

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра холодильних установок і кондиціонування повітря



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему: Проект виробничого рибного холодильника для морського
порту у м. Херсон продуктивністю 52 т на зміну з енергоощадною
CO₂-системою

Здобувача

Чабан О.О

4 курсу

ЕН-141 групи

Керівник

д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

Консультанти:

д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від

28.05.2026 р.

протокол №

10

Завідувач кафедри ХУКП

Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса - 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського
Кафедра	Холодильних установок і кондиціонування повітря
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	142 Енергетичне машинобудування
Освітня програма	Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.

«16» березня 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Чабан Олександр Олександрович

1. Тема роботи Проект виробничого рибного холодильника для морського порту у м. Херсон продуктивністю 52 т на зміну з енергоощадною CO₂-системою

Затверджена наказом ОНТУ від 26.09.2025 р. наказ № 499-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 28.05.2026 р.

3. Вихідні дані роботи

Холодильник для зберігання розташований у м. Херсон. Виробнича потужність для заморожування становить 52 т на зміну. У першій камері з температурним режимом -29°C передбачається тривале зберігання мороженої риби. У другій та третій камері з температурним режимом -40°C передбачається швидке заморожування риби. У четвертій камері передбачається попереднє охолодження риби з температурним режимом -5°C. Каскадна холодильна система R290/R744.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Реферат, Вступ, Розділ 1. Теоретична частина, Розділ 2. Аналіз робочих тіл і схем холодильних систем,
Розділ 3. Розрахунок каскадної холодильної системи,
Розділ 4. Охорона праці,
Висновки, Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація в PowerPoint

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання видав
Охорона праці	д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.	18.05.2026	22.05.2026

7. Дата видачі завдання 16.03.2026 р.

Керівник _____ Хмельнюк М.Г.

Завдання прийняв до виконання _____ Чабан О.О

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат	20.05-21.05.2026	виконано
2	Вступ	16.03-30.03.2026	виконано
3	Теоретична частина	01.04-25.04.2026	виконано
4	Аналіз робочих тіл і схем холодильних систем	01.05-04.05.2026	виконано
5	Розрахунок каскадної холодильної системи	05.05-17.05.2026	виконано
6	Охорона праці	18.05-22.05.2026	виконано
7	Висновки	22.05-23.05.2026	виконано
8	Перелік використаних джерел	23.05-24.05.2026	виконано
9	Презентація в PowerPoint	25.05-27.05.2026	виконано

Здобувач-дипломник _____ Чабан О.О.

Керівник роботи _____ Хмельнюк М.Г.

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 доброчесності.

Здобувач-дипломник Чабан Олександр Олександрович

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі виконано проєкт виробничого рибного холодильника для морського порту м. Херсон продуктивністю 52 т на зміну із застосуванням енергоощадної каскадної холодильної установки на природних холодоагентах R290 та R744.

Проведено аналіз сучасних технологій холодильного оброблення та зберігання рибної продукції, розглянуто особливості функціонування рибних холодильників портового типу та сучасні тенденції розвитку промислових холодильних систем. Виконано порівняльний аналіз холодильних установок на холодоагентах R404A, R507A, R717 та R744 з точки зору енергоефективності, екологічної безпеки та перспектив подальшого використання.

На основі проведеного аналізу для проєктованого об'єкта обрано каскадну холодильну систему, в якій верхній каскад працює на пропані (R290), а нижній – на діоксиді вуглецю (R744). Така схема дозволяє забезпечити ефективну роботу холодильного обладнання при низькотемпературних режимах заморожування та зберігання рибної продукції, а також зменшити споживання електричної енергії порівняно з традиційними системами на синтетичних холодоагентах.

У роботі виконано технологічний розрахунок підприємства, визначено теплові навантаження холодильних камер і технологічного обладнання, розраховано параметри каскадної холодильної установки та здійснено підбір основного холодильного обладнання. Розроблено принципову схему холодопостачання виробничого рибного холодильника та обґрунтовано вибір її основних елементів.

Використання природних холодоагентів R290 та R744 забезпечує відповідність проєкту сучасним екологічним вимогам, мінімізує вплив на навколишнє середовище та сприяє підвищенню енергоефективності підприємства. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані під час проєктування нових та модернізації існуючих холодильних комплексів рибної промисловості.

Ключові слова: рибний холодильник, каскадна холодильна установка, діоксид вуглецю, R744, пропан, R290, холодильне зберігання риби, енергоефективність, природні холодоагенти, морський порт.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The qualification work presents the design of a fish cold storage facility for the seaport of Kherson with a processing capacity of 52 tons per shift, equipped with an energy-efficient cascade refrigeration system using natural refrigerants R290 and R744.

An analysis of modern technologies for refrigeration processing and storage of fish products was carried out. The operational features of port-type fish cold storage facilities and current trends in the development of industrial refrigeration systems were investigated. A comparative analysis of refrigeration systems operating with refrigerants R404A, R507A, R717, and R744 was performed in terms of energy efficiency, environmental safety, and prospects for future application.

Based on the conducted analysis, a cascade refrigeration system was selected for the designed facility. In the proposed system, the high-temperature stage operates with propane (R290), while the low-temperature stage uses carbon dioxide (R744). This configuration ensures efficient operation under low-temperature freezing and storage conditions required for fish products and contributes to reduced energy consumption compared to conventional systems using synthetic refrigerants.

The thesis includes a technological design calculation of the facility, determination of refrigeration loads for cold storage chambers and processing equipment, calculation of the cascade refrigeration system parameters, and selection of the main refrigeration equipment. A refrigeration supply scheme for the fish cold storage facility was developed and the selection of its principal components was substantiated.

The use of natural refrigerants R290 and R744 ensures compliance with modern environmental requirements, minimizes environmental impact, and improves the overall energy efficiency of the facility. The proposed engineering solutions can be applied in the design of new fish cold storage facilities as well as in the modernization of existing refrigeration complexes in the fish processing industry.

Keywords: fish cold storage, cascade refrigeration system, carbon dioxide, R744, propane, R290, fish refrigeration storage, energy efficiency, natural refrigerants, seaport.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

	Стр.
РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Технологія холодильного оброблення та зберігання риби	10
1.2 Сучасні технології холодильного зберігання риби та вимоги до температурних режимів.....	14
1.3 Конструктивні особливості та технологічні схеми рибних холодильників	17
1.4 Аналіз сучасних холодильних систем для рибних холодильників	20
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ РОБОЧИХ ТІЛ І СХЕМ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ.....	25
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ХОЛОДИЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	51
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	60
ВИСНОВКИ.....	74
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15				
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					
Розробив	Чабан О.О.				Проект виробничого рибного холодильника для морського порту у м. Херсон продуктивністю 52 т на зміну з енергоощадною CO ₂ -системою	Літера	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Хмельнюк М.Г.						6	78	
						ОНТУ гр. ЕН-141			
Н. Контр.	Хмельнюк М.Г.								

