ємного CO<sub>2</sub> для систем пожежогасіння, та при транспортуванні деяких зріджених газів і сипучих хімікатів.

Холодильна система є комбінацією різних механізмів, таких як компресор, клапани, теплообмінники і т. ін., які з'єднані один з одним трубами і з'єднаннями.

Одна і та ж холодильна установка може використовуватися для підтримки температури в різних приміщеннях постачання, де зберігаються продукти харчування для членів екіпажу.

Холодильна система повинна відводити тепло із замкнутого простору. Це досягається за рахунок холодильного циклу.

На сучасних судах холодильні установки мають широкий діапазон холодопродуктивності. Вони забезпечують функціонування: холодно-морозильних комплексів, установок технологічних споживачів і систем комфортного кондиціонування повітря на судні. Оскільки холодильна установка працює безперервно, вона вимагає належного технічного обслуговування та перевірки через регулярні проміжки часу, оскільки будь-яке пошкодження або поломка системи вплине не тільки на провізію чи вантаж корабля, а й на членів його екіпажу.

Наприклад, для збереження та запобігання псуванню м'яса та риби їх необхідно зберігати при температурі від -10 до -18°C, а овочі - при температурі

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		7

від 7 до 10°C у приміщенні, що добре провітрюється. У зоні розміщення екіпажу та посту керування двигунами найбільш комфортна температура 24°C, яку має підтримувати повітря системи кондиціонування, встановленої на судні.

Суднові холодильні установки експлуатуються в більш складних умовах, ніж стаціонарні, до яких можна віднести, наприклад, зміна в широкому діапазоні температури і вологості повітря, температури забортної води, інтенсивності сонячної радіації; високу корозійну активність повітря і морської води; наявність вібрації і хитання; обмеженість чисельності персоналу і можливості проведення ремонтних робіт. Тому до судових холодильних установок пред'являють особливі вимоги, викладені в нормативних документах - морському реєстрі [1]:

Суднове холодильне обладнання створюється на базі стаціонарного, але в так званому морському виконанні. З деякими змінами в конструкції та заміною деяких матеріалів для зменшення маси і розмірів, підвищення надійності в умовах хитання і вібрації, охолодження морською водою.

Відповідно до правил морського реєстру холодильне обладнання може встановлюватися як в окремих приміщеннях, так і в приміщеннях, загальних з силовими (енергетичними) установками та технологічним обладнанням;

Суднові холодильні установки повинні мати підвищену надійність роботи в специфічних умовах хитання, при диференті та кріні, при поштовхах, ударах, а також при вібрації корпусу;

При визначенні холодопродуктивності установки повинні враховуватися умови резервування машин і апаратів для забезпечення заданого температурного режиму в охолоджуваних приміщеннях при безперервній роботі протягом 24 год. при будь-якому вимкненому вузлі установки. При цьому слід резервувати також і джерела електроенергії;

Суднові холодильні установки повинні бути забезпечені пристроями для автоматичного захисту і регулювання основних параметрів, а також необхідними запобіжними пристроями на випадок аварійних ситуацій;

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		8

Компонування холодильної установки в корпусі судна викликає певні труднощі, пов'язані з обмеженими габаритами приміщень. Габарити приміщень, так само, як і маса обладнання, впливають на провізну спроможність і, в підсумку, на загальну економічну ефективність рефрижераторного судна і його водотоннажності, які визначають загальне розташування машинних відділень, виробничих і житлових приміщень, а також охолоджуваних приміщень.

Холодильні машини рекомендується розміщувати в окремих обгороджених приміщеннях, які можуть розташовуватися як на рівні основного машинного відділення, так і на більш високих рівнях. Зокрема, приміщення холодильних машин можуть розташовуватися під спардек або в спеціальних надпалубних рубках. В останньому випадку полегшується вільний вихід на відкриту палубу і спрощується система вентиляції. Невеликі холодильні машини для провізійних камер встановлюють в безпосередній близькості від цих камер в спеціальну вигородку. Приміщення для зберігання запасів холодильного агента повинні бути відокремлені від інших приміщень, забезпечені належною вентиляцією, огорожі повинні бути вогнестійкими. Балони з холодильним агентом повинні бути надійно закріплені з застосуванням неметалевих прокладок,

Механізми й апарати судових холодильних установок повинні бути виконані в морському виконанні.

Морське виконання компресорів передбачає захист між корпусом поршневого компресора і картерною плитою, тобто установку високого картера. Таким чином, компресор отримує більш глибоку масляну ванну в картері, яка забезпечує більш стійку роботу масляного насоса при його нахилах в поперечної і поздовжньої осі (крін і диферент). Встановлюватися повинні відповідно до спеціальних інструкцій і бути орієнтовані щодо поздовжньої осі судна.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
						9
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		

Апарати суднових установок повинні надійно працювати при нахилі до 22,5 градусів включно (бортове хитання) при одночасному диференті (кільове хитання) 7,5 градусів на ніс або корму.

Теплообмінні трубки конденсаторів виконують з профілем «повільного забруднення» з боку теплоносія (води) з мідно-нікелевого сплаву спеціально для морського застосування.

Торговельний флот сьогодні є дуже регульованим сектором, який включає багато організації, які керують і контролюють усі судна та їх діяльність.

В умовах постійного дефіциту енергоресурсів, на перший план виходить проблема енергозбереження.

В даний час судновласники і проектувальники повинні дотримуватися правил морської індустрії зі скорочення викидів CO<sub>2</sub> і парникових газів. Ці нові правила включають індекс енергоефективності конструкції (EEDI) та довгостроковий індекс енергоефективності існуючих суден (EEXI).

Індекс енергоефективності проектування (EEDI): це найважливіший технічний показник для нових суден, і його основна функція полягає в тому, щоб сприяти використанню більш енергоефективного обладнання та механізмів на нових кораблях. Це вимірювання має на меті поступове коригування кожні п'ять років, щоб стимулювати безперервні інновації та технічний розвиток на етапі проектування, починаючи з базового базового значення в 2013 році (Фаза 0) і закінчуючи значенням приблизно на 30% нижчим залежно від типу судна в 2025 і далі (Фаза 3)

Індекс енергоефективності існуючого судна (EEXI). З'являється в поправці МЕРС 333(76). Основною функцією цього вимірювання є оцінка продуктивності суден подібним до EEDI способом, що охоплює ті самі типи суден і розмір, але застосовується до всіх існуючих суден, незалежно від дати їх будівництва. Власникам суднових компаній необхідно розрахувати EEXI суден у своєму флоті та переконатися, що їхні значення EEXI нижчі за необхідні EEXI.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		10

Ці правила є частиною стратегії Міжнародної морської організації (ІМО) щодо скорочення викидів парникових газів у міжнародному судноплаванні не менш ніж на 40% до 2030 року та на 70% до 2050 року порівняно з 2008 роком [2].

Нові заходи вимагають від усіх судів розрахунку їх ЕЕХІ з використанням технічних засобів для підвищення їхньої енергоефективності та встановлення річного експлуатаційного показника вуглецевої місткості (СІІ) та рейтингу СІІ.

Індикатор інтенсивності вуглецю (СІІ): введено в чотирьох поправках, що пояснюють індекси та як з ними працювати, від МЕРС 336(76) до МЕРС 339(76). Це вимірювання визначає щорічний коефіцієнт зниження, необхідний для забезпечення безперервного покращення експлуатаційної інтенсивності викидів вуглецю на судні в межах певного рейтингу, за шкалою зменшення від А до Е. Це поточне завдання, яке потрібно розраховувати щороку, починаючи з 2023 року. Будь-яке судно, класифіковане як Е або три роки поспіль як D, повинно подати план коригувальних дій для досягнення рейтингу С або вище [3].

Прийняття нових заходів ґрунтуватиметься на раніше ухвалених ІМО обов'язкових заходах з енергоефективності, щоб вести суднопластво на правильний шлях до декарбонізації [4].

Суднові холодильні установки є компресорні пристрої, у яких для здійснення замкнутого термодинамічного циклу використовується холодильний агент.

Міжнародна конвенція ІМО і MARPOL є основною міжнародною конвенцією, яка передбачає запобігання забрудненню морського середовища судами з експлуатаційних або аварійних причин (ІМО, 2017а). MARPOL, Додаток VI (Правила запобігання забрудненню повітря судами). У 2014 році було прийнято новий Регламент ЄС щодо F-газів № 517/2014, який застосовується з 1 січня 2015 року (Європейська комісія, 2014). Крім посилення

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		11

існуючих заходів запобігання витокам, це також обмежує виробництво та використання F-газів.

Існує заборона на обслуговування існуючих систем з високим GWP, яка також стосується суден. Обладнання на судні під прапором ЄС, яке використовує HFC з GWP > 2500 і кількістю, що відповідає 40 тоннам еквівалента CO<sub>2</sub>, заборонено заправляти новим холодоагентом після 1 січня 2020 року та переробленим холодоагентом.

Таким чином із застосовуваних на судах з класом Регістру залишилося декілька холодоагентів: R134A і неазеотропні суміші R407C и R407F.

На відміну від чистих рідин і азеотропних сумішей, неазеотропні суміші типу R407C и R407F киплять і конденсуються при різних температурах для заданого тиску. Температурний «глайд» становить 3-10°, залежно від тиску. Склад і концентрація суміші в процесі фазового переходу весь час змінюється. Зміни складу суміші призводить до фазового зсуву у теплообмінних апаратах холодильної машини. Рідка і парова фаза мають різний склад. Фактично обидві фази (рідка і парова) представляють собою два різних холодоагента.

Такі особливості процесів змінюють умови передачі тепла в теплообмінних апаратах і впливають на енергетичну ефективність холодильної установки. Їх необхідно враховувати при визначенні температур кипіння і конденсації, ступеню перегрівання пари на вході до компресора та експлуатації теплообмінного обладнання.

Сфера енергоефективності на судах наразі знаходиться в стадії розробки та не має загальних рішень, з різними зобов'язаннями для кожного типу суден, і більшість нормативів зосереджена на скороченні викидів. Враховуючи поточні екологічні проблеми, це призводить до деяких ускладнень. Наприклад, EEDI створив ситуацію, коли судна приділяють більше уваги мінімізації рівня своїх індексів, а не зменшенню споживання палива та енергії.

Підвищення ефективності судна є складним процесом, який потрібно ретельно спланувати, щоб бути економічно ефективним, що потребує часу.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		12

Суднові допоміжні системи є життєво важливою частиною судна. Зазвичай вони пов'язані з потребами в енергії, які, залежно від типу судна, можуть становити значну частину загального споживання енергії судном.

До складу суднових допоміжних систем входить і холодильне обладнання. Потреба в охолодженні зазвичай виявляється у потребі додаткової допоміжної потужності для роботи охолоджуючих насосів і систем охолодження.

Ефективність роботи суднової холодильної установки вимагає дослідження для зниження енергоспоживання, що сприяє мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище і енергозаощадженню. Таким чином, має велике значення аналіз характеристик дійсної холодильної установки провізійних камер з урахуванням реальних умов експлуатації.

Такий аналіз дасть можливість врахувати і спрогнозувати негативні чинники, що виникають в процесі експлуатації в подібних умовах з метою енергозбереження.

**Метою роботи є аналіз технічних рішень суднової холодильної системи для провізійних камер на танкері-хімовозі "SAN BIAGIO" [6].**

Таке дослідження дасть змогу забезпечити енергоефективні режими експлуатації, завдяки чому знизяться витрати на обслуговування та ремонт, а також час простою установки.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		13

**Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:**

- виконати розрахунок ізоляційної конструкції провізійних камер;
- виконати енергетичний аналіз циклу суднової холодильної установки;
- виконати теплові та конструктивні розрахунки теплообмінних апаратів;
- проаналізувати результати.

**Об'єктом дослідження** є суднова холодильна система для провізійних камер на танкері-хімовозі "SAN BIAGIO".

**Предметом дослідження** є процеси, які здійснюються в елементах холодильної системи.

**Методи дослідження:** чисельне моделювання процесів в елементах суднової холодильної установки. Основою математичного моделювання є рівняння класичної термодинаміки та теплопередавання.

**Фактологічну основу** є підручники, навчальні посібники, інструкції по експлуатації судна, матеріали фірм-виробників, які містяться на відповідних інтернет-сайтах, періодичних технічних виданнях та ін.

### **Структура роботи**

Бакалаврська робота складається з двох глав, охорони праці, економічних показників роботи, списку використаної літератури. Зміст роботи викладено на 75 сторінках, включаючи 9 рисунків, 12 таблиць, список інформаційних джерел з 16 найменувань.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		14

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

#### 2.1 Технічні рішення, прийняті на танкері-хімовозі "SAN BIAGIO", для системи холодопостачання провізійних камер

Танкер-хімовоз "SAN BIAGIO" має дедвейт 4968 тон, валову місткість 4703 тон. Екіпаж танкера становить 14 осіб. Автономність судна - 60 діб.

Загальна довжина судна - 108 метрів, а ширина - 17,2 метра.

Провізійні камери розташовані на головній палубі надбудови з лівого борту судна. Під камерами розташоване сепараторне відділення. Над камерами знаходяться житлові приміщення. З носовії частини провізійні камери межують з камбузом. Кормова частина межує з приміщеннями рульової машини.

На судні є 3 провізійних охолоджуваних камер, в одному блоці із загальним теплоізолюваним тамбуром №4, який використовується в якості камери для розморожування м'яса та м'ясопродуктів.

Камера №1 зберігання сухий провізії з температурою у камері:  $t_k = +12^{\circ}C$ ; камера № 2 овочева (овочі, картопля, фрукти) температурний режим у камері:  $t_k = +3^{\circ}C$ ; камера №3 – камера для зберігання риби/ м'яса :  $t_k = -18^{\circ}C$ .

В якості теплоізоляційного матеріалу провізійних камер використані сандвіч панелі с наповнювачем пінополіуретаном.

Між камерами та корпусом надбудови є повітряний простір товщиною 120мм. Сандвіч панелі закріпленні до перебірок надбудови за допомогою болтових з'єднань. Корпус надбудови із внутрішньої сторони ізолюваний плитами з базальту PAROC товщиною 25мм.

Холодом камери забезпечуються від індивідуальної холодильної системи, яка працює на робочій речовині R407C. До складу холодильної системи входять: поршневий напівгерметичний компресор (морського виконання), оливовідокремлювач, кожухотрубний горизонтальний конденсатор, лінійний

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
						15
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		

ресивер, запірні арматури і прилади автоматики. В камерах встановлені повітроохолоджувачі безпосереднього охолодження.

Компресорно-конденсаторний агрегат розташований у машинному відділенні в приміщенні дизель-генераторів з лівого борту. Магістральні трубопроводи прокладено крізь одну палубу.

Відповідно до морського реєстру всі елементи компресорно-конденсаторного агрегата дублюються.

У провізійних камерах підтримується різний температурний режим, але холодом камери забезпечуються від однієї холодильної системи.

В результаті термодинамічний цикл машини включає 3 температури кипіння з подальшим дроселюванням на всмоктуючих лініях від 3х повітроохолоджувачів до самого низького тиску в циклі. В результаті масова витрата агента через компресор є сума масових витрат агента через всі повітроохолоджувачі.

Конденсатор виготовлений з мідно-нікелевих труб (морського виконання) і охолоджується дистильованою водою оборотного водопостачання. Дистильована вода охолоджується в пластинчастому теплообміннику загальному для охолодження з головним двигуном.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		16

## 2.2 Визначення ємності провізійних камер дійсної судової холодильної установки

Провізійні камери служать для зберігання харчових продуктів, призначених для харчування суднової команди. Ємність провізійних камер повинна бути достатня для забезпечення продуктами суднового складу на весь період рейсу і залежить від кількості людей на судні і допустимого терміну відновлення продуктів. Через велику різноманітність асортименту товарів на судні їх групують за режимами зберігання та умовам сумісності, тобто. групи продуктів повинні мати приблизно однаковий температурно-вологісний режим і сумісність по запахам.

Камера №1 – зберігання сухий провізії

Камера №2 – зберігання овочів.

Камера №3 – зберігання риби/ м'яса.