ВСТУП

Рибна галузь є важливою складовою продовольчого комплексу України, забезпечуючи населення високоякісними білковими продуктами харчування. Особливе значення для збереження якості рибної продукції має холодильне забезпечення на всіх етапах логістичного ланцюга – від вилову та первинної обробки до зберігання, транспортування і реалізації готової продукції. Для морських портів холодильні комплекси є невід'ємною частиною інфраструктури, оскільки дозволяють мінімізувати втрати продукції, підтримувати її належний санітарно-гігієнічний стан та забезпечувати безперервність технологічних процесів.

У сучасних умовах одним із пріоритетних напрямів розвитку холодильних технологій є підвищення енергоефективності та екологічної безпеки холодильних систем. Традиційні синтетичні холодоагенти, які широко використовувалися протягом багатьох років, поступово втрачають актуальність через їх негативний вплив на навколишнє середовище та посилення міжнародних вимог щодо скорочення викидів парникових газів. У зв'язку з цим особливої уваги набуває використання природних холодоагентів, серед яких одним із найбільш перспективних є діоксид вуглецю (CO₂, R744).

Холодильні системи на базі CO₂ характеризуються нульовим потенціалом руйнування озонового шару та надзвичайно низьким потенціалом глобального потепління. Крім того, вони забезпечують високу питому холодопродуктивність, компактність обладнання та можливість ефективного використання сучасних енергозберігаючих технологій, зокрема паралельної компресії, рекуперації теплоти, еджекторних схем і оптимізованого керування режимами роботи. Завдяки цим перевагам CO₂-системи дедалі ширше впроваджуються у промислових холодильниках, логістичних центрах та підприємствах харчової промисловості.

Місто Херсон традиційно є важливим транспортним і промисловим центром півдня України, розташованим на перетині річкових та морських

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

транспортних шляхів. Розвиток портової інфраструктури потребує створення сучасних холодильних комплексів, здатних забезпечувати надійне зберігання рибної продукції з мінімальними енергетичними витратами. У зв'язку з цим проєктування виробничого рибного холодильника для морського порту із застосуванням енергоощадної CO₂-холодильної системи є актуальним інженерним завданням, спрямованим на підвищення ефективності функціонування підприємства та зменшення його впливу на довкілля.

Метою роботи є проєктування виробничого рибного холодильника для морського порту у місті Херсон продуктивністю 52 т на зміну із застосуванням енергоощадної холодильної системи на діоксиді вуглецю (R744), що забезпечує необхідні технологічні параметри зберігання та обробки рибної продукції при мінімальних витратах енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних технологій холодильного зберігання рибної продукції;
- виконати огляд існуючих схем холодильних установок на природних холодоагентах;
- обґрунтувати вибір технологічної схеми виробничого рибного холодильника;
- визначити продуктивність та основні технологічні параметри підприємства;
- розрахувати теплопритоки до холодильних камер і технологічних приміщень;
- виконати тепловий та конструктивний розрахунок холодильної установки;
- розробити енергоощадну CO₂-холодильну систему та визначити її основні параметри;
- здійснити підбір основного холодильного обладнання;
- провести аналіз енергоефективності запропонованого технічного рішення;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– розглянути питання охорони праці, екологічної безпеки та економічної доцільності проєкту.

Об'єктом дослідження є виробничий рибний холодильник морського порту продуктивністю 52 т на зміну.

Предметом дослідження є процеси виробництва холоду, заморожування та холодильного зберігання рибної продукції із застосуванням енергоощадної CO₂-холодильної системи.

Практичне значення роботи полягає у розробленні сучасного проєкту виробничого рибного холодильника, який забезпечує ефективне зберігання рибної продукції, зниження експлуатаційних витрат, скорочення споживання електроенергії та підвищення екологічної безпеки підприємства за рахунок використання природного холодоагенту R744. Отримані результати можуть бути використані під час проєктування нових або модернізації існуючих холодильних комплексів рибопереробної галузі та портової інфраструктури України.

Особливої актуальності дослідження набуває в умовах сучасних тенденцій розвитку світової холодильної техніки, спрямованих на декарбонізацію промисловості, підвищення енергоефективності та поступову відмову від синтетичних холодоагентів із високим потенціалом глобального потепління. Використання природного холодоагенту R744 відповідає положенням міжнародних екологічних угод та європейським вимогам щодо скорочення викидів парникових газів. Запропоновані у роботі технічні рішення сприятимуть зниженню енергоспоживання холодильного комплексу, підвищенню його експлуатаційної надійності та конкурентоспроможності, а також забезпечать перспективність впровадження таких систем на підприємствах харчової промисловості та портової логістики України.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 ТЕХНОЛОГІЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ РИБИ

Риба належить до швидкопсувних харчових продуктів, що обумовлено високим вмістом води, наявністю ферментів та інтенсивним розвитком мікроорганізмів після вилову. За звичайних температурних умов процеси автолізу та бактеріального псування відбуваються дуже швидко, що призводить до погіршення органолептичних показників продукції, втрати харчової цінності та зменшення терміну її придатності. Тому застосування холодильних технологій є основним способом забезпечення тривалого зберігання риби та рибної продукції.

Холодильне оброблення риби включає комплекс технологічних операцій, спрямованих на зниження температури продукту до рівня, який забезпечує уповільнення біохімічних та мікробіологічних процесів. Залежно від призначення продукції застосовують охолодження, підморожування, заморожування та низькотемпературне зберігання.

Охолодження риби

Охолодженою вважається риба, температура якої у товщі м'язової тканини становить від мінус 1 до плюс 5 °С. Найчастіше температура продукту підтримується на рівні від 0 до +2 °С. При таких умовах інтенсивність розвитку мікроорганізмів значно знижується, проте не припиняється повністю.

Для охолодження використовують лускатий лід, льодяну воду, охолоджене морське середовище або повітря. Найбільш поширеним способом є пересипання риби подрібненим льодом у співвідношенні від 20 до 50 % маси продукту залежно від тривалості транспортування та температури навколишнього середовища.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Термін зберігання охолодженої риби, залежно від виду, становить від 5 до 15 діб. При цьому необхідно підтримувати відносну вологість повітря у камерах на рівні 90–95 %, що запобігає усушці продукції та втраті її товарного вигляду.

Підморожування риби

Підморожування є проміжною стадією між охолодженням та заморожуванням. Температура продукту підтримується у межах від -2 до -3 °С, коли частина вологи переходить у твердий стан, але основна маса тканин залишається незамерзлою.

Такий спосіб дозволяє збільшити термін зберігання у 2–3 рази порівняно з охолодженою продукцією та зменшити втрати маси при подальшому транспортуванні. Підморожена риба широко використовується для короткочасного зберігання та експорту свіжої продукції.

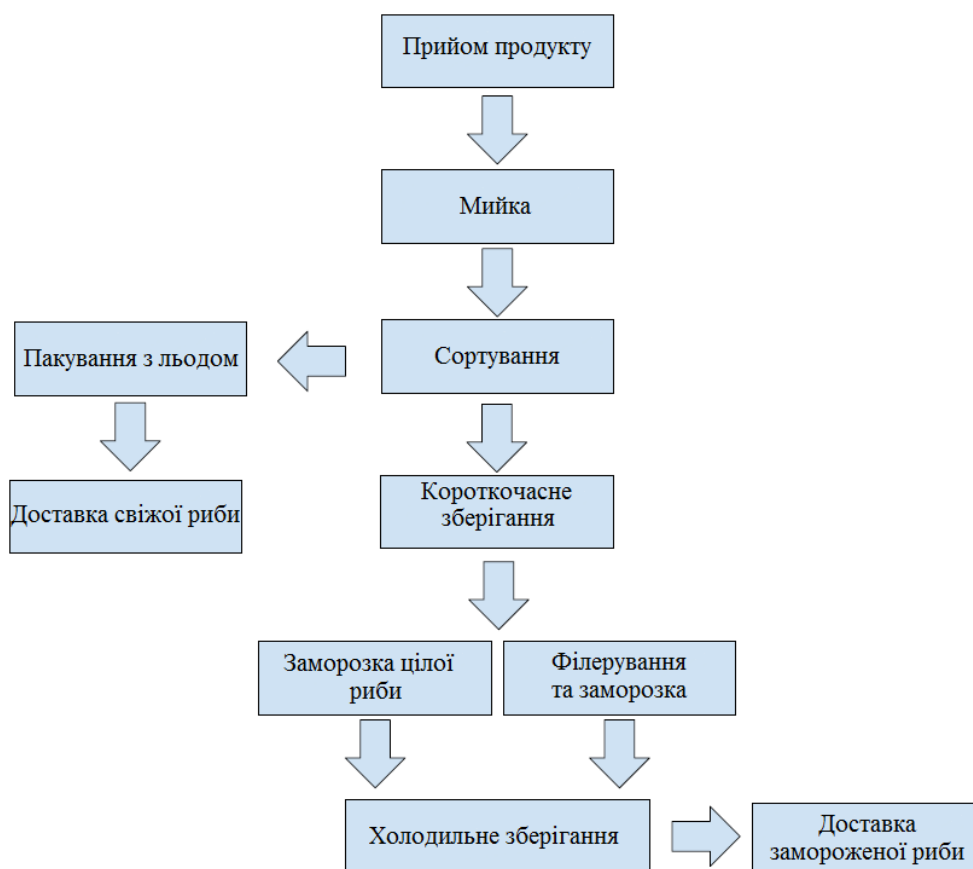


Рисунок 1.1. Процеси холодильної обробки типового рибного підприємства

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Заморожування риби

Заморожування є найбільш ефективним способом консервування риби. Під час цього процесу температура продукту знижується до значень, за яких переважна частина води переходить у кристалічний стан. Для промислового зберігання рибу заморожують до температури в центрі продукту не вище -18°C .

Основною метою заморожування є максимальне уповільнення біохімічних процесів і практично повне припинення розвитку мікроорганізмів. Якість замороженої риби значною мірою залежить від швидкості проходження зони кристалізації, яка знаходиться у діапазоні температур від -1 до -5°C .

При повільному заморожуванні утворюються великі кристали льоду, що руйнують структуру клітин. У результаті після розморожування спостерігаються значні втрати клітинного соку та погіршення консистенції продукту. Швидке заморожування сприяє утворенню дрібних рівномірно розподілених кристалів, що забезпечує краще збереження структури тканин.

У сучасній промисловості застосовуються такі способи заморожування:

- повітряне заморожування;
- плиткове заморожування;
- тунельне заморожування;
- флюїдизаційне заморожування;
- кріогенне заморожування.

Для великих обсягів рибної продукції найчастіше використовуються повітряні морозильні камери та тунелі швидкого заморожування з температурою повітря від -30 до -40°C .

Зберігання замороженої риби

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення процесу заморожування продукція надходить до низькотемпературних камер зберігання. Для більшості видів мороженої риби нормативною є температура зберігання від -18 до -25 °С.

Тривалість зберігання залежить від температури, жирності риби та способу її підготовки. Для нежирних видів риби термін зберігання може становити від 8 до 12 місяців, тоді як для жирних видів через процеси окиснення жирів цей показник зазвичай не перевищує 4–8 місяців.

У камерах необхідно підтримувати відносну вологість повітря на рівні 90–95 %. Недотримання цього показника призводить до усушки поверхні продукту та утворення дефекту, відомого як морозний опік.

Для зменшення втрат маси широко застосовується глазурування риби тонким шаром льоду товщиною 1–3 мм, який створює захисний бар'єр від зневоднення та окиснення.

Особливості холодильників для рибної продукції

Рибні холодильники є спеціалізованими підприємствами, що поєднують функції приймання, сортування, охолодження, заморожування та зберігання продукції. До складу таких об'єктів входять:

- приймальні майданчики;
- сортувальні та обробні цехи;
- камери охолодження;
- морозильні апарати;
- низькотемпературні камери зберігання;
- експедиційні приміщення;
- машинне відділення холодильної установки.

Для портових холодильників характерна нерівномірність надходження сировини, пов'язана з сезонністю вилову та графіком роботи риболовецького флоту. Тому проектування холодильних потужностей виконується з урахуванням пікових навантажень та необхідності створення резервних запасів продукції.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні рибні холодильники дедалі частіше оснащуються автоматизованими системами керування, енергоефективними компресорними агрегатами та холодильними установками на природних холодоагентах. Особливий інтерес становлять системи на діоксиді вуглецю (R744), які поєднують високу холодопродуктивність, екологічну безпеку та можливість реалізації енергозберігаючих схем холодопостачання.