Геометричні розміри камер обумовлені існуючими конструкціями:

Будівельна висота камер:  $h_{\text{бюд}} = 2,200 \text{ м.}$

Вантажна висота камер:  $h_{\text{вант}} = h_{\text{бюд}} - 1 = 2,200 - 1 = 1,2 \text{ м}$

Будівельна площа камер:

$$F_{\text{бюд}} = L_{\text{кам}} \cdot B_{\text{кам}}, \text{ м}^2 \quad (2.1)$$

Будівельна площа камери №1  $F_{\text{бюд}1} = 3,926 \text{ м}^2$ ;

Будівельна площа камери №2  $F_{\text{бюд}2} = 3,4604 \text{ м}^2$ ;

Будівельна площа камери №3  $F_{\text{бюд}3} = 3,54045 \text{ м}^2$ ;

Маса зберігання вантажу:

$$m_{\text{пр}} = g_{\text{пр}} \cdot m \cdot \tau \text{ кг,} \quad (2.2)$$

де  $g_{\text{пр}}$ , кг – добові норми витрат маси продуктів на одну людину,

$m$  – кількість людей на судні,

$\tau$  – термін відновлення продуктів.

екіпаж –  $m = 14$  чол.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		17

автономність –  $\tau = 60$  діб.

Камера №1 (консервована провізія, напої, соління, банани,)

$g_{np} = 0,4$  кг для напоїв;

$g_{np} = 0,2$  кг для консервованої провізії;

$g_{np} = 0,2$  кг для солінь;

$g_{np} = 0,2$  кг для бананів;

$m_{np1} = (0,4 + 0,2 + 0,2 + 0,2) \cdot 14 \cdot 60 = 840$  кг.

Камера №2 (овочі, картопля, фрукти, яйця)

$g_{np} = 0,4$  кг для овочів;

$g_{np} = 0,4$  кг для картоплі;

$g_{np} = 0,2$  кг для фруктів;

$g_{np} = 0,2$  кг для яєць;

$m_{np2} = (0,4 + 0,2 + 0,4 + 0,2) \cdot 14 \cdot 60 = 1008$  кг.

Камера №3 (риба, м'ясо та м'ясопродукти, вершкове масло)

$g_{np} = 0,15$  кг для риби;

$g_{np} = 0,3$  кг для м'яса і м'ясопродуктів.

$g_{np} = 0,125$  кг для вершкового масла

$m_{np3} = (0,15 + 0,3 + 0,125) \cdot 14 \cdot 60 = 483$  кг.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		18

### 2.3 Розрахунок ізоляційної конструкції провізійних камер

Суднобудування висуває дуже високі вимоги до безпеки та комфорту на борту судна. Матеріали та конструкції, що забезпечують пожежну безпеку, повинні бути протестовані відповідно до правил і резолюціям ІМО (International Maritime Organization) [1].

Судна експлуатуються в різних кліматичних умовах, що висуває високі вимоги до теплової ізоляції.

Вимоги, що пред'являються до теплової ізоляції в суднобудуванні:

- високі теплозахисні властивості (низький коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$  [Вт / (м К)];

- мала щільність  $\rho$ , кг / м<sup>3</sup>;

висока механічна міцність і еластичність, що протистоять вібрації і деформації корпусу судна;

- морозостійкість (здатність протистояти руйнуванню ізоляції при змінних температурних навантаженнях);

- вогнестійкість і негорючість;

- відсутність запахів і несприйнятливості до них;

- мала вологоємність і мала гігроскопічність;

- мінімальна усадка насипного ізоляційного матеріалу;

- не викликати і не сприяти корозії поверхонь;

- не впливати на здоров'я людей;

- достатня стійкість до гнильних бактерій та грибків;

- не сприяти розмноженню паразитів;

- дешевизна, доступність, зручність при транспортуванні, монтажі та експлуатації, довговічність.

Існуючі ізоляційні матеріали не можуть в достатній мірі задовольняти одночасно всім перерахованим вище вимогам. Тому при їх виборі орієнтуються на виконання тільки основних вимог залежно від призначення судна, району

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		19

плавання і ін. Крім того, вплив ряду недоліків може бути усунуто або значно знижено створеній раціональній ізоляційній конструкції, яка забезпечує:

- запобігання ізоляційної конструкції від зволоження шляхом установки паровологостійкому покриттю і (або) пристрої осушувальних шарів для осушення ізоляції в період експлуатації;

- захист ізоляції від проникнення гризунів шляхом установки спеціальних, металевих сіток;

- безперервність ізоляційного шару і його товщини, що сприяють ефективності теплозахисних властивостей огорожень в тривалий експлуатаційний період.

Гарні ізоляційні властивості мають матеріали, що складаються з дрібних і закритих пор. В сучасних ізоляційних матеріалах число закритих пір, що містяться в 1 см<sup>3</sup> матеріалу, досягає декількох тисяч. Такі матеріали не вимагають додаткових заходів по пароізоляції і не потребують осушення.

Сучасним представником ізоляційної конструкції провізійних камер є металеві сендвіч-панелі з наповнювачем пенопреуретан. Сендвіч-панель є однією з найлегших конструкцій і широко використовується як ізоляційна конструкція при будівництві холодильних складів на суші. Конструкції мають високу міцність на вигин, знижену залежність від допоміжної сталеві конструкції, не має «теплових мостів» та відповідає всім вимогам ІМО.

Ізоляційні конструкції охолоджуваних приміщень судів поділяють на три основних типи: яка не прорізався сталевим набором корпусу; перекривають набір, або нормальні і обходять набір.

Відповідно до судових інструкцій судна провізійні камери мають однакову товщину ізоляційних шарів, які надано у таблиці 3.1

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		20

Таблиця 2.1 – Шари теплоізоляційної конструкції провізійних камері їх теплофізичні властивості:

№ шару	Найменування і матеріал шару	товщина матеріалів $\delta_i$ , мм	Коефіцієнт теплопровідності. $\lambda_i \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$
1	Сталевий лист	5	52
2	Плиты из базальта PAROC Marine Slab 130	25	0,037
3	Повітря	120	0,024
4	Сталевий лист	0,7	52
5	Пенопореуретан	120	0,035
6	Сталевий лист	0,7	52

Точний розрахунок конструкції суднової ізоляції дуже складний. Різні методи розрахунку, засновані на різних принципах, мають багато загальних припущень, що полягають у тому, що при розрахунку нехтують: опором судну від зовнішнього середовища до поверхні конструкції ізоляції і від внутрішньої обшивки до повітря охолоджуваних приміщень, так як воно мало в порівнянні із загальним термічним опором; впливом дрібних кріпильних деталей (болтів, цвяхів, шнурів і т.д.).

Коефіцієнти теплопередавання розраховується за формулою Пекле для плоскої стінки:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}}, \text{ де} \quad (2.3)$$

$\delta_i$  - товщина елемента багат шарової стінки, м;

$\lambda_i$  коефіцієнт теплопровідності відповідного шару, Вт / (м<sup>2</sup>К);

$\alpha_{зов}, \alpha_{вн}$  – коефіцієнти зовнішнього та внутрішнього тепловіддавання ,біля поверхнь провізійних камер

Коефіцієнт теплопередавання переборки левого борта:

$$K_{зс}^c = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{зов}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ум}}}, \text{ де}$$

$\alpha_{зов} = 23 \text{ Вт/м}^2\text{К}$  – коефіцієнти тепловіддавання зовнішній поверхні кладових;

$\alpha_{ум} = 9 \text{ Вт/м}^2\text{К}$  – коефіцієнти тепловіддавання внутрішніх поверхній кладових схову з повітряним охолодженням;

$$K_{изл} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} = \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{5 \cdot 10^{-3}}{52} + \frac{25 \cdot 10^{-3}}{0,037} + \frac{120 \cdot 10^{-3}}{0,024} + \frac{120 \cdot 10^{-3}}{0,035} + \frac{1,4 \cdot 10^{-3}}{52} + \frac{1}{9}} = 0,285 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Отриманий коефіцієнт теплопередавання збільшуємо на 40% для врахування впливу кріпильних деталей:

$$K_{изл} = 0,285 \cdot 1,4 = 0,4 \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

Коефіцієнт теплопередавання кормової переборки та носової переборки мають такіж значення.

Провізійні камери розташовані на головній палубі надбудови тому ізоляційна конструкція камер відноситься до першого типу – ізолювання гладких металевих поверхонь. Такі конструкції не прорізають сталевий набір корпусу судна, тому їх виконують з матеріалів з коефіцієнтами теплопровідності, що відрізняються не більше ніж в десять разів.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		22

Коефіцієнт теплопередавання палуби і підволоку.

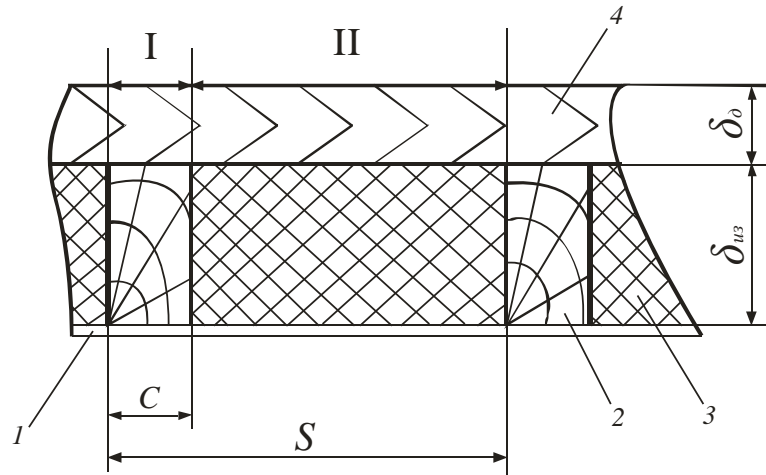


Рисунок 2.1 – Ізоляційна конструкція перебірок.

- 1 - металева обшивка; 2 - підкріплені дерев'яні бруски;  
3 - ізоляційний матеріал; 4 - дерев'яна зашивка ізоляції.

Розрахунок ізоляційної конструкції за методом паралельних теплових потоків:

Основні розміри конструкції:

$$S = 800 \text{ мм}$$

$$C = 60 \text{ мм}$$

$$\delta_d = 60 \text{ мм}$$

$$\delta_{из} = 150 \text{ мм}$$

Дерев'яна зашивка та бруски - сосна уздовж волокон:

$$\text{Щільність} - \rho = 500 \text{ кг / м}^3$$

$$\text{Коефіцієнт теплопровідності} - \lambda_d = 0,4 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$$

$$\text{Теплоємність} = 2,3 \text{ кДж / (кг} \cdot \text{К)}$$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		23

Таблиця 2.2 – Шари теплоізоляційної конструкції палуби і підволоку І зони

№ шару	Найменування і матеріал шару	товщина матеріалів $\delta_i$ , мм	Переходи. теплопровідності. $\lambda_i \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$
1	Сталевий лист	1	52
2	Дерев'яний брус	150	0,4
3	Дерев'яна дошка	60	0,4
4	Пароізоляція (руберойд)	1	0,17
5	Сталевий лист	1	52

Коефіцієнти теплопередавання розраховується за формулою Пеклі для плоскої стінки:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{нар}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}}, \text{ де}$$

$\delta_i$  - товщина елемента багат шарової стінки, м;

$\lambda_i$  коефіцієнт теплопровідності відповідного шару, Вт / (м<sup>2</sup> · К);

$\alpha_{\text{нар}} = \alpha_{\text{вн}} = \infty$  - коефіцієнти зовнішнього та внутрішнього тепловіддавання.

Для розрахунку суднової ізоляції тепловий опір з зовнішньої та внутрішньої сторони не враховуються, так як вони невеликі у порівнянні із загальним термічним опором.

Коефіцієнт теплопередавання І зони:

$$K_{\text{изл}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} = \frac{1}{\frac{1 \cdot 10^{-3}}{52} + \frac{150 \cdot 10^{-3}}{0,4} + \frac{60 \cdot 10^{-3}}{0,4} + \frac{1 \cdot 10^{-3}}{0,17} + \frac{1 \cdot 10^{-3}}{52}} = 1.88 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Таблиця 2.3 – Шари теплоізоляційної конструкції палуби і підволоку II зони

№ шару	Найменування і матеріал шару	товщина матеріалів $\delta_i$ , мм	Переходи. теплопровідності. $\lambda_i \text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$
1	Сталевий лист	1	52
2	Пенопореуретан	120	0,035
3	Дерев'яна дошка	60	0,4
4	Пароізоляція (руберойд)	1	0,17
5	Сталевий лист	1	52

Коефіцієнт теплопередавання II зони:

$$K_{uzII} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} = \frac{1}{\frac{1 \cdot 10^{-3}}{52} + \frac{120 \cdot 10^{-3}}{0,035} + \frac{60 \cdot 10^{-3}}{0,4} + \frac{1 \cdot 10^{-3}}{0,17} + \frac{1 \cdot 10^{-3}}{52}} = 0,28 \text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередавання ізоляційної конструкції:

$$K_{uz} = \frac{K_{uzI} \cdot C + K_{uzII} \cdot (S - C)}{S} = \frac{1,88 \cdot 0,06 + 0,28 \cdot (0,8 - 0,06)}{0,8} = 0,4 \text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

## 2.4 Розрахунок теплоприпливів у провізійні камери

Теплоприпливи через окремі елементи огорожі залежать від їх розмірів, різниці температур, коефіцієнтів теплопередавання окремих типів набору судна, лінійних теплоприпливів.

Для розрахунку теплоприпливів необхідно знати розташування провізійних камер, типові набори палуби, бортів, перебірок, а також поверхні  $F$ , окремих елементів огорож камер.

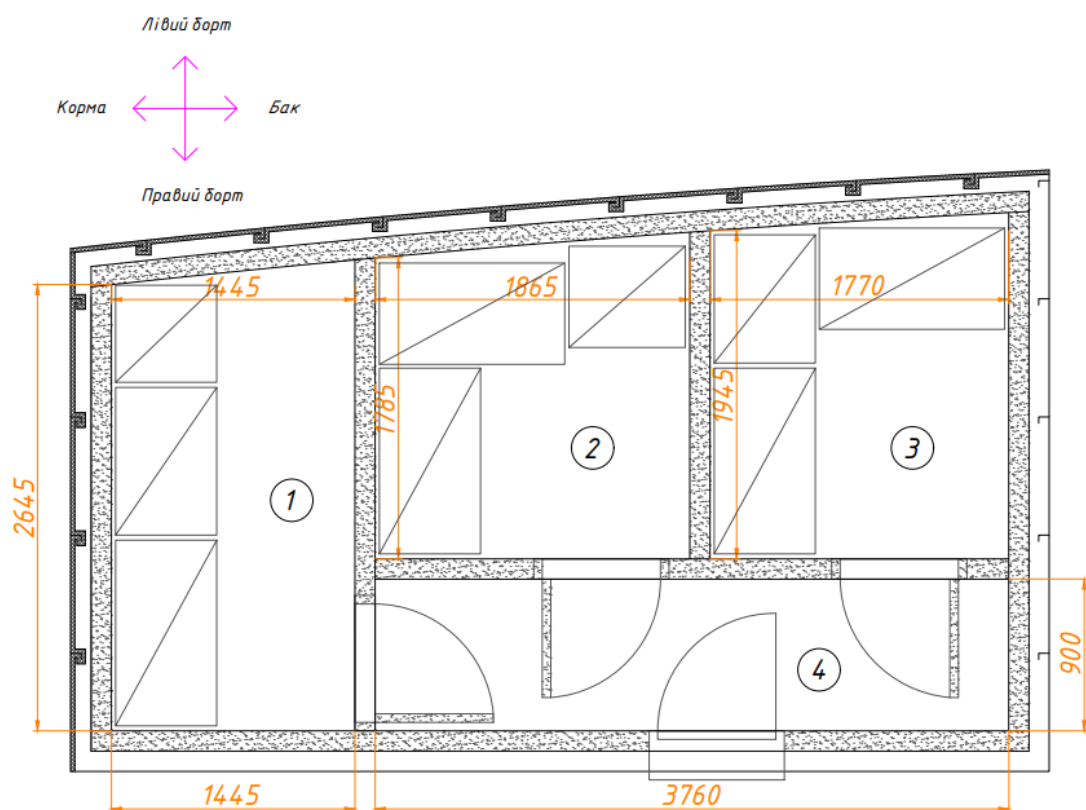


Рисунок 2.2 – План розміщення провізійних камер на судні

Теплоприпливи  $Q_{огр}$  крізь огорожувальні конструкції визначаються як сума теплоприпливів, викликаних наявністю різниці температур зовні огорожі і всередині охолоджуваного приміщення, а також теплоприпливів за рахунок впливу сонячної радіації через покриття і зовнішні стіни, з урахуванням коефіцієнтів теплопередавання:

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		26

$$Q_{озр} = k \cdot F \cdot (t_n - t_в), \text{ Вт}, \quad (2.4)$$

де  $k$  – коефіцієнт теплопередавання ізоляційної конструкції огорожі, Вт / (м<sup>2</sup> · К);

$F$  – площа огороження, м<sup>2</sup>;

$t_{зов}$  – температура ззовні огорожі, °С;

$t_{нов}$  – температура повітря всередині охолоджуваного приміщення, °С.