1.2 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДИЛЬНОГО ЗБЕРІГАННЯ РИБИ ТА ВИМОГИ ДО ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ

Якість рибної продукції значною мірою залежить від дотримання температурного режиму на всіх етапах виробничо-логістичного ланцюга. Після вилову риба піддається первинному охолодженню або заморожуванню, після чого надходить на холодильне зберігання, транспортування та реалізацію. Будь-яке порушення температурного режиму призводить до інтенсифікації біохімічних процесів, розвитку мікроорганізмів та скорочення терміну придатності продукції.

Сучасна технологія холодильного зберігання риби базується на принципі безперервного холодового ланцюга, який забезпечує підтримання необхідної температури продукту від моменту вилову до кінцевого споживача.

Основними етапами холодового ланцюга є:

- приймання риби в порту;
- сортування та первинна обробка;
- охолодження або заморожування;
- холодильне зберігання;
- формування транспортних партій;
- транспортування до споживача.

Для кожного виду продукції встановлюються рекомендовані температури зберігання.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Рекомендовані температури зберігання рибної продукції

Вид продукції	Температура зберігання, °С	Відносна вологість, %	Орієнтовний термін зберігання
Охолоджена риба	0...+2	90–95	5–15 діб
Підморожена риба	-2...-3	90–95	20–30 діб
Заморожена риба	-18	90–95	4–8 місяців
Заморожена нежирна риба	-25	90–95	8–12 місяців
Заморожена жирна риба	-25	90–95	4–8 місяців
Філе риби	-18...-25	90–95	6–10 місяців

Особливу увагу необхідно приділяти швидкості заморожування. Чим швидше продукт проходить зону максимального льодоутворення, тим менше пошкоджується структура тканин.

У сучасній практиці застосовуються різні технології заморожування риби, які відрізняються швидкістю теплообміну, енерговитратами та сферою використання.

Для виробничих рибних холодильників морських портів найбільш поширеними є тунельні та плиткові морозильні апарати, які забезпечують високу продуктивність та можливість безперервної роботи.

Під час холодильного зберігання основними причинами втрати якості продукції є:

- усушка поверхні продукту;
- окиснення жирів;
- рекристалізація льоду;
- коливання температури;
- порушення герметичності упаковки.

Для зменшення втрат застосовуються спеціальні технологічні заходи, наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика способів заморожування риби

Спосіб заморожування	Температура середовища, °С	Тривалість процесу	Основні переваги
Камерне повітряне	-25...-35	10–24 год	Простота та невисока вартість
Тунельне	-30...-40	2–8 год	Висока продуктивність
Плиткове	-35...-45	2–6 год	Висока якість блокової продукції
Флюїдизаційне	-35...-40	10–30 хв	Висока швидкість заморожування
Кріогенне	до -80	5–20 хв	Мінімальні втрати якості

Таблиця 1.3 – Заходи щодо збереження якості мороженої риби

Негативний фактор	Наслідки	Спосіб усунення
Усушка	Втрата маси	Підтримання вологості 90–95 %
Морозний опік	Погіршення зовнішнього вигляду	Глазурування
Окиснення жирів	Погіршення смаку	Герметична упаковка
Коливання температури	Рекристалізація льоду	Автоматичне регулювання режимів
Тривале зберігання	Зниження якості	Оптимізація логістики

Для рибного холодильника морського порту особливого значення набуває забезпечення безперервного технологічного процесу. Риба після приймання повинна максимально швидко надходити на обробку та заморожування. Тому холодильний комплекс зазвичай включає приймальне відділення, виробничі приміщення, морозильні апарати, камери зберігання готової продукції та експедицію.

З урахуванням сучасних вимог до енергоефективності дедалі більшого поширення набувають холодильні системи на природних холодоагентах. Для низькотемпературних рибних холодильників особливо перспективним є застосування діоксиду вуглецю (R744), який забезпечує високі показники теплообміну та дозволяє реалізовувати енергоощадні схеми холодопостачання.

1.3 КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ РИБНИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ

Рибні холодильники є спеціалізованими підприємствами холодильної промисловості, призначеними для приймання, первинної обробки, заморожування та тривалого зберігання рибної продукції. На відміну від універсальних холодильних складів, вони мають розвинуту виробничу частину та значні морозильні потужності, що забезпечують швидке оброблення продукції безпосередньо після її надходження.

Особливістю рибних холодильників морських портів є нерівномірність надходження сировини, що обумовлена сезонністю вилову, погодними умовами та графіками роботи риболовецьких суден. У зв'язку з цим холодильний комплекс повинен забезпечувати можливість приймання великих партій риби протягом короткого проміжку часу та створення необхідних запасів замороженої продукції.

Основними функціями рибного холодильника є:

- приймання риби з транспортних засобів або суден;
- сортування та контроль якості продукції;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- первинна обробка;
- заморожування продукції;
- холодильне зберігання;
- комплектування замовлень;
- відвантаження готової продукції споживачам.

Технологічна схема роботи рибного холодильника

Технологічний процес роботи рибного холодильника повинен забезпечувати безперервний рух продукції з мінімальним часом перебування у зонах з позитивною температурою.

Типова схема руху продукції наведена у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Основні стадії технологічного процесу

Етап	Виконувані операції	Температура, °С
Приймання риби	Розвантаження, зважування, контроль якості	0...+5
Первинна обробка	Сортування, миття, патрання	+8...+12
Передохолодження	Зниження температури продукту	0...+2
Заморожування	Інтенсивне відведення теплоти	-30...-40
Зберігання	Тривале зберігання продукції	-25
Експедиція	Формування транспортних партій	-18...-12

Сучасні холодильники будуються за принципом прямоочності технологічних потоків. Це дозволяє уникнути перетину потоків сировини та готової продукції, підвищити санітарну безпеку виробництва та зменшити експлуатаційні витрати.

Склад основних приміщень холодильника

Склад приміщень визначається продуктивністю підприємства та характером технологічних процесів.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Для виробничого рибного холодильника продуктивністю 52 т на зміну доцільно передбачити наступні функціональні групи приміщень.

Таблиця 1.5 – Основні приміщення рибного холодильника

Група приміщень	Призначення
Приймальне відділення	Розвантаження та приймання продукції
Сортувальний цех	Контроль якості та сортування
Виробничі приміщення	Оброблення риби
Камери охолодження	Тимчасове зберігання охолодженої продукції
Морозильне відділення	Заморожування продукції
Камери зберігання	Довготривале зберігання
Експедиція	Відвантаження продукції
Допоміжні приміщення	Побутові та технічні потреби
Машинне відділення	Розміщення холодильного обладнання

Планувальні рішення повинні забезпечувати мінімальну довжину транспортних шляхів та раціональне розташування приміщень відповідно до технологічного процесу.

Камери холодильного зберігання

Основним елементом рибного холодильника є низькотемпературні камери зберігання. Їх конструкція повинна забезпечувати:

- мінімальні теплопритоки;
- рівномірний розподіл температури;
- підтримання необхідної вологості повітря;
- зручність виконання вантажно-розвантажувальних робіт;
- можливість механізації складських операцій.

Для мороженої риби температура зберігання зазвичай приймається від -22 до -25°C. Такий режим дозволяє мінімізувати втрати якості продукції та збільшити термін її зберігання.

Відносна вологість повітря повинна підтримуватись на рівні 90–95 %, що забезпечує зменшення усушки продукції.

Особливості холодильників портового типу

Портові холодильники мають ряд особливостей порівняно зі звичайними холодильними складами:

- значні добові коливання навантаження;
- необхідність швидкого заморожування великих партій продукції;
- високу частку низькотемпературних камер;
- підвищені вимоги до надійності холодильного обладнання;
- цілорічний режим експлуатації.

Для забезпечення ефективної роботи таких об'єктів необхідно застосовувати сучасні енергоощадні холодильні системи, здатні працювати при низьких температурах кипіння та високих холодильних навантаженнях.

Традиційно для рибних холодильників використовувалися установки на холодоагентах R404A, R507A та аміаку (R717). Проте сучасні вимоги щодо підвищення енергоефективності та скорочення викидів парникових газів обумовлюють перехід до систем на природних холодоагентах, зокрема діоксиді вуглецю (R744). Завдяки високим теплофізичним характеристикам CO₂ забезпечує ефективну роботу низькотемпературних холодильних систем та створює передумови для впровадження сучасних схем з еджекторами, паралельною компресією та рекуперацією теплоти.

1.4 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ РИБНИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із найважливіших етапів проектування промислових холодильників є вибір холодоагенту та схеми холодопостачання. Від прийнятого технічного рішення залежать енергетична ефективність, надійність роботи обладнання, екологічна безпека підприємства та експлуатаційні витрати протягом усього терміну служби установки.

У холодильниках для зберігання рибної продукції традиційно використовувалися установки на синтетичних холодоагентах R404A та R507A, а також аміачні холодильні системи на R717. Проте останніми роками все більшого поширення набувають установки на природному холодоагенті R744 (діоксид вуглецю), що пов'язано із посиленням міжнародних екологічних вимог та необхідністю підвищення енергоефективності холодильного обладнання.

Холодильні системи на R404A

Протягом багатьох років холодоагент R404A був одним із найбільш поширених робочих тіл у промислових та комерційних холодильних системах. Його популярність пояснювалася хорошими термодинамічними характеристиками, низькою токсичністю та простотою експлуатації.

Разом із тим R404A має надзвичайно високий потенціал глобального потепління, що значно перевищує сучасні екологічні вимоги. Крім того, при низькотемпературних режимах роботи холодильні установки на R404A характеризуються підвищеним споживанням електроенергії.

У зв'язку з реалізацією міжнародної політики скорочення використання фторованих газів застосування R404A поступово обмежується, а його використання в нових холодильних установках практично припиняється.

Холодильні системи на R507A

Холодоагент R507A був створений як альтернатива R404A та широко застосовувався у низькотемпературних холодильних установках.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевагами R507A є:

- стабільність складу;
- хороші теплофізичні характеристики;
- відсутність температурного ковзання;
- можливість роботи при низьких температурах кипіння.

Водночас потенціал глобального потепління R507A також залишається дуже високим. Це обмежує перспективи його використання в майбутньому та стимулює пошук альтернативних холодоагентів.

Аміачні холодильні системи (R717)

Аміак є одним із найстаріших промислових холодоагентів, який широко застосовується у великих холодильних комплексах, складах та підприємствах харчової промисловості.

Основними перевагами аміаку є:

- високий холодильний коефіцієнт;
- низька вартість;
- нульовий потенціал руйнування озонового шару;
- практично нульовий вплив на глобальне потепління.

Завдяки високій енергоефективності аміачні системи тривалий час залишаються еталоном для промислового холодопостачання.

Однак аміак має ряд суттєвих недоліків:

- токсичність;
- горючість;
- підвищені вимоги до безпеки;
- складність розміщення обладнання у густонаселених районах;
- необхідність спеціальної підготовки обслуговуючого персоналу.

Для портових холодильників великої місткості аміачні установки продовжують використовуватися, проте вимоги до безпеки значно ускладнюють їх експлуатацію.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Холодильні системи на CO₂ (R744)

Діоксид вуглецю є природним холодоагентом, який останніми роками розглядається як один із найперспективніших варіантів для низькотемпературного холодопостачання.

CO₂ характеризується:

- нульовим озоноруйнівним потенціалом;
- мінімальним потенціалом глобального потепління;
- високою об'ємною холодопродуктивністю;
- хорошими теплообмінними властивостями;
- негорючістю;
- відсутністю токсичності у робочих концентраціях.

Висока густина пари та значна інтенсивність теплообміну дозволяють зменшити діаметри трубопроводів, скоротити заправку системи та знизити капітальні витрати на окремі елементи обладнання.

Особливо ефективними CO₂-системи є для низькотемпературних режимів роботи, характерних для рибних холодильників з температурами кипіння від -35 до -45 °C.

Розвиток технологій паралельної компресії, механічного переохолодження та еджекторних систем дозволив значно підвищити енергетичну ефективність транскритичних CO₂-установок навіть у регіонах із високими температурами навколишнього середовища.

Переваги застосування CO₂ для рибного холодильника

Для виробничого рибного холодильника продуктивністю 52 т на зміну використання CO₂-системи дозволяє отримати низку переваг:

- зниження впливу на навколишнє середовище;
- високу енергоефективність при низькотемпературних режимах;
- можливість використання еджекторних технологій;
- компактність обладнання;
- зменшення витрат холодоагенту;
- високий рівень автоматизації системи;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- відповідність сучасним міжнародним екологічним вимогам.