Район плавання судна – без обмеження району плавання, приймаємо:

$t_{зов} = 45^0 \text{ C}$  (норми ІМО тропічних умов: температура заборотної води  $-36^0 \text{ C}$ ,

при температурі навколишнього повітря  $-45^0 \text{ C}$ ).

*Камера №2 - зберігання овочів*

$$m_{пр2} = (0,4 + 0,2 + 0,4 + 0,2) \cdot 14 \cdot 60 = 1008 \text{ кг}.$$

Розрахункові площі для визначення теплоприпливів:  $h_{кам} = 2,2 \text{ м}$

Носова перебірка:

$t_{нов} = +2^0 \text{ C}$  - температура в камері;

$\Delta t = 5$  - для внутрішніх стін з однаковою температурою;

$F = 1,936 \cdot 2,20 = 4,259 \text{ м}^2$  - площа носової переборки.

$$Q_{озр} = k \cdot F \cdot \Delta t = 0,4 \cdot 4,259 \cdot (5) = 8,5 \text{ Вт};$$

Кормова перебірка:

$t_{зов} = 12^0 \text{ C}$  - температура в камері сухої провізії;

$t_{кам} = 2^0 \text{ C}$  - температура у камері;

$F = 1,771 \cdot 2,20 = 3,89 \text{ м}^2$  - площа носової переборки.

$$Q_{озр} = k \cdot F \cdot (t_{зов} - t_к) = 0,4 \cdot 3,89 \cdot (12 - 2) = 15,56 \text{ Вт};$$

Перебірка правого борту:

$t_{зов} = 24^0 \text{ C}$  - температура у теплоізольованому тамбурі;

$t_{нов} = 2^0 \text{ C}$  - температура в камері;

$F = 1,867 \cdot 2,2 = 4,1074 \text{ м}^2$  - площа перебірки правого борту;

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
						27
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		

$$Q_{одр} = k \cdot F \cdot (t_n - t_в) = 0,4 \cdot 4,1074 \cdot (24 - 2) = 36,145 \text{ Вт};$$

Перебірка: лівого борту:

$$t_{зов} = 45^0 \text{ C} - \text{температура навколишнього середовища};$$

$$t_{нов} = 2^0 \text{ C} - \text{температура в камері};$$

$$F = 1,870 \cdot 2,2 = 4,114 \text{ м}^2 - \text{площа перебірки лівого борту};$$

$$Q_{одр} = k \cdot F \cdot (t_n - t_в) = 0,4 \cdot 4,114 \cdot (45 - 2) = 70,76 \text{ Вт};$$

Теплоприпливи від сонячної радіації:

$$Q_{с.р} = \frac{k}{\alpha_{зов}} \cdot q_{зов} \cdot \varepsilon_p \cdot F,$$

де  $\alpha_{зов}$  – коефіцієнт тепловіддавання від зовнішнього повітря до огорожі,  
Вт / (м<sup>2</sup>К);

$$\alpha_{зов} = 2 + 10 \cdot \sqrt{\omega_c}, \quad (2.5)$$

$$\omega_c = 10,8 \text{ уз} = 5,556 \text{ м/с} - \text{швидкість судна};$$

$$\alpha_{зов} = 2 + 10 \cdot \sqrt{5,556} = 25,57 \text{ Вт / (м}^2 \text{ К)};$$

$q_{зов} = 720 \text{ Вт / м}^2$ -напряга сонячної радіації на вертикальній поверхні (без обмеження району плавання);

$\varepsilon_p = 0,9$ -коефіцієнт поглинання сонячної радіації (для гладких поверхонь, пофарбованих у чорний колір);

$$F = 4,114 \text{ м}^2 - \text{поверхня, схильна до сонячної радіації (лівий борт)}.$$

$$Q_{с.р} = \frac{0,4}{25,57} \cdot 720 \cdot 0,9 \cdot 4,114 = 41,703 \text{ Вт}$$

$$F = 2,621 \text{ м}^2 - \text{поверхня, схильна до сонячної радіації (2/3 подволоку)}.$$

$\varepsilon_p = 0,75$ -коефіцієнт поглинання сонячної радіації (для гладких поверхонь, пофарбованих у сірий колір);

$$Q_{с.р} = \frac{0,4}{25,57} \cdot 720 \cdot 0,75 \cdot 2,62 = 22,13 \text{ Вт}.$$

Підволок (перша палуба надбудови):

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		28

$t_{\text{зов}} = 18^{\circ}\text{C}$  - температура в суміжному приміщенні (житлова палуба надбудови);

$t_{\text{нов}} = 2^{\circ}\text{C}$  - температура в камері;

$F = 3,4604 \text{ м}^2$  - площа підволока;

$$Q_{\text{озр}} = k \cdot F \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{в}}) = 0,4 \cdot 3,4604 \cdot (18 - 2) = 22,1465 \text{ Вт};$$

Головна палуба (підлога камер)  $t_{\text{нов}} = +2^{\circ}\text{C}$  - температура в камері;

$t_{\text{н}} = 40^{\circ}\text{C}$  - температура в суміжному приміщенні (під камерами знаходиться машинне відділення);

$F = 3,4604 \text{ м}^2$  - площа полу.

$$Q_{\text{озр}} = k \cdot F \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{в}}) = 0,4 \cdot 3,4604 \cdot (40 - 2) = 52,59 \text{ Вт};$$

Загальний теплоприплив в охолоджуване приміщення камери №1

$$Q_1 = \sum Q_{\text{озр}} + Q_{\text{с.р}}, \text{ Вт}$$

$$Q_1 = 8,5 + 15,56 + 36,145 + 70,76 + 41,703 + 22,13 + 22,1465 + 52,59 = 269,53 \text{ Вт}$$

Результати розрахунків теплоприпливів через огорожі в інші камери зводимо в таблицю 2.4

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		29

Таблиця 2.4 – Результати розрахунків теплоприпливів крізь огорожі в провізійні камери

**Камера №1 (зберігання сухий провізії)  $t_{нов} = +12^{\circ}C$**

Найменування огорожі приміщення	$F$ , м <sup>2</sup>	$k$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)	$t_{зов}$ , °C	$Q_{c.p}$ , Вт	$\Delta t$ , °C	$Q_{опр}$ , Вт
Носова перебірка	6,138	0,4	2		5	12,276
Кормова перебірка	5,8168	0,4	24		12	27,920
Перебірка правого борту	3,179	0,4	24		12	15,2592
Перебірка лівого борту	3,190	0,4	45	32,72	33	42,108
Підволок	3,932	0,4	18	22,1	6	9,4368
Палуба	3,932	0,4	40		28	44,038

Загальні теплоприпливи від огорож:  $Q_1 = 205,85\text{Вт}$

**Камера №2 (зберігання овочів)  $t_{нов} = 2^{\circ}C$**

Носова перебірка	4,259	0,4	-18		5	8,5
Кормова перебірка	3,890	0,4	12		10	15,56
Перебірка правого борту	4,1074	0,4	24		22	36,145
Перебірка лівого борту	4,1140	0,4	45	41,703	43	70,76
Підволок	3,4604	0,4	18	22,13	16	22,1465
Палуба	3,4604	0,4	40		38	52,59

Загальні теплоприпливи від огорож:  $Q_1 = 269,53\text{Вт}$

**Камера №3 (зберігання риби/ м'яса).  $t_{нов} = -18^{\circ}C$**

Носова перебірка	4,514	0,4	45		63	113,76
Кормова перебірка	4,276	0,4	2		5	8,553
Перебірка правого борту	3,898	0,4	24		42	65,486
Перебірка лівого борту	3,905	0,4	45	39,58	63	98,406
Підволок	3,540	0,4	18	9,96	36	50,982
Палуба	3,540	0,4	40		58	82,137

Загальні теплоприпливи від огорож:  $Q_1 = 468,864\text{Вт}$

Теплоприпливи від вантажів при холодильній обробці  $Q_2$

Кількість відведеного в одиницю часу тепла  $Q_2$ (Вт) при охолодженні і зберіганні визначається:

$$Q_2 = \frac{1000 \cdot m_{ван} \cdot (h_{ван}^{поч} - h_{ван}^{кінц})}{3600 \cdot \tau}, \quad (2.6)$$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		30

де  $m_{ван}$  – маса вантажу, що піддається термообробці, т;

$h_{ван}^{поч}$ ,  $h_{ван}^{кінц}$  - ентальпії, відповідні початковій і кінцевій температурі продукту, кДж / кг;

$\tau$  – тривалість холодильної обробки продукту,

Теплоприплив від тари  $Q_{2m}$

Теплоприплив від тари  $Q_{2m}$ , (Вт) визначається за формулою:

$$Q_{2m} = \frac{m_m \cdot c_p \cdot (t_1 - t_2)}{\tau \cdot 3600}, \quad (2.7)$$

де  $m_m$  - маса тари, т.

$c_p$  – питома теплоємність тари, Дж / кг·К.

$t_1$  – температура тари при надходженні вантажу, 0С;

$t_2$  – температура тари при охолодженні вантажу, 0С

Камера №2 зберігання (овочі, картопля, фрукти, яйця)

Камера №2 (овочі, картопля, фрукти, яйця)

$m_{np1} = 336$  кг - маса овочів;

$m_{np2} = 336$  кг- маса картоплі;

$m_{np3} = 84 / 84$  - маса фруктів (яблука/ апельсини);

$m_{np4} = 168$  - маса яєць ;

$h_{ван}^{поч} = 302$  кДж/кг – ентальпія фруктів, що надходять на холодильну обробку;

$h_{ван}^{кінц} = 279$  кДж/кг – ентальпія фруктів, при середній їх по об'єму кінцевої температурі;

$\Delta h = h_{ван}^{поч} - h_{ван}^{кінц} = 302 - 279 = 23$  кДж/кг – тепло відведене у процесі охолодження фруктів;

$\Delta h = h_{ван}^{поч} - h_{ван}^{кінц} = 20,58$  кДж/кг – тепло відведене у процесі охолодження картоплі;

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		31

$\Delta h = h_{\text{ван}}^{\text{поч}} - h_{\text{ван}}^{\text{кінц}} = 23,34 \text{ кДж/кг}$  – тепло відведене у процесі охолодження інших овочів;

$\Delta h = h_{\text{ван}}^{\text{поч}} - h_{\text{ван}}^{\text{кінц}} = 19,1 \text{ кДж/кг}$  – тепло відведене у процесі охолодження яєць;

$$Q_2 = \frac{1000 \cdot (7842,2 + 6914,88 + 3568,24 + 3208,8)}{86400} = 249,23 \text{ Вт.}$$

Приймаємо, овочі, яця, фрукти зберігаються у картонних коробках:

$m_m = 100,8 \text{ кг}$  – маса тари

$c_p = 1,460 \text{ Дж / кг} \cdot \text{К}$

$t_1 = 8^{\circ} \text{C}$ ;  $t_2 = 2^{\circ} \text{C}$ .

$$Q_{2m} = \frac{m_m \cdot c_p \cdot (t_1 - t_2)}{\tau \cdot 3600} = \frac{100,8 \cdot 1,46 \cdot (8 - 2) \cdot 1000}{24 \cdot 3600} = 9,8 \text{ Вт}$$

Вся консервована провізія, напої, соління, м'ясні та рибні вироби постачаються на судно з рефрижераторів, тому теплоприпливи від холодильної обробки в комерах №1 та №3 відсутні.

Теплоприпливи при вентиляції приміщення  $Q_3$  – для судна, що розглядається, вентиляція в провізійних камерах не передбачена.

$$Q_3 = 0$$

Експлуатаційні теплоприпливи  $Q_4$

Величину експлуатаційних теплоприпливів визначають, як суму теплоприпливів:

$$Q_4 = Q_{\text{осв}} + Q_l + Q_{\text{эл}} + Q_{\text{де}}, \text{ Вт} \quad (2.8)$$

де  $Q_{\text{осв}} -$  кількість тепла від електроосвітлення, Вт:

$$Q_{\text{осв}} = 3,1 \cdot F. \quad (2.9)$$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		32

$Q_l$  -кількості тепла, що виходить від людей, що знаходяться в приміщенні, Вт:

$$Q_l = 258 \cdot n_l, \quad (2.10)$$

Де  $n_l$  - число людей, що працюють в даному приміщенні.

$Q_{эл}$  - теплоприпливи, пов'язані з роботою електродвигунів та електронагрівачів відтаювання повітроохолоджувачів, що знаходяться всередині охолоджуваного приміщення

$$Q_{эл} = N_{ел} + Q_{осв}, \text{ Вт} \quad (2.11)$$

$N_{ел}$  - потужність вентилятора повітроохолоджувача, кВт

$Q_{ел.від}$  - теплоприпливи пов'язані з потужністю нагрівальних елементів під час відтаювання повітроохолоджувачів, кВт.

$Q_{осв}$  -кількість тепла, що надходить в приміщення при відкриванні дверей, Вт

$$Q_{осв} = B \cdot F_{пол}, \text{ Вт}, \quad (2.12)$$

де  $B$ - питомий тепловий потік при відкриванні дверей, віднесений до  $1\text{ м}^2$  площі підлоги, Вт /  $\text{м}^2$ .

Для камери зберігання №1

$$Q_{осв} = 3,1 \cdot F = 3,1 \cdot 3,932 = 12,18 \text{ Вт};$$

$$Q_l = 258 \cdot n_l = 258 \cdot 1 = 258 \text{ Вт};$$

$$Q_{эл} = 180 + 0 = 180 \text{ Вт (дані судових інструкцій);}$$

$$Q_{осв} = B \cdot F_{пол} = 11,6 \cdot 3,932 = 45,61 \text{ Вт.}$$

$$Q_4 = 12,18 + 258 + 180 + 45,61 = 495,79 \text{ Вт.}$$

Для камери зберігання №2

$$Q_{осв} = 3,1 \cdot F = 3,1 \cdot 3,4604 = 10,7272 \text{ Вт};$$

$$Q_l = 258 \cdot n_l = 258 \cdot 1 = 258 \text{ Вт};$$

$$Q_{эл} = 180 + 8 = 188 \text{ Вт (дані судових інструкцій);}$$

$$Q_{осв} = B \cdot F_{пол} = 11,6 \cdot 3,4604 = 40,14 \text{ Вт.}$$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		33

$$Q_4 = 10,7272 + 258 + 188 + 40,14 = 496,86 \text{ Вт.}$$

Для камери зберігання №3

$$Q_{осв} = 3,1 \cdot F = 3,1 \cdot 3,5404 = 10,975 \text{ Вт};$$

$$Q_l = 258 \cdot n_l = 258 \cdot 1 = 258 \text{ Вт};$$

$$Q_{эл} = 180 + 19 = 199 \text{ Вт (дані судових інструкцій);}$$

$$Q_{об} = B \cdot F_{пол} = 13 \cdot 3,4604 = 44,98 \text{ Вт.}$$

$$Q_4 = 10,97 + 468,864 + 199 + 44,98 = 723,814 \text{ Вт.}$$

$Q_5$  - кількість тепла, що виділяється плодами і овочами в результаті дихання:

Для камери зберігання №2

$$Q_5 = m_{np} \cdot (0,1 \cdot q_n + 0,9 \cdot q_{збер}), \text{Вт,} \quad (2.13)$$

Де  $q_n$ ,  $q_{збер}$  - тепловиділення плодів при температурах надходження та зберігання відповідно.

$$m_{np1} = 336 \text{ кг - маса овочів} \Rightarrow q_n = 64,5 \text{ Вт/т}; q_{збер} = 43,5 \text{ Вт/т};$$

$$m_{np2} = 336 \text{ кг - маса картоплі}; \Rightarrow q_n = 25 \text{ Вт/т}; q_{збер} = 23 \text{ Вт/т};$$

$$m_{np2} = 84 / 84 - \text{ маса фруктів (яблука/ апельсини)} \Rightarrow q_n = 45,5 / 66,5 \text{ Вт/т};$$

$$q_{збер} = 23 / 31,5 \text{ Вт/т}$$

$$Q_5 = 15,32 + 7,7 + 2,1 + 2,57 = 27,69 \text{ Вт}$$

Для камери зберігання №1

Кількість тепла, що виділяється бананами:

$$m_{np1} = 168 \text{ кг - маса бананів} \Rightarrow q_n = q_{збер} = 118,68 \text{ Вт/т};$$

$$Q_5 = m_{np} \cdot q_{збер} = 168 \cdot 10^{-3} \cdot 118,68 = 19,93 \text{ Вт}$$

Для розрахунку навантаження на компресор в провізійних камерах, всі види теплоприпливів враховують повністю.