Таким чином, проведений аналіз показує, що для проєктованого рибного холодильника морського порту доцільним є застосування енергоощадної холодильної системи на діоксиді вуглецю (R744). Використання сучасних схем із паралельною компресією та еджектором дозволяє забезпечити високі показники енергоефективності та надійності роботи підприємства.

Порівняння сучасних холодоагентів

Основні характеристики холодоагентів наведені у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Порівняння холодоагентів для рибних холодильників

Показник	R404A	R507A	R717	R744
Тип	HFC	HFC	Природний	Природний
ODP	0	0	0	0
GWP	3922	3985	0	1
Горючість	Ні	Ні	Так	Ні
Токсичність	Низька	Низька	Висока	Низька
Робочий тиск	Низький	Низький	Середній	Високий
Енергоефективність НТ режимів	Середня	Середня	Висока	Висока
Перспективність застосування	Низька	Низька	Висока	Дуже висока

Як видно з таблиці 1.6, найбільш перспективними рішеннями для нових промислових холодильників є системи на природних холодоагентах R717 та R744.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ РОБОЧИХ ТІЛ І СХЕМ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ

2.1. Загальні положення.

Прийняті міжнародними комітетами заходи, по запобіганню руйнування шару стратосферного озону, а також виникнення парникового ефекту в атмосфері із-за викидів агентів привели, починаючи з початку 90-х років, до радикальних змін в технологіях кондиціювання повітря і штучного охолодження.

До недавнього часу в цих системах використовувалися в основному озоноруйнуючі холодильні агенти, а саме R12, R22 і R502; для особливих цілей застосовувалися R114, R12B1, R13B1, R13и R503.

Промислово розвинені країни віднині не дозволяють використовувати ці холодильні агенти, окрім R22, у країнах Європейського Союзу, проте, в теперішній час вже діє поетапна програма відмови також і від R22.

Таке положення справ призводить до колосальних наслідків для всієї галузі штучного охолодження і кондиціювання повітря.

Хоча вже міцно увійшли до практики такі холодильні агенти на основі гідрофторвуглеродів (ГФУ - HFC), які немістять хлору, як R134a, R404A, R507A, R407C, R410A, а також NH₃ і різні вуглеводневі, все ще потрібно зробити немало, особливо у відношенні дії на глобальне потепління. Метою є істотне зменшення прямих викидів, що визвані витоками холодильних агентів, за рахунок використання високоефективних установок, змонтованих з надійних компонентів з високою якістю з'єднань трубопроводів.

У зв'язку з цим виконано велике число розробок; вже доступний щонайширший діапазон компресорів і устаткування для різних альтернативних холодильних агентів.

Результати декількох досліджень підтверджують, що зазвичай застосування в промислових цілях паро-компресійних холодильних установок, значно перевершують по ефективності установки, принцип дії яких заснований на інших процесах, при температурах кипіння біля -40°C.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сьогодні особливе значення має вибір альтернативних холодильних агентів і конструкцій системи охолодження. Окрім вимоги відсутності озono-руйнуючого потенціалу ($ODP=0$) і потенціалу дії на глобальне потепління ($GWP=0$) суттєвим критерієм вибору є величина енергоспоживання систем охолодження, як непрямого вкладу в створення парникового ефекту.

Тому був розроблений метод розрахунку систем охолодження, що дозволяє проаналізувати їх сумарну дію на парниковий ефект.

У зв'язку з цим введений так називаємий чинник "TEWI" (Total Equivalent Warming Impact - сумарна еквівалентна дія на потепління), хоча результат визначається головним чином викидами CO_2 в залежності від використовуваного способу приводу або вироблення енергії. Тому, можливо в майбутньому оцінка дії холодильних агентів на навколишнє середовище буде різною в залежності від місця розташування установки і способу її приводу.

Детальніший розгляд ГФУ холодильних агентів - замінників (HFC) показує, проте, що можливості повністю порівняння однокомпонентних холодильних агентів обмежені. Відносно сприятлива ситуація із заміною R12 на R134a, так само як і R502, на альтернативні R404A і R507A. Гірше йде справа із замінниками для інших хлоровмісних CFC, а також HCFC-холодильних агентів, наприклад, для R22.

Холодильні агенти R32, R15 і R134a розглядаємо як прямі ГФУ - холодильні агенти - замінники (HFC). Проте із-за їх специфічних характеристик вони можуть застосовуватися в чистому вигляді лише у виняткових випадках. В цьому відношенні найбільш важливими критеріями є займистість, термодинамічні властивості і потенціал впливу на глобальне потепління. Ці речовини більш придатні як компоненти сумішей, в яких окремі характеристики шляхом варіювання пропорцій суміші можуть бути приведені у відповідність вимогам.

Окрім ГФУ – холодильних агентів, як замінники розглядаються також аміак (NH_3) і вуглеводневі. Їх промислове використання, проте, обмежується

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

жорсткими вимогами безпеки.

Ілюстрації на наступних сторінках містять структурний огляд альтернативних холодильних агентів, а також інформацію про доступні в даний час однокомпонентні або сумішеві холодильні агенти.

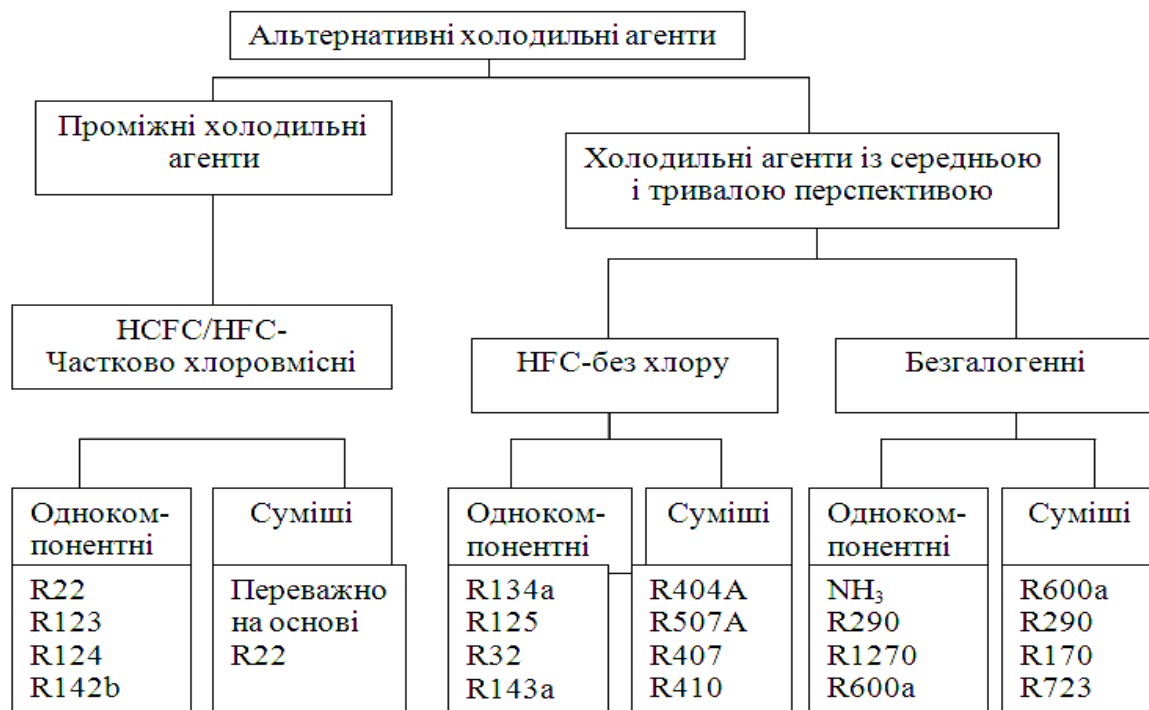


Рис.2.1 Альтернативні холодильні агенти

Попередні холодильні агенти	Альтернативи			
	Класифікація	Промислова назва	Фірми	Склад в сумішах
R12(R500)	R401A R401B R409A R409B R413A	MP39 MP66 FX56 FX57 ISCEON 49	DuPont DuPont Atofina/Solvay Atofina Rhodia	R22/152a/124 R22/152a/124 R22/124/142b R22/124/142b R134a/218/600a
R502	R22 R402A R402B R403A R403B R408A	- HP80 HP81 ISCEON 69S ISCEON 69L FZ10	- DuPont DuPont Rhodia Rhodia Atofina	- R22/125/290 R22/125/290 R22/218/290 R22/218/290 R22/143a/125
R114 R12B1	R124 R124	-	-	-

Рис.2.2 Альтернативи для CFC холодильних агентів (проміжні (перехідні) холодильні агенти)

Глобальне потепління як чинник TEWI.

Як вже згадувалося у вступі була розроблена методика оцінки дії окремих холодильних установок на ефект глобального потепління (TEWI = Total Equivalent Warming Impact - сумарна еквівалентна дія на потепління).

Всі галогеновуглеводневі холодильні агенти, включаючи гідрофторвуглероди (HFC), що не містять хлору відносяться до категорії парникових газів. Викиди цих речовин вносять вклад у глобальний парниковий ефект. Міра їх дії значно більше в порівнянні з CO₂, що є, парниковим газом в атмосфері. Наприклад, якщо узяти тимчасовий інтервал в 100 років, викид 1 кг R134a приблизно еквівалентний викиду 1300 кг CO₂ (GWP100 = 1300). Вже з цих фактів ясно, що зменшення викидів холодильних агентів має бути одному з основних завдань в майбутньому.

З іншого боку, основний вклад в дію, зі сторони холодильних установок на глобальне потепління, вносять викиди (косвенні) CO₂ при виробленні енергії. З врахуванням високого відсотка використання викопного палива на електростанціях, середня величина викида CO₂ в Європі складає близько 0,6 кг на один кіловат електроенергії. В результаті установка за час її служби вносить істотний вклад до парникового ефекту.

Окрім вимоги використання альтернативних холодильних агентів з термодинамічно-сприятливим енергоспоживанням, необхідно також зробити акцент на необхідність використання високоефективних компресорів і супутнього устаткування, а також оптимізованих компонентів систем зважаючи на їх значиму долю в загальному балансі.

Порівнюючи різні конструкції компресорів, можна бачити, що непрямі викиди CO₂ унаслідок підвищеного енергоспоживання можуть надавати більшу сумарну дію на парниковий ефект, чим викиди холодильних агентів.

На рис. 2.3 показана зазвичай застосовувана формула розрахунку чинника TEWI з відповідним виділенням різних напрямів дії на глобальне потепління.

У всьому світі додаються зусилля для зменшення викиду парникових га-

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зов, і вже частково розроблені офіційні нормативи. В даний час для території Євросоюзу розробляється "Положення про гази", що містять фтор, яке набуло чинності, для держав-членів Євросоюзу в 2006 році.