Сумарні теплоприпливи в камеру №1

$$\sum Q_{(1)} = 205,15 + 495,79 + 19,93 = 720,87 \text{ Вт.}$$

Сумарні теплоприпливи в камеру №2

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		34

$$\sum Q_{(2)} = 269,53 + 249,23 + 9,8 + 496,86 + 36,2286 = 1061,6 \text{ Вт.}$$

Сумарні теплоприпливи в камеру №3

$$\sum Q_{(3)} = 468,864 + 723,814 = 1192,6$$

Розрахунки для камер зводимо в таблицю 2.5

Таблиця 2.5 – Зведена таблиця теплоприпливів по камерах.

приміщення	$Q_1$ , Вт	$Q_2$ , Вт	$Q_4$ , Вт	$Q_5$ , Вт	$\sum Q^{заг}$ , Вт
	Теплоприпливи крізь огорожі	Теплоприпливи від вантажів при холодильній обробці	Експлуатаційні теплоприпливи	Тепло дихання	Загальні теплоприпливи в камеру
1	205,15	-	495,79	19,93	720,87
2	269,53	259,03	496,86	36,2286	1061,6
3	468,864	-	723,814	-	1192,67
$\sum Q = 2975$					

Втрати тепла у трубопроводах становлять 2,5% від сумарних теплоприпливів у камери.

$$\sum Q_{(1,2,3)}^{заг} = \sum Q_1^{заг} + \sum Q_2^{заг} + \sum Q_3^{заг} = 810 + 1090 + 1300 = 3200 \text{ Вт.}$$

## 2.5 Тепловий розрахунок холодильної машини

Для охолодження провізійних камер використовується повітряна система охолодження. Використовується цикл одноступеневої холодильної машини, на три температури кипіння, з дроселюванням пари у всмоктувальну лінію компресора.

Холодильний агент: R407C

Тип приладу охолодження: повітроохолоджувач.

Система відведення тепла на судні непряма. За конструкцією являє собою два теплообмінника, що працюють на трьох температурних рівнях: низькій - забортна вода; середній рівень - дистилат; високий - температура конденсації холодоагенту або температура теплоносія від інших механізмів судна. Середній рівень регулюється за допомогою терморегулятора (в межах заданої нерівномірності).

Конденсатор охолоджується дистильованою водою оборотного водопостачання.

Нормальний підігрів дистилату в конденсаторі регламентований і не перевищує 1-3 град. Температура входу дистилату залишається завжди постійною та визначає параметри процесу конденсації. Регулювання витрати морської води здійснюється за допомогою байпасної лінії, щоб підтримувати температуру дистилату на виході з теплообмінника забортної води на рівні 34°C.

Для необмеженого району плавання приймаємо температуру забортної води в тропіках, яка становить  $t_{зб} = 36^{\circ}C$ .

Температура дистилату на вході в конденсатор:  $t_{w4}^F = 34^{\circ}C$ .

Температура конденсації:  $t_k = t_{w4}^F + 6 = 34 + 6 = 40^{\circ}C$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
						36
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		

Відповідно до суднових інструкцій до складу холодильної машини входить поршневий компресор фірми "BITZER" марки: 2CES-3Y (морського виконання).

Характеристика компресора: 2CES-3Y:

Об'ємна продуктивність -  $V_h = 16,24 \text{ м}^3 / \text{год.}$

Кількість циліндрів: / Діаметр / Хід поршня – 2/ 55мм / 39,3мм.

Вага-76кг.

Тип оливи: BSE32 при  $t_2 > 70^\circ\text{C}$ .

Холодопроизводительность -  $Q_0 = 3,81 \text{ кВт.}$

Напруга мотора – (380-420V Y-3-50 Гц).

Регулювання продуктивності: -100% ... 50%.

Підігрівач оливи в картері 120 Вт.

Межі застосування:

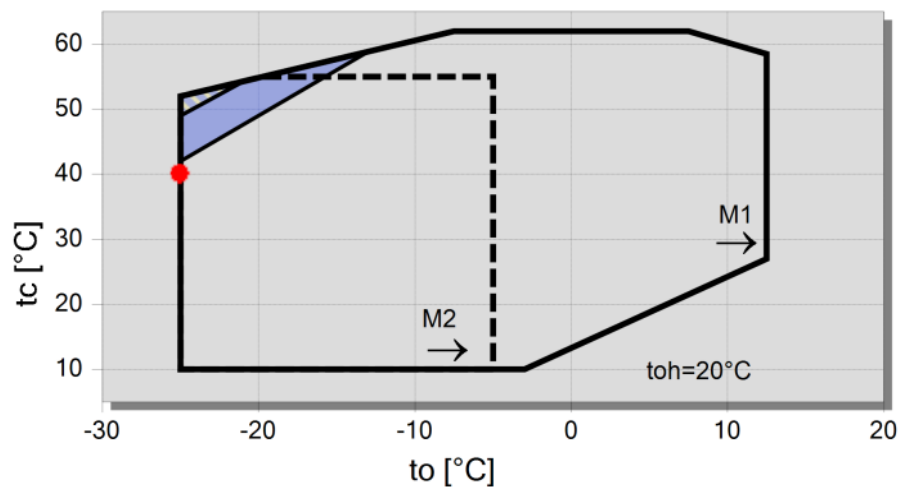


Рисунок 2.3 – Межі застосування компресора 2CES-3Y

Умовні позначення:



додакове охолодження  
перегрів всмокт. парів  $\leq 20\text{K}$



додакове охолодження

— M1: Двигун 1

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		37

Також до складу холодильної системи входить оливовідокремлювач, лінійний ресивер, фільтр осушувач, горизонтальний кожухотрубний конденсатор, регулятори тиску кипіння та терморегулюючі вентиля (ТРВ на кожен камеру).

*Тепловий розрахунок одноступеневої холодильної машини*

Вихідні дані:

Температура кипіння для камери №1:  $t_{01} = 0^{\circ}C$ .

Температура кипіння для камери №2:  $t_{02} = -10^{\circ}C$ .

Температура кипіння для камери №3:  $t_{03} = -25^{\circ}C$ ;

Температура конденсації:  $t_{\kappa}^{\max} = 40^{\circ}C$ .

Теплове навантаження на кожен камеру:

$Q_{01} = 0,81$  кВт;  $Q_{02} = 1,09$  кВт;  $Q_{03} = 1,3$  кВт.

На рисунку 2.4 представлено принципову схему машини.

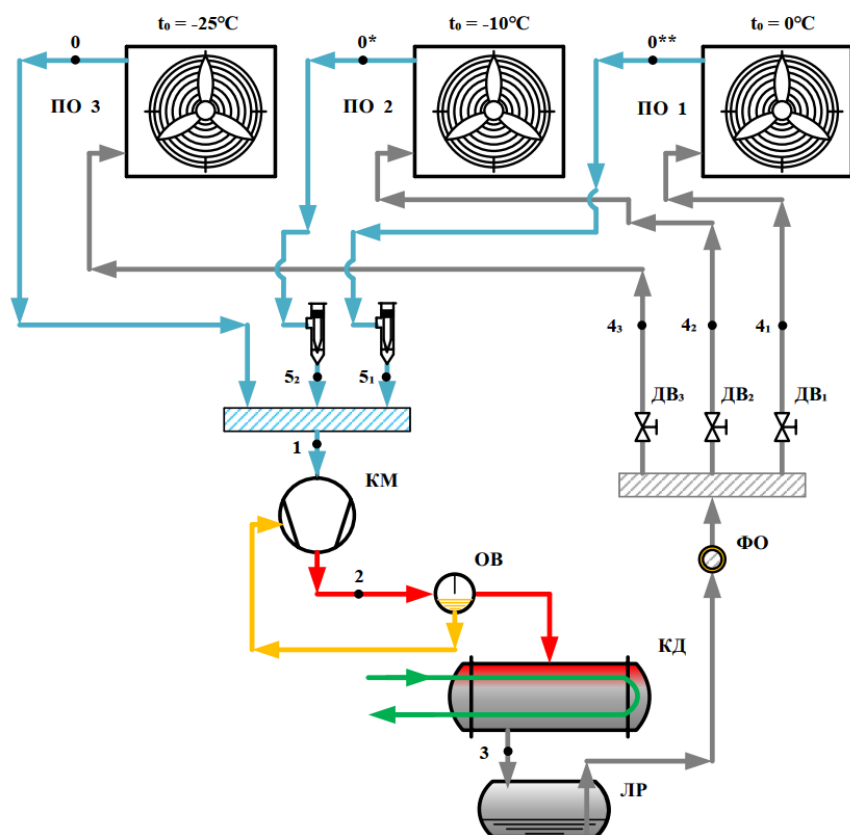


Рисунок 2.4 – Принципова схема холодильної машини

Формуємо термодинамічний цикл холодильної машини в діаграмі ( $P-h$ ) і ( $T-s$ ) (рис 5а, 5б) і визначаємо параметри в вузлових точках циклу (табл. 2.6)

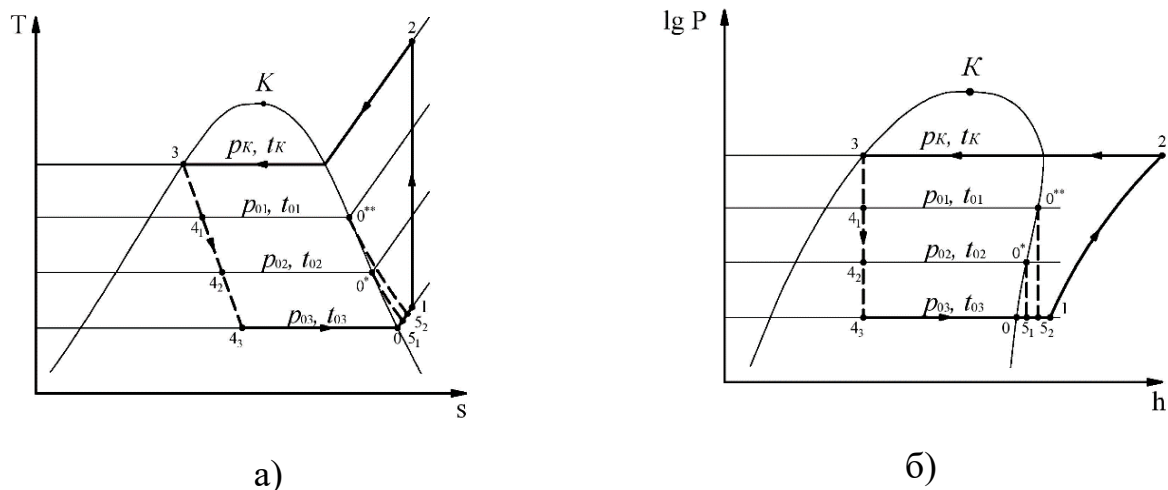


Рисунок 2.5. – Термодинамічні цикли холодильної машини в діаграмах стану  
а) ( $T-s$ ); б) ( $p-h$ )

Таблиця 2.6 – Термодинамічні параметри в вузлових точках циклу

№ Точки	Тиск, $p$ бар	Температура, $t$ °C	Ентальпія, $h$ , кДж/кг	Об'єм, $v$ , кг/м <sup>3</sup>
0	1,7345	-25	396,39	0,129
0*	3,1978	-10	404,49	0,0724
0**	4,6071	0	409,51	0,05079
1	1,7345	20	433,73	0,15817
5 <sub>1</sub>	1,7345	-15,302	404,49	0,13628
5 <sub>2</sub>	1,7345	-9,1056	409,51	0,14024
2	15,413	107,83	500,11	0,021343
3	15,413	34,99	252,19	0,000936
4 <sub>1</sub>	4,6071	-4,6230	252,19	0,014781
4 <sub>2</sub>	3,1978	-14,466	252,19	0,024468
4 <sub>3</sub>	1,7345	-29,213	252,19	0,052393

Питомі характеристики циклу:

Питома масова холодопродуктивність випарника 3 камери:

$$q_{03} = h_0 - h_{41} = 396,39 - 252,19 = 144,2 \text{ кДж/кг}; \quad (2.14)$$

Питома масова холодопродуктивність випарників 2 камери:

$$q_{02} = h_{0^*} - h_{42} = 404,49 - 252,19 = 152,3 \text{ кДж/кг}; \quad (2.15)$$

Питома масова холодопродуктивність випарників 1 камери:

$$q_{01} = h_{0^{**}} - h_{41} = 409,51 - 252,19 = 157,32 \text{ кДж/кг} \quad (2.16)$$

Питома об'ємна холодопродуктивність:

$$q_v = \frac{q_{03}}{v_1} = \frac{144,2}{0,15817} = 911,67 \text{ кДж/м}^3; \quad (2.17)$$

Питома адіабата роботи стиснення компресора:

$$w = h_2 - h_1 = 500,11 - 433,73 = 66,38 \text{ кДж/кг}; \quad (2.18)$$

Питоме тепло, відведене в конденсаторі

$$q_k = h_2 - h_3 = 500,11 - 252,19 = 247,92 \text{ кДж/кг}. \quad (2.19)$$

Масова витрата агенту:

Крізь випарник 3 камери:

$$M_{a3} = \frac{Q_{03}}{q_{03}} = \frac{1,3}{144,2} = 9,015 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}; \quad (2.20)$$

Крізь випарники 2 камери:

$$M_{a2} = \frac{Q_{02}}{q_{02}} = \frac{1,09}{152,3} = 7,156 \cdot 10^{-3} \text{ (кг / с)}; \quad (2.21)$$

Крізь випарники 1 камери:

$$M_{a1} = \frac{Q_{01}}{q_{01}} = \frac{0,81}{157,32} = 5,14 \cdot 10^{-3} \text{ (Кг / с)}; \quad (2.22)$$

Сумарна масова витрата крізь компресор:

$$\sum M_a = M_{a3} + M_{a2} + M_{a1} = 9,015 \cdot 10^{-3} + 7,156 \cdot 10^{-3} + 5,14 \cdot 10^{-3} = 0,0213 \text{ (Кг / с)}; \quad (2.23)$$

Визначимо ентальпію суміші пари з якою холодильний агент поступає в компресор:

$$M_{a3} \cdot h_0 + M_{a2} \cdot h_{51} + M_{a1} \cdot h_{52} = \sum M_a \cdot h_{см} \quad (2.24)$$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
						40
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		

$$h_{cm} = M_{a3} \cdot h_0 + M_{a2} \cdot h_{s1} + M_{a1} \cdot h_{s2} / \sum M_a ; \quad (2.25)$$

$$h_{cm} = 8,57 / 0,0213 = 402,4 \text{ кДж / кг}; \quad t_{cm} = -17,642^\circ \text{C}$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора

$$V_d = \sum M_a \cdot v_1 = 0,0213 \cdot 0,15817 = 3,369 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с} \quad (2.26)$$

Коефіцієнт подавання компресора:

$$\lambda = \frac{V_d}{V_h} = \frac{3,369 \cdot 10^{-3}}{4,51 \cdot 10^{-3}} = 0,747 \quad (2.27)$$

$\lambda_c$  коефіцієнт подавання, що враховує вплив «мертвого простору»

$\lambda'_w$  коефіцієнт, що враховує об'ємні втрати, викликані дроселюванням пари в клапанах:

$$\lambda'_w = \frac{T_{03} + \theta}{\alpha T_k + \beta \theta} - 1 = \frac{248 + 45}{1,12 \cdot 313 + 0,5 \cdot 45} = 0,79 \quad (2.28)$$

$\theta = t_1 - t_{03} = 20$ , - Повний перегрів на всмоктуванні;

$$\alpha = 1,12, \beta = 0,5$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = \sum M_a \cdot w, \text{кВт} \quad (2.29)$$

$$N_a = 0,0213 \cdot 66,38 = 1,4138 \text{кВт}$$

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = \frac{N_a}{\eta_i}, \text{кВт} \quad (2.30)$$

де  $\eta_i$  - індикаторний ККД,  $\eta_i = \lambda'_w + b t_0 = 0,727$

$$N_i = \frac{1,4138}{0,727} = 1,944 \text{кВт} \quad (2.31)$$

потужність тертя

$t_0$ -температура кипіння;

$b = 0,0025$  (для FCFc).

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
						41
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		

$$N_{mp} = V_h \cdot p_{imp}, \text{кВт}$$

де  $p_{imp}$  – середній індикаторний тиск тертя

$$p_{imp} = 50 \dots 70 \text{ кПа (R717, R22, R744)}, p_{imp} = 30 \dots 50 \text{ кПа (R134 и др.)}$$

$$N_{mp} = 4,51 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 0,222 \text{ кВт}$$

Ефективна потужність компресора (потужність на валу компресора):

$$N_e = N_{mp} + N_i, \text{ кВт} = 0,222 + 1,944 = 2,16 \text{ кВт} \quad (2.32)$$

Теплове навантаження на конденсатор:

$$Q_k = \sum M_a \cdot (h_2 - h_3) = 0,0213 \cdot (500,11 - 252,19) = 5,28 \text{ кВт} \quad (2.33)$$

Електрична потужність компресора:

$$N_{эл} = \frac{N_e}{\eta_{эл.дв}} = \frac{2,16}{0,92} = 2,35 \text{ кВт} \quad (2.34)$$

Холод різного потенціалу скласти не можна, тому для даної машини можливо визначити тільки ступінь термодинамічної досконалості:

$$\eta_{смс} = \frac{Q_{03} \cdot \left( \frac{T_k - T_{03}}{T_{03}} \right) + Q_{02} \cdot \left( \frac{T_k - T_{02}}{T_{02}} \right) + Q_{01} \cdot \left( \frac{T_k - T_{01}}{T_{01}} \right)}{N_e} \quad (2.35)$$

де  $Q_0 \cdot \left( \frac{T_k - T_0}{T_0} \right) = E$  - температурний фактор Карно

$$E_3 = Q_{03} \cdot \left( \frac{T_k - T_{03}}{T_{03}} \right) = 1,3 \cdot \left( \frac{313 - 248}{248} \right) = 0,34;$$

$$E_2 = Q_{02} \cdot \left( \frac{T_k - T_{03}}{T_{03}} \right) = 1,09 \cdot \left( \frac{313 - 263}{263} \right) = 0,207;$$

$$E_1 = Q_{03} \cdot \left( \frac{T_k - T_{01}}{T_{01}} \right) = 0,81 \cdot \left( \frac{313 - 273}{273} \right) = 0,1186,$$

$$\text{тоді: } \eta_{смс} = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{N_{эл}} = \frac{0,34 + 0,207 + 0,1186}{2,35} = 0,283$$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
						42
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		

## 2.6 Перевірочний розрахунок повітроохолоджувача

Розрахунок виконувався при наступних припущеннях: середні параметри повітря в повітроохолоджувачі рівні параметрам повітря в охолоджуваному приміщенні, температури кипіння холодильного агента і поверхні теплообмінної секції постійні.

Розрахунок проводимо для провізійної камери №2 (зберігання овочів).

Для повітроохолоджувача приймаємо такі вихідні дані:

$Q_0 = 1,3 \text{ кВт}$  - холодопродуктивність апарату;

$t_k = +2^\circ \text{C}$  - температура у камері;

$t_0 = -10^\circ \text{C}$  - температура кипіння R407C.

Геометричні розміри і тип ребристої поверхні:

Оребрення з квадратними пластинчастими ребрами (РП):

$d_{mp} \times \delta_{mp} = (14 \times 1) \text{ мм}$  - діаметр і товщина стінки труби;

$\delta_{op} = 0.4 \text{ мм}$  товщина біля основи ребра;

$u_p = 6 \text{ мм}$  - крок ребра;

$A \times B = (75 \times 75) \text{ мм}$ .

Швидкість повітря в "живому перетині" апарату:  $\omega = 3 \text{ м/с}$ .

Матеріал ребер-алюміній,  $\lambda_a = 180 \text{ Вт/м}^2 \text{К}$ .

Товщина інею:  $\delta_i = 1 \text{ мм}$ .

Коефіцієнт теплопровідності інею:  $\lambda_i = 0.25 \text{ Вт/м}^2 \text{К}$ .

Глибина охолодження повітря в апараті:  $\Delta t_{\text{в}} = 3^\circ \text{C}$ , знаходимо температурний напір:  $\theta_M = 10,42$ ,

тоді  $t_{\text{вх.с}} = 2^\circ \text{C}$ ;  $t_{\text{вих}} = -1^\circ \text{C}$

$t_{\text{ср.п}} = 0.5 \cdot (2 - 1) = 0,5^\circ \text{C}$ ;

Величина середньої температури поверхні інею:  $t_i$ ,

$t_{\text{р.м}} < t_i < t_{\text{ср.п}}$ , тоді  $t_u = t_{\text{ср.п}} - (0.1 \dots 0.9) \cdot \theta_M = 0,5 - (0.79 \cdot 10.42) = -8^\circ \text{C}$ .

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		43

Будуємо процес стану повітря в повітроохолоджувачі і за допомогою (H-d) діаграми для вологого повітря знаходимо параметри повітря:

Таблиця 2.7 – Параметри стану повітря в повітроохолоджувачі

$\varphi$ %	$t_i$ °C				$d_i \cdot 10^{-3}$ кг / кг				$I$ кДж / кг		
	$t_{ka}$ <i>m</i>	$t_1$	$t_2$	$t_i$	$d_{кам}$	$d_{кам}''$	$d_2$	$d_i''$	$h_{кам}$	$h_2$	$h_3$
90	2	2	-1	-8	3,92	12,94	3,19	1,84	11,8	7,08	-3,64

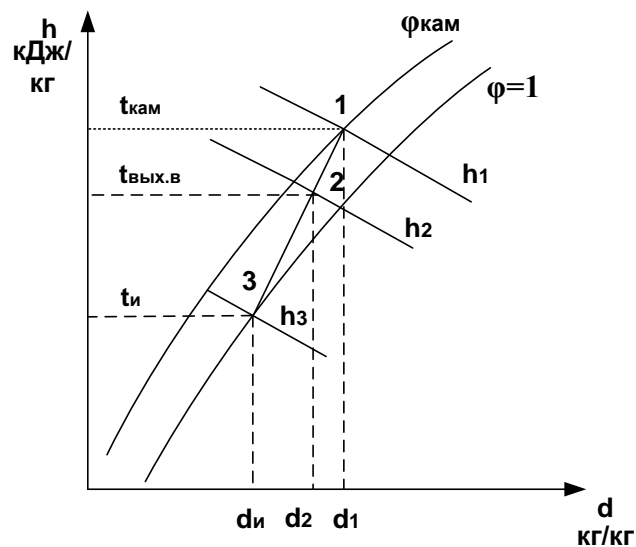


Рисунок 2.6 – Процес зміни стану повітря в повітроохолоджувачі.

Розрахунок геометричних характеристик ребристого теплопередаємого елемента:

де:  $f_p$  - зовнішня поверхня ребра, м<sup>2</sup>

$$f_p = 2 \cdot (A \times B - 0.785 \cdot d_n^2), \text{ м}^2 \quad (2.36)$$

$$f_p = 2 \cdot (75 \cdot 10^{-3} \cdot 75 \cdot 10^{-3} - 0.785 \cdot (14 \cdot 10^{-3})^2) = 0,0109 \text{ м}^2;$$

$f_{mp}$  - зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами, м<sup>2</sup>

$$f_{mp} = \pi \cdot d_{зов} (u - \delta_{op}), \quad (2.37)$$

$$f_{mp} = \pi \cdot 14 \cdot 10^{-3} (6 \cdot 10^{-3} - 0.4 \cdot 10^{-3}) = 2.46 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$f_{вн}$ - внутрішня поверхня труби ребристого елемента; м<sup>2</sup>

$$f_{вн} = \pi \cdot d_{вн} \cdot u, \quad (2.38)$$

$$f_{вн} = \pi \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 2,261 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

$f_{зов}$  - повна зовнішня поверхня ребристого елемента, м<sup>2</sup>

$$f_{зов} = f_p + f_{мп}, \quad (2.39)$$

$$f_{зов} = 0,0109 + 2,46 \cdot 10^{-4} = 0,0111 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт  $\beta$  і ступінь оребрення теплообмінної поверхні:

$$\beta = \frac{f_{зов}}{f_{вн}} = \frac{0,0111}{2,261 \cdot 10^{-4}} = 49 \quad (2.40)$$

$$\phi = \frac{f_{зов}}{\pi \cdot d_{зов} \cdot u} = \frac{0,011}{\pi \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 41 \quad (2.41)$$

Геометричні характеристики поверхні інею осів на ребристому елементі:

$$f_{pi} = 2[A \cdot B - 0,785 \cdot (d_u + 2\delta_u)^2] = 2 \cdot [75 \cdot 10^{-3} \cdot 75 \cdot 10^{-3} - 0,785(14 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3})^2] = 0,010 \text{ м}^2$$

Внішня поверхня інею на трубі між двома суміжними ребрами:

$$\begin{aligned} f_{mpi} &= \pi \cdot (d_{зов} + 2 \cdot \delta_i) \cdot [u - (\delta_{op} + \delta_i)] = \\ &= \pi \cdot (14 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}) \cdot [6 \cdot 10^{-3} - (0,4 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-3})] = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \end{aligned} \quad (2.42)$$

Повна поверхня інею на ребрі:

$$f_{зов.i} = f_{pi} + f_{mpi} = 0,01 + 2,3 \cdot 10^{-4} = 0,01023 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт оребрення:

$$\beta^i = \frac{f_{зов.i}}{f_{вн}} = \frac{0,01023}{2,261 \cdot 10^{-4}} = 45,24 \quad (2.43)$$

Мінімальний «живий» переріз одного ребристого елемента, м<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} f_{ж} &= (S_1 - d_{зов} - 2 \cdot \delta_i) \cdot (u_p - \delta_p - 2 \cdot \delta_i); \\ f_{ж} &= (75 \cdot 10^{-3} - 14 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 0,4 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) = 2,124 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \end{aligned} \quad (2.44)$$

де

$S_1$ - крок пучків труб при коридорному розташуванні:

$$S_1 = S_2 = A = B = 75 \text{ мм}.$$

Температура кипіння робочого тіла  $t_0 = -10^0 \text{ C}$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		45

Визначаємо теплофізичні властивості вологого повітря при середній температурі повітря  $t_{cp.n} = 0,5^{\circ}C$  :

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності повітря:  $\lambda = 2,44 \cdot 10^{-2} \text{ Вт / (К)}$ ;

$\nu$  - кінематична в'язкість повітря:  $\nu = 13,28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;

Критерій Прандтля:  $Pr = 0,707$

Щільність повітря:  $\rho_n = 1,293 \text{ кг / м}^3$

Коефіцієнт конвективного тепловіддавання від повітря до зовнішньої ребреної поверхні:

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda}{u} \quad (2.45)$$

де число Нуссельта розраховуємо за формулою для коридорного пучка труб з пластинчастими ребрами:

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot \left( \frac{L_p}{d_{екв}} \right)^m, \quad (2.46)$$

де  $L_p$  - ширина однієї пластини (ребра) по ходу руху повітря; в даному випадку  $L_p = A = B = 75 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;

$d_{екв}$  - еквівалентний діаметр, м

$$d_{екв} = \frac{2 \cdot [(S_1 - d_{зов}) \cdot (u - \delta_p)]}{[(S_1 - d_{зов}) + (u - \delta_p)]} \quad (2.47)$$

$$d_{екв} = \frac{2 \cdot [(75 \cdot 10^{-3} - 14 \cdot 10^{-3}) \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 0,4 \cdot 10^{-3})]}{[(75 \cdot 10^{-3} - 14 \cdot 10^{-3}) + (6 \cdot 10^{-3} - 0,4 \cdot 10^{-3})]} = 0,0102 \text{ м}$$

де  $Re = \frac{\omega \cdot d_{екв}}{\nu}$  - число Рейнольдса,

$d_{зов}$  - зовнішній діаметр труби, вибираємо  $d_n = 0,14 \text{ м}$ ,

$u$  - крок ребер,

$$Re = \frac{3 \cdot 0,0102}{13,28 \cdot 10^{-6}} = 2304,2 ;$$

$$Nu = 0,298 \cdot 2304,2^{0,454} \cdot \left( \frac{75 \cdot 10^{-3}}{0,0102} \right)^{-0,095} = 8,28$$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		46

$$\alpha_k = \frac{8,28 \cdot 2,44 \cdot 10^{-2}}{6,0 \cdot 10^{-3}} = 33,7 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)};$$

Коефіцієнт вологовипадання:

$$\xi = 1 + \frac{d_{\text{кам}} \phi_{\text{кам}} - d_i''}{t_{\text{кам}} - t_i} \cdot \frac{r - h_i}{c_p}, \quad (2.48)$$

$d_{\text{кам}}$  "I  $d_i$ " - відповідно, вологовміст насиченого повітря при  $t_{\text{кам}}$  і  $t_i$  ( $\phi_{\text{кам}} = 100\%$ ).

$r$  - прихована теплота фазового переходу

$h_i$  - ентальпія інею.

$$h_i = 3,642 \text{ кДж / кг};$$

$c_p'$  - теплоємність вологого повітря, приймаємо

$$c_p' = 1,006 + 1,87 \cdot 6,3 \cdot 10^{-3} = 1,017 \text{ кДж / кг}$$

$$\xi = 1 + \frac{4,36 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9 - 1,84 \cdot 10^{-3}}{2 + 8} \cdot \frac{2501 + 3,642}{1,01324} = 1,51;$$

Коефіцієнт тепловіддавання з урахуванням вологовипадіння:

$$\alpha_n = \alpha_k \cdot \xi$$

$$\alpha_n = 33,7 \cdot 1,51 = 50,89 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)};$$

Приведений коефіцієнт тепловіддавання з урахуванням термічного опору шару інею:

$$\alpha_{np} = \frac{1}{(1/\alpha_n + \delta_{ин}/\lambda_{ин})}, \quad (2.49)$$

де  $\delta_{ин}$  - товщина шару інею,  $\delta_{ин} = 0,001$  м;

$\lambda_{ин} = 0,11 \dots 0,25$  - теплопровідність інею, приймаємо  $\lambda_{ин} = 0,11$  Вт / (м·К).

$$\alpha_{np} = \frac{1}{(1/50,89 + 1 \cdot 10^{-3}/0,11)} = 34,7 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)};$$

Коефіцієнт ефективності ребра:

$$E = \frac{th(mh')}{mh'}, \quad (2.50)$$

де  $h'$  - умовна висота ребра:

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		47

$$h' = 0.5 \cdot d_{306} \cdot (\rho - 1) \cdot (1 + 0.35 \cdot \ln \rho), \text{ М, при } A = B \Rightarrow \rho = \frac{1.15 \cdot B}{d_{306}}, \quad (2.51)$$

$$\rho = \frac{1.15 \cdot 75 \cdot 10^{-3}}{14 \cdot 10^{-3}} = 6.16;$$

таким чином,  $h' = 0.5 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot (6.16 - 1) \cdot (1 + 0.35 \cdot \ln 6.16) = 0.0591 \text{ м};$

$m$  - безрозмірний комплекс:

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_{np}}{\delta_p \cdot \lambda_p}}; \quad (2.52)$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot 34,7}{0.4 \cdot 10^{-3} \cdot 180}} = 31,04 \text{ 1/м};$$

$$m \cdot h' = 31,04 \cdot 0,059 = 1,83 \text{ м}; \quad (2.53)$$

$$E = \frac{th(1,83)}{1,83} = 0,519$$

Умовний коефіцієнт тепловіддавання, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елемента:

$$\alpha_{np,n} = \alpha_{np} \cdot (f_p \cdot E \cdot \psi \cdot c_k + f_{np}) / f_n, \text{ Вт / м}^2 \quad (2.54)$$

де  $c_k$  – коефіцієнт, що враховує контактний термічний опір між ребром та трубою;

$c_k = 0.86$  – для мідних труб з пластинчастими алюмінієвими ребрами;

$\psi$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддавання по висоті ребра;

$$\psi = 1 - 0.058 \cdot mh' = 1 - 0.058 \cdot 1,83 = 0.89.$$

Таким чином,

$$\alpha_{np,306} = 34,7 \cdot \left( \frac{0,0109 \cdot 0,519 \cdot 0,89 \cdot 0,86 + 2,46 \cdot 10^{-4}}{0,0111} \right) = 14,3 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)};$$

Коефіцієнт тепловіддавання з боку холодильного агента для R407C:

$$\alpha_a = 32 \cdot q_{F_{en}}^{0.15} \cdot (\omega \cdot \rho)^{0.47}, \quad (5.55)$$

де  $\omega \cdot \rho$  - масова швидкість холодильного агента у трубі повітроохолоджувача, приймається за графіком [1]

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби:

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
						48
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		

$$q_{F_{\text{вн}}} = \alpha_n (t_{\text{ср.н}} - t_i) \cdot \beta_i, \quad (2.56)$$

$$q_{F_{\text{вн}}} = 50,89 \cdot (8,5) \cdot 45 = 22900,5 \text{ Вт / м}^2;$$

$$\alpha_a = 32 \cdot 22900,5^{0.15} \cdot 1500^{0.47} = 4486,2 \text{ Вт / (м}^2 \text{ К)};$$

Коефіцієнт теплопередавання повітроохолоджувача віднесений до зовнішньої поверхні інею:

$$k_{\text{зог}}^i = \frac{1}{\left(1/\alpha_{\text{нр.зог}} + \beta_i/\alpha_a + \varphi \cdot \delta_{\text{мр}}/\lambda_{\text{мр}}\right)},$$

$$k_{\text{зог}}^i = \frac{1}{\left(1/14,3 + 41 \cdot 10^{-3}/380 + 45/4486,2\right)} = 12,489 \text{ Вт / (м}^2 \text{ К)}; \quad (2.57)$$

Щільність теплового потоку, віднесений до поверхні інею:

$$q_{F_{\text{зог}}} = k_{\text{зог}}^i \cdot (t_{\text{ср.г}} - t_0). \quad (2.58)$$

$$q_{F_{\text{зог}}} = 12,489 \cdot (0,5 + 10) = 131,13 \text{ Вт / м}^2;$$

Коефіцієнт теплопередавання повітроохолоджувача віднесений до зовнішньої «сухої» поверхні інею:

$$k_{\text{зог}} = \frac{k_{\text{зог}}^i \cdot \beta^{\text{зог}}}{\beta^i} = \frac{12,489 \cdot 49}{45,24} = 13,52 \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{К} \quad (2.59)$$

Визначаємо зовнішню поверхню повітроохолоджувача:

$$F_{\text{зог}} = \frac{Q_0}{k_{\text{зог}} (t_{\text{кам}} - t_0)} = \frac{1,300}{13,52 \cdot (2 + 10)} = 8,012 \text{ м}^2. \quad (2.60)$$

Внутрішня площа апарату:

$$F_{\text{вн}} = \frac{F_{\text{зог}}}{\beta} = \frac{8,012}{49} = 0,163 \text{ м}^2. \quad (2.61)$$

*Компунувальний розрахунок повітроохолоджувача*

Об'ємна витрата повітря через повітроохолоджувач:

$$V_n = \frac{Q_0}{\rho_n \cdot (h_1 - h_2) \cdot 10^3} = \frac{1300}{1,293 \cdot (11,84 - 7,08) \cdot 10^3} = 0,21 \text{ м}^3 / \text{с}. \quad (2.62)$$

Діаметр вентилятора:  $D_g = 200 \text{ мм}$ .

Мінімальний «живий» перетин повітроохолоджувача з інеєм на теплообмінній поверхні:

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
						49
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		

$$F_{жс} = \frac{V_n}{\omega} = \frac{0,21}{3} = 0,07 \text{ м}^2. \quad (2.63)$$

Довжина усіх труб в апараті:

$$\sum L = \frac{F_{вн}}{f_{вн}} = \frac{0,163}{0,0376} = 4,33 \text{ м}. \quad (2.64)$$

Кількість труб у фронтальному перерізі:  $z = 6$  штук.

Довжина апарата:  $l = 0,8 \text{ м}$ .

Довжина труб у фронтальному перерізі:

$$L = l \cdot z = 0,8 \cdot 6 = 4,8 \text{ м}. \quad (2.65)$$

Ширина апарату:

$$H = z \cdot S_1 = 6 \cdot 75 \cdot 10^{-3} = 0,450 \text{ м}. \quad (2.66)$$

Кількість труб по ходу повітря (розрахункова):

$$z'_{np} = \frac{\sum L}{L} = \frac{4,33}{0,8} = 5,4 \text{ шт}. \quad (2.67)$$

Дійсна кількість труб по ходу повітря:  $z_{np} = 5$  секції.

Глибина секції:

$$B = S_1 \cdot z_{np} = 75 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 0,375 \text{ мм} \quad (2.68)$$

*Аеродинамічний розрахунок повітроохолоджувача*

Аеродинамічний опір обребреного пучка потоку повітря:

$$\Delta P = A \cdot \left( \frac{L}{d_{екв}} \right) \cdot (\omega \cdot \rho)^{1,76}, \quad (2.69)$$

де

$$A = 0,0113;$$

$$d_{екв} = 0,0102 \text{ м};$$

$$\omega \cdot \rho = 3 \cdot 1,293 = 3,879;$$

$$\Delta P = 0,0113 \cdot \left( \frac{75 \cdot 10^{-3}}{0,0102} \right) \cdot (3,879)^{1,76} = 0,90 \text{ Па}.$$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
						50
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		

## 2.7 Перевірочний розрахунок конденсатора

Конденсатор охолоджується дистильованою водою оборотного водопостачання.

Теплове навантаження на апарат	$Q_{\text{кд}} = 5,28 \text{ кВт.}$
Температура конденсації (середня)	$\bar{t}_{\text{к}} = 37,45^{\circ}\text{C}.$
Температура води на вході в апарат	$t_{\text{w1}} = 34^{\circ}\text{C}.$
Температура води на виході з апарату	$t_{\text{w2}} = 36^{\circ}\text{C}.$
Внутрішній діаметр апарату	$D_{\text{вн}} = 108 \text{ мм.}$
Довжина апарату	$L = 517 \text{ мм.}$
Кількість ходів по воді:	$z = 4$
Загальне число труб в апараті	$n = 60 \text{ шт.}$

В конденсаторі використовуються мідно-нікелеві трубки наступної геометрії:

$d_{\text{вн}} = 6,6 \text{ мм}$  - внутрішній діаметр труби;

$d_{\text{зов}} = 8 \text{ мм}$  - зовнішній діаметр труби.

Визначаємо середню логарифмічну різницю температур:

$$\Theta_m = \frac{(t_w^{\text{вих}} - t_w^{\text{вх}})}{\ln \frac{(\bar{t}_{\text{к}} - t_w^{\text{вх}})}{(\bar{t}_{\text{к}} - t_w^{\text{вих}})}}, \quad (2.70)$$

$$\Theta_m = \frac{(36 - 34)}{\ln \frac{(37,45 - 34)}{(37,45 - 36)}} = \frac{2}{0,866} = 2,307^{\circ}\text{C}.$$

Де

$\bar{t}_{\text{к}}$  – середня температура конденсації холодильного агенту, °C

$t_w^{\text{вх}}, t_w^{\text{вих}}$  – температура води на вході і виході з конденсатора, °C

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		51

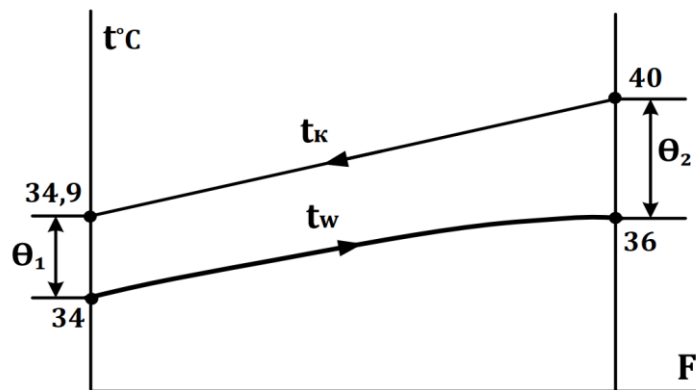


Рисунок 2.7 – Схема руху потоків робочих середовищ в кожухотрубному конденсаторі, с використанням холодогента R407C.

Масова витрата води в апараті:

$$G_w^F = \frac{Q_k}{c_p^w \cdot \Delta t_w}, \text{ кг / с} \quad (2.71)$$

$$G_w^F = \frac{5,28}{4,174 \cdot 2} = \frac{5,28}{8,348} = 0,63 \text{ кг/с.}$$

де  $Q_k$  - теплове навантаження на конденсатор, кВт

$c_p^w$  - теплоємність води при  $\Delta t_w^{cp}$ , КДж / кг.

$\Delta t_w$  - різниця температур води на виході та вході в апарат, °С

$$\Delta t_w = t_w^{obl} - t_w^{ex} = 36 - 34 = 2 \text{ °С.}$$

Теплофізичні властивості води в діапазоні температур:  $\bar{t} = 35 \text{ °С}$

$\rho_w = 995,7 \text{ кг/м}^3$  - густина води;  $\text{кг/м}^3$ ;

$\lambda = 0,6265 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ - коефіцієнт теплопровідності;

$\nu = 0,732 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . - коефіцієнт кінематичної в'язкості;

$Pr = 4.865$  - критерій Прандтля.

Швидкість руху води в трубах визначимо, з урахуванням конструктивних характеристики конденсатора:

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		52

$$\omega_w = \frac{4 \cdot G_w^F}{\pi \cdot (d_{\text{ен}})^2 \cdot \rho_w \cdot n} = \frac{4 \cdot 0,63}{3,14 \cdot (6,6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 995,7 \cdot 15} = 1,23 \text{ м/с.} \quad (2.72)$$

Визначаємо режим руху води:

$$\text{Re} = \frac{\omega_w \cdot d_{\text{ен}}}{\nu_w} \quad (2.73)$$

$$\text{Re} = \frac{1,23 \cdot 10,6 \cdot 10^{-3}}{0,732 \cdot 10^{-6}} = 17811,4.$$

Визначаємо критерій Нусельта:

$$\text{Nu}_w = 0,021 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,43} \quad (2.74)$$

$$\text{Nu}_w = 0,021 \cdot 17811,4^{0,8} \cdot 4,865^{0,43} = 104,28.$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддавання з боку води:

$$\alpha_w = \frac{\text{Nu}_w \cdot \lambda_w}{d_{\text{ен}}}, \text{ Вт / м}^2. \quad (2.75)$$

$$\alpha_w = \frac{104,28 \cdot 62,65 \cdot 10^{-2}}{14,6 \cdot 10^{-3}} = 4475,0 \text{ Вт / м}^2.$$

Розраховуємо коефіцієнт тепловіддавання з боку агента R407C.

Теплофізичні властивості холодильного агента R407C.

Теплофізичні властивості холодильного агента (рідини) при середній температурі конденсації:  $\bar{t}_{R407C} = 37,45^\circ \text{C}$ .

$r_{(407C)} = 158,5 \text{ кДж/кг}$  - прихована теплота пароутворення агента;

$\rho'_{(407C)} = 932 \text{ кг/м}^3$  - густина рідкого агента;

$\lambda'_{(407C)} = 0,08 \text{ Вт/мК}$  - теплопровідність рідкого агента;

$\mu'_{(407C)} = 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ Па/с}$  - коефіцієнт динамічної в'язкості.

Коефіцієнт тепловіддавання з боку холодильного агента, який віднесено до внутрішньої поверхні труби:

$$\alpha_a = 0,725 \cdot \sqrt[4]{\frac{r_{(407C)} \cdot (\rho'_{(R407C)})^2 \cdot (\lambda'_{(R407C)})^3 \cdot g}{\mu'_{(R407C)} \cdot d_{\text{зан}}}} \cdot n^{(-1/6)} \cdot (t_k - t_{cm})^{(-1/4)}. \quad (2.76)$$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		53

$$\alpha_a = 0,725 \cdot \sqrt[4]{\frac{158,5 \cdot 10^3 \cdot (932)^2 \cdot (0,08)^3 \cdot 9,81}{1,27 \cdot 10^{-4} \cdot 8 \cdot 10^{-3}}} \cdot 4^{(-1/6)} \cdot (t_k - t_{cm})^{(-1/4)} \quad (2.77)$$

$$\alpha_a = 2939,14 \cdot (t_k - t_{cm})^{(-1/4)}$$

Густина теплового потоку з боку води до стінки труби:

$$q_{w(F_{вн})} = \frac{(t_{cm} - t_w)}{\frac{1}{\alpha_w} + \sum \frac{\delta}{\lambda}} \quad (2.78)$$

$$q_{w(F_{вн})} = \frac{\theta_w}{\frac{1}{4475,8} + 8,6 \cdot 10^{-6}} = 4309,9 \cdot \theta_w$$

$$\theta_w = (t_{cm} - t_w)$$

Термічний опір стінки труби:

$$\frac{\delta_{mp}}{\lambda_{mp}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{116} = 8,6 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{W \cdot K} \quad (2.79)$$

Густина теплового потоку з боку холодильного агента до стінки труби:

$$q_{a(F_{вн})} = \alpha_a \cdot \theta_a = 2939,4 \cdot \theta_a^{0,75}, \text{ де}$$

$$\theta_a = (t_k - t_{cm})$$

Густина теплового потоку віднесена до внутрішньої поверхні апарату визначимо графоаналітичним методом.

Переймаючись значенням  $\theta_w$  і  $\theta_a$ , будуємо графіки залежності питомої густини теплового потоку.

Таблиця 2.8 – Дані для розрахунку щільності теплового потоку в конденсаторі

$\theta_w$	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2
$\theta_a$	0,25	0,5	0,75	1	2	3
$q_{a(F_{вн})}$	1039,2	1747,7	2368,9	2939,4	3984,07	4943,4
$q_{w(F_{вн})}$	848,85	2154,9	3232,4	4309,9	6464,85	8619,8

З графіка визначаємо, що питома щільність теплового потоку дорівнює:

$$q_f = 8500 \text{ Вт / м}^2.$$

Визначаємо площу внутрішньої поверхні апарату:

$$F_{\text{вн}} = \frac{Q_k}{q_f} = \frac{5,28 \cdot 10^3}{8500} = 0,62 \text{ м}^2 \quad (2.80)$$

Сумарна довжина труб в апараті:

$$L = \frac{F_{\text{вн}}}{\pi \cdot d_{\text{вн}}} = \frac{0,62}{3,14 \cdot 6,6 \cdot 10^{-3}} = 30 \text{ м} \quad (2.81)$$

$$(2.82)$$

Число ходів по воді 4 тоді загальна кількість труб:

$$n_p = n \cdot z = 15 \cdot 4 = 60, \text{ шт}$$

Крок труб по горизонталі:  $S_1 = 1,5 \cdot d_n = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ мм}$ .

Кількість труб по діагоналі:  $m = 9$

Внутрішній діаметр обичайки.

$$D_{\text{вн}} = m \cdot S_1, \text{ м},$$

$$D_{\text{вн}} = 9 \cdot 12 = 108 \text{ мм}$$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		55

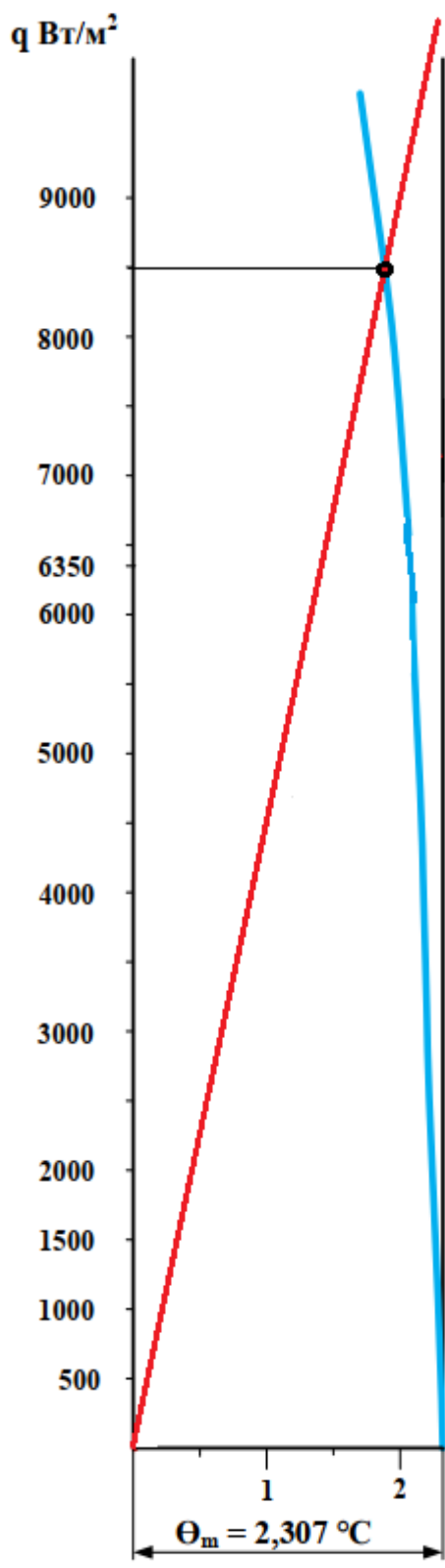


Рис 2.8 – Графоаналітичний метод визначення густини теплового потоку в конденсаторі.

### Гідравлічний розрахунок конденсатора

Загальне рівняння для гідравлічного опору потоку води в апараті.

$$\Delta P = \sum \Delta p_{mp} + \sum \Delta p_m \quad (2.83)$$

де  $\sum \Delta p_{mp}$  – сума гідравлічних опорів тертя, Па

$\sum \Delta p_m$  – сума місцевих опорів, Па.

Гідравлічний опір тертя.

$$\sum \Delta p_{mp} = \xi \cdot \frac{1}{d_{вн}} \cdot \rho \cdot \frac{\omega^2}{2} \quad (2.84)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт опору тертя, визначається за рівнянням для сталевих шорсткуватих труб.

l – довжина труби в елементі, м

$$\frac{1}{\sqrt{\xi}} = -1,8 \cdot \lg \left( \frac{10,6}{Re} + \frac{\bar{\Delta}^{1,111}}{4,33} \right) \quad (2.85)$$

$$\text{де } \bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d_{вн}} = \frac{0,19}{6,6} = 0,028$$

$$\frac{1}{\sqrt{\xi}} = -1,8 \cdot \lg \left( \frac{10,6}{17811,4} + \frac{0,028^{1,111}}{4,33} \right) = 0,815 \quad (2.86)$$

$$\xi = \left( \frac{1}{0,815} \right)^2 = 1,5$$

$$\sum \Delta p_{mp} = 1,5 \cdot \frac{995,7}{6,6 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1,23^2}{2} = 171181 \text{ Па.}$$

Сума місцевих опорів

$$\sum \Delta p_m = \xi \cdot \rho \cdot \frac{\omega^2}{2} \quad (2.87)$$

$$\xi = a \cdot \xi_1 + b \cdot \xi_2 + c \cdot \xi_3 \quad (2.88)$$

де a, b, c – кількість вхідних, вихідних камер і поворотів на 180° відповідно

$\xi_1, \xi_2, \xi_3$  – коефіцієнти місцевого опору вхідний, вихідний камери і поворотів на 180° відповідно.

$$\xi = 4 \cdot 1,5 + 4 \cdot 1,5 + 2 \cdot 2,5 = 17$$

$$\sum \Delta p_m = 17 \cdot 995,7 \cdot \frac{1,23^2}{2} = 12804,3 \text{ Па}$$

Гідравлічний опір апарату:  $\Delta p = 171181 + 12804,3 = 183985,35 \text{ Па}$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		57

## 2.8 Розрахунок магістральних трубопроводів

Діаметр труби визначається за формулою:

$$d_{mp.} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot \omega}}, \quad (2.89)$$

де  $V_p$  – об'ємна витрата робочої речовини;  $м^3/с$ ;

$\omega$  – швидкість руху робочої речовини,  $м/с$ .

В системі перебуває R40C, використані трубки з міді.

Відповідно до судових інструкцій:

$d_{mp(всм)} = 7/8'' = 16\text{ мм}$  – діаметр трубопроводу на всмоктуванні в компресор;

$d_{mp(н)} = 5/8'' = 22\text{ мм}$  – діаметр трубопроводу на нагнітанні з компресора;

$d_{mp(рід)} = 1/2'' = 12\text{ мм}$  – діаметр трубопроводу на виході з конденсатора;

$$V_{p(всм)} = \sum M^* \cdot v_1 = 0,0213 \cdot 0,15817 = 3,36 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/с;$$

$$V_{p(н)} = \sum M^* \cdot v_2 = 0,0213 \cdot 0,021343 = 4,546 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/с;$$

$$V_{p(рід)} = \sum M^* \cdot v_3 = 0,021 \cdot 0,00093663 = 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/с.$$

Швидкість пари на всмоктуванні в компресор:

$$\omega_{всм} = \frac{4 \cdot V_{p(всм)}}{\pi \cdot (d_{mp(всм)})^2} = \frac{4 \cdot 3,36 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (16 \cdot 10^{-3})^2} = 16,7 \text{ м/с} \quad (2.90)$$

Швидкість пари у нагнітальному трубопроводі:

$$\omega_{наг} = \frac{4 \cdot V_{p(наг)}}{\pi \cdot d_{mp(наг)}^2} = \frac{4 \cdot 4,546 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot (22 \cdot 10^{-3})^2} = 1,195 \text{ м/с} \quad (2.91)$$

Швидкість рідини у трубопроводі на виході з конденсатора:

$$\omega_{рід} = \frac{4 \cdot V_{p(рід)}}{\pi \cdot d_{mp(рід)}^2} = \frac{4 \cdot 1,96 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot (12 \cdot 10^{-3})^2} = 0,17 \text{ м/с} \quad (2.92)$$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		58

Розрахунок діаметра водяних трубопроводів.

Розрахункові швидкості для води:  $\omega_{ec} = 1,23 \text{ м/с}$ ;

Об'ємна витрата води:  $V_w = 6,32 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с}$

Розрахункові діаметри трубопроводів:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_w}{\pi \cdot \omega_{ec}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,32 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 1,23}} = 25 \text{ мм}$$

Підбираємо  $DN25 = 1''$ .

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		59

## ОХОРОНА ПРАЦІ

Робота на судах повинна проводитися відповідно до вимог, правил, інструкцій з охорони праці, правил технічної експлуатації суден, інструкцій заводів-виготовлювачів з обслуговування встановлених на судні механізмів, устаткування та пристроїв, технологічних карт, а також документів щодо безпечної експлуатації механізмів, устаткування та пристроїв . Кожен член екіпажу судна повинен бути навчений безпечним способам обслуговування механізмів і пристроїв, що знаходяться в його завідуванні. З метою підтримки в порядку і справності технічні засоби судна, пристрої та засоби боротьби за живучість, обладнання та постачання, індивідуальні та колективні засоби захисту, технічна документація, інструменти, приладдя, а також приміщення розподіляються розпорядчим документом по завідування серед членів екіпажу судна. Будь-які роботи на судні виконуються тільки з дозволу керівника роботи.

Під час шторму вихід, переміщення і роботи на відкритій палубі судна допускаються тільки за розпорядженням капітана. При цьому переміщення повинні відбуватися групою в складі не менше двох осіб з обов'язковим застосуванням рятувальних жилетів, захисних касок і запобіжних поясів зі страхувальними кінцями.

При ремонті двигунів, допоміжних механізмів, електрообладнання, пристроїв і установок повинно бути відключено подається на них харчування (або приводні системи), а на пусковому пристрої цих механізмів і в інших місцях, звідки можливо здійснити пуск (розподільні щити (далі - РЩ), пульти управління, пости керування, рубки), повинні бути вивішені таблички з написом: "Не вмикати - працюють люди". Зняття таблички з таким написом допускається виключно особою, яким вона вивішена. Запуск механізмів (пристроїв) на судні повинен проводитися відповідно до інструкції по експлуатації механізмів (пристроїв) після попередження осіб, що знаходяться

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		60

поблизу, про майбутній пуск, а також при відсутності на механізмах (пристроях) сторонніх предметів. Пуск головних двигунів судна, пов'язаний з проверненням гребних гвинтів, при стоянці судна в порту допускається після огляду забортного простору за кормою на предмет відсутності там плавзасобів і людей.

Освітленість робочих місць на судні повинна відповідати вимогам діючих санітарно-епідеміологічних правил і нормативів.

В роботі розглянуто холодильна установка, що працює на фреоні R-407C. Робоча речовина R-407C являє собою безбарвний газ, при виготовленні якого не використовується хлор. За своїми екологічними характеристиками він значно перевершує більшість існуючих холодоагентів. R-407C також відрізняється нульовим коефіцієнтом потенціалу руйнування озонового шару землі. Коефіцієнт потенціалу глобального потепління, яким володіє фреон R-407C, дорівнює GWP= 1370 г. Він є зеотропна суміш (52% R-134a / R-125/25% 23% R-32). Нормальна температура кипіння:  $-43,8^{\circ}\text{C}$ ; критична температура:  $86,2^{\circ}\text{C}$ ; критичний тиск - 4,63 МПа, критична густина -  $490\text{кг/м}^3$ . R-407C стандартна робоча рідина в багатьох транспортних холодильних системах, холодоагент. R-407C можна змішувати з повітрям для проведення випробувань під тиском на предмет виявлення витоків. Холодоагент. R-407C має тиск насиченої пари, який перевищує цей показник у R-12. Холодоагент рекомендується застосовувати в системах кондиціонування повітря, охолоджувачах, холодильних системах з середніми температурами випаровування (малі, середні, великі системи), побутових холодильниках, автомобільних і транспортних системах кондиціонування повітря. Зберігати в сухих складських приміщеннях, що забезпечують захист від сонячних променів, подалі від відкритого вогню і електронагрівальних приладів, при температурі не вище  $52^{\circ}\text{C}$ . Цей холодильний агент має високу плинність і відбувається через дрібні пори металу в таких місцях, де менше текучі гази (аміак або азот) при рівних умовах пройти не можуть. Всі хладони без атомів

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		61

водню, негорючі, а містять їх - легко спалахують. Ця речовина розчиняється в оліві, при цьому в'язкість масла знижується. 407С не змішується з мінеральною олівою. Різні ефірні оливи у найважливіших температурних діапазонах та складах показують хорошу розчинність з R407С.

При експлуатації СХУ і в ряді технологічних процесів відбувається виділення різних шкідливих речовин.

Всі шкідливі речовини поділяють на хімічні речовини і виробничий пил. Згідно ГОСТ 12.0.003-74 хімічні речовини за характером впливу на організм діляться на наступні групи:

- общетоксичні
- дратівливі
- мутагенні
- канцерогенні
- впливають на репродуктивну функцію

До числа общетоксичних речовин відносяться ароматичні вуглеводні і їх аміно і нітропохідні (бензол, толуол і ін.), а також ртуть, органічні сполуки хлоровані вуглеводні.

Подразнюють володіють кислоти, луги, фосген, аміак, оксиди сірки і азоту, сірководень, та інші. Ці речовини при контакті з відкритими частинами тіла людини викликають запальну реакцію шкіри, слизової оболонки очей та органів дихання.

До мутагенних речовин відносять різні отрути, які впливають на генетический апарат зародкових і соматичних клітин організму.

Канцерогенні речовини викликають розвиток злоякісних пухлин. До їх числа відносять поліциклічні ароматичні вуглеводні, які можуть входити до складу сирової нафти, мазуту, мастил, сажі та ін.

До речовин, що впливає на репродуктивну функцію відносять бензол і його похідні, сірковуглець, свинець, нікотин, ртуть.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		62

За ступенем небезпеки на організм людини всі шкідливі речовини поділяються на 4 класи:

- 1 - надзвичайно небезпечні (ртуть, свинець, азот і ін.)
- 2 - високо небезпечні (оксид азоту, бензол, йод, мідь, марганець і ін.)
- 3 - помірно небезпечні (ацетон, ксилол, метиловий спирт та ін.)
- 4 - малонебезпечні (аміак, бензин, скипидар, етиловий спирт, оксид вуглецю та ін.)

У табл. 8.1 наведені норми гранично допустимих концентрації (ГДК) основних шкідливих речовин.

Таблиця 2.9-Таблиця шкідливих речовин.

№ п / п	Шкідливі речовини	ГДК м <sup>2</sup> / м <sup>3</sup>	клас небезпеки
1	аміак	20	4
2	ацетон	10	4
3	бензин паливний	100	4
4	бензол	5	2
5	Діоксид вуглецю	20	4
6	ксилол	50	3
7	метиловий спирт	5	3
8	ртуть	0,01	1
9	Сірчана кислота	1	3
10	тетраетил свинцю	0,005	1
11	Пил чорної сажі	4	4

Шум відноситься до загальнобіологічних подразників, так як він в певних умовах може впливати на всі органи і системи організму людини. Тривала дія інтенсивного шуму призводить до професійного захворювання приглухуватості. При дуже великому звуковому тиску може статися розрив барабанної перетинки. Високочастотний шум (1000 ... 8000) Гц викликає явище, несприятливий для слуху, а також впливає на різні відділи головного мозку, викликаючи головний біль, поганий сон, дратівливість, стомлюваність, ослаблення пам'яті та ін.

Для захисту від шуму одним з найбільш ефективних засобів є звукоізоляція. За допомогою звукоізолюючих конструкцій можна знизити

рівень шуму на 30 ... 40 Дб. Зниження рівня шуму методом звукопоглинання заснований на переході енергії звукових коливань частинок повітря в теплоту внаслідок втрат на тертя в порах звукопоглинального матеріалу. Тому звукопоглинальні матеріали (пористі, порістоволокністіє) наносяться на внутрішні поверхні, а також розташовуються на штучних звукопоглотителях.

Максимальне зниження шуму в відбитому поле за допомогою акустичної обробки внутрішніх поверхонь приміщення не перевищує 6 ... 8 Дб.

Вібрація - це складний коливальний процес, що виникає при періодичному зміщенні центру ваги будь-якого тіла від положення рівноваги, а також при періодичному зміні форми тіла в порівнянні з тією, якої вона мала їх в статичному стані.

Залежно від впливу на людину вібрація ділиться на загальну і місцеву. Загальна вібрація сприймається всім тілом і в першу чергу його нервовою системою і кістковою тканиною.

Місцева вібрація передається від зіткнення окремих частин тіла людини з вібруючим інструментом чи обладнанням.

Основним захисним заходом від вібрації на судах є: використання вібробезпечних машин і механізмів, застосування засобів віброзахисту, що знижують вібрацію на шляхах її поширення, проектування технологічних процесів, виробничих, побутових та житлових приміщень, що забезпечують відсутність вібрації, розробка раціональних режимів праці та відпочинку.

Відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 електрозахисними засобами називають стерпні і транспортовані вироби, службовці для захисту людей від ураження електричним струмом, впливу електричної дуги і електромагнітного поля.

За призначенням засоби захисту умовно поділяють на ізолюючі, огорожувальні та допоміжні.

Ізолюючі засоби захисту призначаються для ізоляції людини від струмоведучих частин електроустановки, що перебуває під напругою, а також

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		64

від корпусу судна, якщо людина одночасно стосується струмоведучих і заземлених частин електроустановки.

Огороджувальні засоби захисту призначені для тимчасового огороження струмоведучих частин, що знаходяться під напругою. До них відносять щити, бар'єри, огорожі - клітини, а також тимчасові переносні заземлення.

Допоміжні засоби захисту призначені для захисту персоналу від випадкового падіння з висоти (запобіжні пояси), світлових, теплових механічних і хімічних впливів електричного струму.

Всі захисні засоби при прийманні в експлуатацію повинні бути випробувані незалежно від заводського випробування, а також піддані контрольним оглядам в найкоротші терміни за нормами відповідно до табл. 8.2

Таблиця 2.10- Терміни випробування засобів захисту

захисний засіб	Напруга електроустановки, В	Напруга випробування, кВт	Час випробування, хв.	Струм, що протікає через виріб, А	період випробування
рукавички діелектричні	Для всіх напруг	2,5	1	2,5	1 раз на місяць
боти діелектричні	те ж	15	1	7,5	1 раз в 3 роки
калоші діелектричні	до 1000	3,5	1	2	1 раз на рік
килимки діелектричні	Для всіх напруг	3,5	-	-	-
Слюсарно - монтажний інструмент з ізолюючою рукояткою	до 1000	3,5	1	2,5	1 раз на рік

Позачергові випробування захисних засобів повинні проводитися при наявності ознак несправності, після їх ремонту і при заміні будь-яких частин. Результати електричних і механічних випробувань заносять в журнал довільно форми в лабораторії, що виробляє ці випробування (крім інструменту з

ізолюючими ручками), повинен ставиться на захисний засіб незмивний червоний штамп.

Ремонтні роботи на холодильних установках проводяться під безпосереднім керівництвом другого механіка, який, перед початком робіт зобов'язаний: перевірити справність підйомних механізмів, інструментів і пристосувань, забезпечити працюючих захисними засобами, спецодягом, запобіжними пристроями, нормальну освітленість місць ремонту, переконається, що в компресорах, апаратах і трубопроводах відсутня тиск або холодоагент.

Виробляти ремонт обладнання, ущільнення сальників арматури, системи знаходиться під тиском правилами заборонено.

При монтажних і демонтажних роботах слід користуватися тільки стандартним інструментом. Під час перерви в роботі не можна залишати вантажі в підвішеному стані або в піднесеному становищі на лебідках, домкратах або інших механізмах.

Розкривати компресори, апарати, трубопроводи дозволяється тільки в захисних окулярах, масці тільки після того, як з системи надійно відсмоктати холодоагент і тиск знижений до атмосферного. Правилами заборонено розкривати апарати, трубопроводи з температурою стінок нижче  $-33 - 35^{\circ}\text{C}$ .

Механізми, апарати, арматуру на час демонтажу необхідно розміщувати в задалегідь намічених місцях, не займаючи коридори, проходи. Укладати їх на палубі слід стійко, з метою виключення їх переміщення при хитах судна.

При користуванні переносними електроінструментами необхідно попередньо вивчити інструкції по їх експлуатації.

Зварювальні і паяльні роботи при ремонті на діючому обладнанні повинні виконуватися під діючими другим механіком і представником портового нагляду з забезпеченням все запобіжних заходів по запобіганню суміжних апаратів від пошкоджень.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		66

Роз'єднання фланців, постановку заглушок, що відокремлюють апарати, пломбування в закритому стані маховиків, вентилів слід проводити при безперервній роботі аварійної вентиляції.

Для запобігання пожежі на судах встановлюють вогнестійкі або огнесдерживаючі конструкції, які повинні витримувати на вогнестійкість стандартні випробування.

Основою конструкції протипожежного захисту корпусних частини судів є застосування вогнестійких конструкцій типу В і С.

До конструкцій типу А відносяться перебирання, палуби, вигородки трапів, шахти, а також закриття прорізів в них. Вони виконуються із сталі або іншого рівнозначного матеріалу, посилені ребрами жорсткості і маю термостойкую ізоляцію необхідної товщини. Всі конструкції типу А зберігають свою цілісність і непроникність для диму і полум'я в перебігу одногодинного стандартного випробування на вогнестійкість.

Вогнезатримуючі конструкції типу В і С застосовують на судах для виконання допоміжних перегородок і закриттів прорізів в них. Конструкції цих класів можуть бути виготовлені цілком з будь-яких вогнетривких матеріалів, або з декількох шарів різних за ступенем займистості. Вони повинні бути непроникні тільки для полум'я протягом півгодинного стандартного випробування на вогнестійкість

долікарська допомога

Симптоми отруєння при вдиханні повітря з високими концентраціями фреонів або продуктів їх розкладу проявляються через 30 - 60 хв. З'являється головний біль, слабкість, почастищення пульсу і дихання, можуть спостерігатися нудота і блювота. При попаданні рідких фреонів на шкіру і в очі можливо обмороження шкіри і пошкодження очей. Обслуговуючий персонал холодильної установки повинен вміти надавати першу допомогу постраждалим при отруєнні і ураженні холодоагентом.

При ядуха, викликану нестачею кисню в приміщенні, заповненому

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		67

газоподібним фреоном, необхідно негайно вивести потерпілого на свіже повітря. Рекомендується пити (міцний солодкий чай, кава, лимонад), вдихання кисню протягом 30-45 хвилин. У разі припинення дихання слід робити штучне дихання до приходу лікаря. При попаданні фреону в очі їх промивають струменем води кімнатної температури під невеликим тиском і закопують в очі стерильне вазелінове масло, після чого необхідно негайно звернутися до лікаря.

При наявності явищ подразнення слизової оболонки, рекомендується полоскання носа і глотки 2% -ним розчином соди або водою.

При попаданні фреону в очі необхідно провести рясне промивання очей струменем чистої води. Потім слід до приходу лікаря надіти темні захисні окуляри. Чи не забинтовувати очі, не накладати на них пов'язок. При попаданні фреону на шкіру можна очікувати відмороження. Слід занурити уражену кінцівку в теплу воду (35-45 ° С) на 5-10 хвилин або зробити загальну ванну в разі поразки великій поверхні тіла. Осушити шкіру після ванни не розтиранням, а прикладаючи добре вбирає воду рушник. Після цього слід на пошкоджену ділянку накласти мазеву пов'язку або змастити пошкоджену поверхню маззю. При відсутності мазі можна використовувати несолоне вершкове або соняшникову олію. У разі появи бульбашок ні в якому разі їх не розкривати, а накласти мазеву пов'язку прямо на бульбашки.

Засоби для першої долікарської допомоги

1. Нашатирний спирт (для дихання).
2. Валеріанові краплі.
3. Двовуглекисла сода (для промивання очей і порожнини горла).
4. Мазь Вишневського або пеніцилінова мазь (для змащування пошкодженої поверхні шкіри).
5. Темні захисні окуляри.
6. Стерильний матеріал (серветки, вата, бинти).
7. Дерев'яні лопатки (для взяття і накладення мазі).
8. У спеціально відведеному місці слід мати балон з медичним киснем і обладнанням до нього.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		68

## ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ

### Розрахунок вартості виконання кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня бакалавра

#### Формування стрічкового графіку виконання роботи

Плани підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра формують з використанням різних моделей, одна з яких стрічковий графік.

Стрічковий графік - графічна модель з переліком робіт, що виконуються, з зазначенням часу початку робіт, часу завершення робіт і тривалості всієї роботи. Формування стрічкових графіків вимагає розрахунків трудомісткості і тривалості кожної роботи і кількості виконавців. Для цих розрахунків потрібні нормативи трудомісткості виконання робіт, диференційованих за такими ознаками, як ступінь новизни, складності, формат креслень.

Перевагами стрічкового графіка є простота, наочність, можливість відображення змісту і багатьох організаційно-економічних характеристик робіт.

Загальний термін роботи 3 місяці, з 29 березня по 10 червня 2023 року з урахуванням вихідних днів. Кількість робочих календарних днів за цей період складає 50 (5-ти денний робочий тиждень).

На підставі даних таблиці 2.20 складемо календарний графік виконання робіт, що відображає тривалість кожного виду робіт у вигляді відрізків часу, які розташовуються відповідно до послідовності виконання робіт (рис. 2.20).

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		69

Таблиця 1 – Дані для створення стрічкового графіка

Стадія №	Назва стадії	Трудомісткість робіт (посада виконавців)	Тривалість, доба
1	Розробка та затвердження технічного завдання	Здобувач / доцент	0/1
2	Вивчення технічного завдання	Здобувач / доцент	1/0
3	Огляд і вивчення літератури	Здобувач / доцент	4/6
4	Розробка математичної моделі об'єкта	Здобувач / доцент	2/0
5	Вибір метод дослідження	Здобувач / доцент	0/1
6	Адаптація методів дослідження до практичного застосування	Здобувач / доцент	2/0
7	Теплові і конструктивні розрахунки елементів об'єкта	Здобувач / доцент	20/0
8	Розробка креслень і графічних моделей.	Здобувач / доцент	9/0
9	Розробка додаткової інформації згідно до завдання	Здобувач / доцент	4/
10	Попередня перевірка виконання роботи	Здобувач / доцент	0/4
11	Оформлення пояснювальної записки та матеріалу до презентації	Здобувач / доцент	5/2
12	Обговорення та затвердження результатів роботи	Здобувач / доцент	1/1
13	Підготовка матеріалів роботи до захисту	Здобувач/доцент	2/1
Разом:			50/10

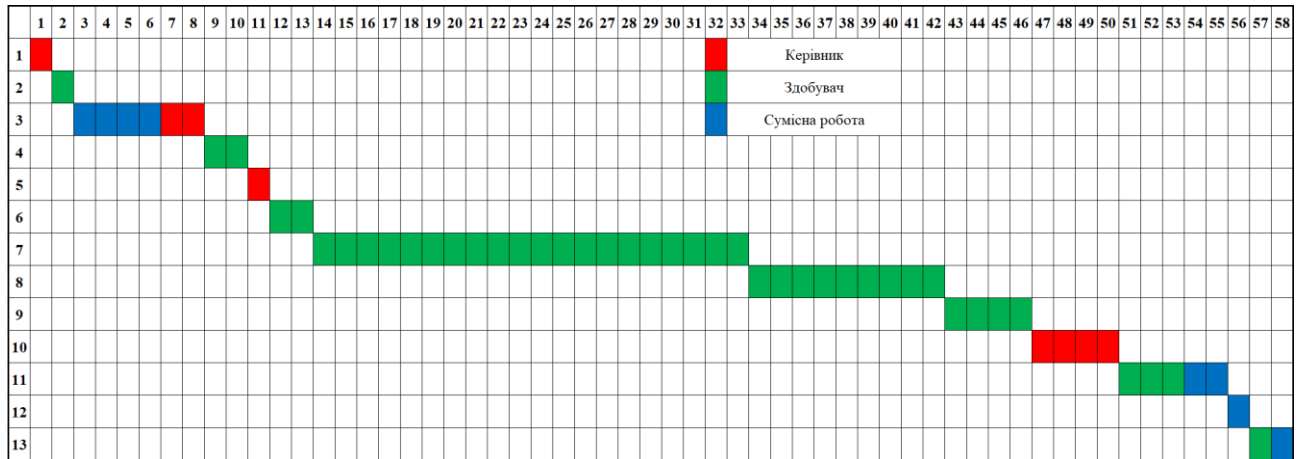


Рисунок 1– Стрічковий графік виконання роботи

### Розрахунок вартості досліджень і розробок

Кошторис витрат на кваліфікаційну роботу являє собою вартісну оцінку використовуваних у процесі виконання роботи матеріалів, енергії, основних фондів, трудових ресурсів, а також інших витрат на її створення та захист.

Витрати, що утворюють кошторис, групують відповідно до їх економічного змісту за такими елементами:

- матеріальні витрати;
- вартість робочої сили;
- амортизація основних засобів;
- інші витрати.

Матеріальні витрати

Таблиця 2 – Перелік матеріальних витрат

Назва	Одиниці	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
Канцелярські товари	шт.	5	100	500
USB флеш-пам'ять	шт.	1	350	350
Чорнило для лазерного принтера	шт.	1	350	250
Разом				1100

Витрати на електроенергію включають до статті матеріальних витрат

$$B_{el} = N \cdot c_{el} \cdot \tau_e \quad (1)$$

де,  $N$  – енергоспоживання обладнання кВт/год;  $c_{el}$  – вартість 1 кВт.год, гривень;  $\tau_e$  – час використання обладнання під час робіт, год.

Для роботи використовували персональний комп'ютер потужністю 350Вт і принтер потужністю 10Вт. У ПІВМ є час: 50 днів, 6 годин на добу, принтера - 6 хвилин.

Вартість 1кВт електроенергії становить – 1,68 грн/кВт.

Вартість електроенергії становить:

$$B_{el} = 0,35 \cdot 1,68 \cdot 50 \cdot 6 + 0,01 \cdot 1,68 \cdot 0,1 \cdot 50 = 184, \text{ грн.}$$

Загалом матеріальні витрати дорівнюють:

$$\sum B = B_m + B_{el} = 1100 + 184 = 1284 \text{ грн.} \quad (2)$$

Витрати на заробітну плату включають заробітну плату керівника (доцента), і стипендію здобувача.

Заробітна плата нараховується, виходячи із ставки розробника і часу, що витрачається на виконання роботи.

Доцент має ставку 10981 гривень, студент має ставку 2550 гривень.

Виходячи з витрат часу на розроблення (керівник - 10 днів, студент - 50 днів), зарплата дорівнює:

$$z_{кер} = \frac{10981}{22} \cdot 10 = 4991, \text{ грн} - \text{ зарплата керівника} \quad (3)$$

$$z_{ст} = \frac{2550}{22} \cdot 50 = 5795,45 \text{ грн} - \text{ зарплата студента} \quad (4)$$

Витрати на заробітну плату:

$$\sum z = z_{кер} + z_{ст} = 4991 + 5795,45 = 10786,45 \text{ грн.} \quad (5)$$

Додаткова зарплата становить 15% від основної суми:

$$z_{од} = \sum z \cdot 0,15 = 10786,45 \cdot 0,15 = 1617 \text{ грн.} \quad (6)$$

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		72

Фонд оплати праці:

$$\Phi_{zn} = Z_{ood} + \sum Z = 1617 + 10786,45 = 12404,4 \text{ грн.} \quad (7)$$

Загальні прямі витрати

$$\sum B_{np} = \Phi_{zn} + \sum B = 12404,41 + 1284 = 13688,41 \text{ грн.} \quad (8)$$

Таблиця 3 – Необхідні витрати

Назва витратних позицій	Сума, грн.	Відсоток
Матеріальні витрати, $\sum B$	1284	9,38
Витрати на заробітну плату, $\Phi_{zn}$	12404,4	90,6
Загальна вартість, $\sum B_{np}$	13688,41	100

Орієнтована вартість виконання бакалаврської роботи становить 13688гр

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У роботі проведено аналіз технічних рішень на підставі перевірочних розрахунків усіх компонентів холодильної системи танкера-хімовоза “SAN VIAGIO”.
2. Аналіз ізоляційної конструкції провізійних камер показав, що значення коефіцієнтів теплопередавання переобірок мають хорошу збіжність розрахункових та дійсних значень. Ізоляційна конструкція камер відповідає вимогам морського реєстру.
3. Аналіз термодинамічного циклу холодильної системи показав:
  - теоретична об'ємна продуктивність суднового поршневого компресора перевищує необхідну на 20%;
  - робоча речовина холодильної системи відповідає вимогам ІМО щодо скорочення викидів парникових газів у міжнародному судноплавстві;
  - ступінь термодинамічної досконалості циклу холодильної системи становить 29%.
4. Аналіз теплових та конструктивних характеристик теплообмінних апаратів відповідає характеристикам наведеним в інструкціях з експлуатації судна.
5. Розглянута холодильна система відповідає індексу EEXI щодо енергоефективності існуючих суден.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		74

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. IMO, Third IMO GHG study 2014. Executive summary and final report, MEPC 67/6/INF.3. 2014: International Maritime Organization, London.
2. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/GHG-Emissions.aspx> (accessed 15.05.23).
3. Julio Barreiro, Sonia Zaragoza, Vicente Diaz-Casas, Review of ship energy efficiency, Ocean Engineering, Volume 257, 2022, 111594, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.11159>
4. <https://www.imo.org/en/Ourwork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx> (accessed 5.05.23).
5. EC. European Union (EU) legislations to control fluorinated greenhouse gases (F-gases). 2017. Available: [https:// ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/legislation\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/legislation_en) (Accessed 5 July 2017).
6. Vessel Finder. SAN BIAGIO, Oil/Chemical Tanker, IMO 9753820, 2016. Available online: [https://www.vesselfinder.com/vessels/ SAN BIAGIO -IMO-9753820-MMSI-256837000](https://www.vesselfinder.com/vessels/SAN_BIAGIO_IMO-9753820-MMSI-256837000) (accessed 24.05.23).
7. Baldi, F., Modelling, Analysis and Optimization of Ship Energy Systems, Thesis, Department of Shipping and Marine Technology Chalmers University of Technology, 2016. ISSN 0346-718X
8. Theotokatos, G.; Sfakianakis, K.; Vassalos, D. Investigation of ship cooling system operation for improving energy efficiency. J. Mar. Sci. Technol. 2017, 22, 38–50. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version].
9. Valmer, R.(2011)Modern engineering thermo-dynamics. Elsevier Inc, 827
10. Апарати холодильних установок. В двох томах. Том1 [Текст]: / А.Ю. Лагутін— Одеса: ОДАХ, 2003. — 141с.
11. Холодильні установки [Текст]: підручник / І. Г. Чумак, В. П. Чепуренко, С. Ю. Лар`яновський, Е. Г. Парцхаладзе ; під заг. ред. І.Г. Чумака; Одес. держ. акад. холоду. — Одеса : Рефпринтінфо, 2003. — 536 с : іл.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		75

12. Теоретичні основи холодильної техніки [Електронний ресурс]: конспект лекцій. Ч. 2 / Л. І. Морозюк, В. В. Соколовська-Єфименко, Б. Г. Грудка, А. В. Мошкатюк; Одес. нац. акад. харч. технологій, Навч. -наук. ін-т холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського. — Одеса, 2021. — Електрон. текст. дані: 77 с. <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHNT.1647003>
13. Драганов Б.Х. та ін. Теплотехніка. Підручник. — 2-е вид. перероб. і доп. — Київ: Фірма «ІНКОС», 2005. — 400 с. — ISBN: 966-8347-12-9.
14. Вассерман, О. А. Технічна термодинаміка і теплообмін: підручник / О. А. Вассерман, О. Г. Слинько. - Одеса: Фенікс, 2019. - 496 с
15. Термодинамічні процеси та цикли в реальному газі [Текст] : навч. посіб. для ВНЗ / О. А. Вассерман, О. Г. Слинько ; [за ред. О. А. Вассермана] ; Одес. нац. мор. ун-т. - Одеса : Фенікс, 2015. - 193 с.: рис., табл. - Бібліогр: с. 191. - 300 прим. - ISBN 978-966-438-869-3.
16. Мілованов, В. І. Компресори об'ємного стиснення: підручник / В. І. Мілованов, Н. І. Водяницька, В. Д. Мельников. - Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2015. - 332 с. : табл., рис. - Бібліогр.: с. 324-325. - ISBN 966-8212-10-6.

					КРБ.КТ.1.490-03.2.12	лист
Змін.	лист	№ докум.	підпис	Дата		76