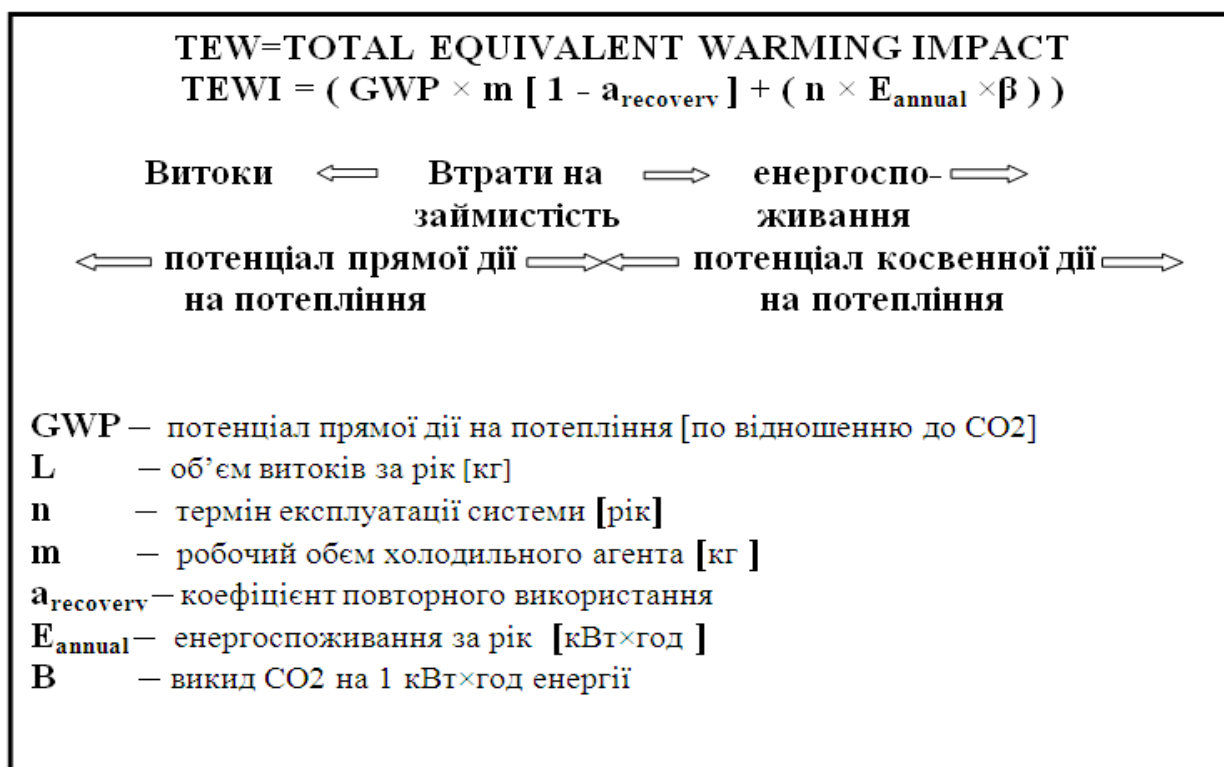


Рис.2.3 Методика розрахунку TEWI

Таблиця 2.1 Характеристики холодильних агентів

Тип холодиль- ного агенту	Температу ра кипіння °C	Критична температу ра °C	Темпера тура конденс ації при 26 бар, °C	Холодопродукт ивність, %	COP, %	Температу ра нагнітання , °C
1	2	3	4	5	6	7
Холодильні агенти HCFC						
R22	-41	96	63	80(L)	88(4)	+35(4)
R124	-11	122	105	80(L)	88(4)	+35(4)
R142b	-10	137	110	-	-	-
Проміжні суміші HFCE/HFC (перехідні альтернативи)						
R401A	-33	108	80	107(M)	100	+13
R401B	-35	106	77	108(L)	98	+18
R409A	-34	107	75	109(M)	99	+7

Продовження таблиці 2.1

Суміші що не містять хлору HFC (тривала альтернатива)						
R404A	-47	73	55	99(L)	98	-9
R507A	-47	71	54	102(L)	98	-10
R407A	-46	83	56	78(L)	96	+11
R407B	-48	76	53	93(L)	98	-2
R422A	-49	72	56	-	-	-
R407C	-44	87	58	100(H)	95	-8
R417A	-43	90	68	97(H)	-	-25
R419A	-43	79	64	-	-	-
ISCEON29	-45	81	62	-	-	-
R410A	-51	72	43	142	95	-6
FX80	-51	70	44	-	-	-
ISCEON89	-55	70	50	-	-	-
R508A	-86	13	-3	-	-	-
1	2	3	4	5	6	7
R508B	-88	14	-3	-	-	-

Без галоїдні холодильні агенти (тривала альтернатива)						
R717	-33	133	60	100(M)	105	+60
R723	-37	131	58	105(M)	106	+35
R600a	-12	135	114	-	-	-
R290	-42	97	70	89(M)	102	-25
R1270	-48	92	61	112(M)	101	-20
R170	-89	32	3	-	-	-
R744	-57	31	-11	-	-	-

R409B	-35	105	73	100(M)	100	+6
R413A	-35	101	76	105(M)	100	-9
R402A	-49	75	53	109(L)	100	-0
R402B	-47	83	56	99(L)	98	+16
R403A	-50	93	57	105(L)	99	+17
R403B	-51	90	54	112(L)	100	-0
R408A	-44	83	58	98(L)	100	+10
Холодильні агенти без хлору HFC (тривала альтернатива)						
R134a	-26	101	80	97(M)	103	-8
R152a	-24	113	85	-	-	-
R125	-48	66	51	-	-	-
R143a	-48	73	56	-	-	-
R32	-52	78	42	-	-	-
R227ea	-16	102	96	-	-	-
R236fa	-16	120	117	-	-	-
R23	-82	26	1	-	-	-

H – висока температура (+7/55 °C),

M – середня температура (-10/40°C)

L – низька температура (-35/40°C)

Приведенні технічні дані являють собою середні значення, що базуються на калі метричних дослідженнях.

2.2 Натуральні робочі тіла.

Холодильний агент NH₃ протягом більш ніж одного століття застосовувався в промислових і великих холодильних установках. У нього немає озоноруйнуючого потенціалу і прямого потенціалу дії на глобальне потепління. Його ефективність принаймі не менше, ніж в R22, а в деяких випадках навіть краще; тому його непрямий вклад в ефект глобального потепління малий. Крім того, його вартість незрівнянно нижче. Результуючи,

можна задатися питанням: чи є він ідеальним холодильним агентом і оптимальною заміною для R22 або альтернативи гідрофторвуглеородам? Поза сумнівом, NH₃ володіє багатьма позитивними якостями, які можна використовувати також і у великих холодильних установках.

На жаль, мають місце і негативні риси, обмежуючі широке комерційне використання аміаку або вимагаючі споживання витратних, а інколи і нових технічних рішень.

Недоліком NH₃ є високий адіабатичний показник (NH₃ = 1,31 / R22= 1,18 / R12=1,14), що відбивається на температурі нагнітання, яка істотно вище, навіть чим в R22. Тому одноступінчатє стискування вже неможливе при роботі з температурою кипіння приблизно в 10°C і нижче. Слід застосовувати двоступінчатє стискування.

Проблемою при підборі відповідних масел є також і незадовільна їх розчинність в холодильних агентах в невеликих установках. Масла, що раніше застосовувалися, не розчинялися холодильним агентом. Вони вимагають відділення за допомогою витонченої технології і серйозне обмеження використання випаровувачів прямого випаровування із-за погіршення якості при теплопереносі.

Із-за високих температур нагнітання особливі вимоги пред'являються до термостабільності мастил. Це особливо критично для автоматичної роботи, коли масло роками повинне залишатися в контурі без погіршення своїх властивостей.

NH₃ володіє надзвичайно високою різницею ентальпії при фазових переходах і в результаті порівняно малою масовою витратою при циркуляції (приблизно від 13 до 15% порівняно із R22). Ця властивість вважається перевагою для крупних установок, але ускладнює регулювання уприскування холодильного агента на малопотужних установках.

Наступним критерієм, який повинен бути розглянутий, є корозійна дія на мідні матеріали; тому трубопроводи мають бути виготовлені із сталі. Перешкодою є також вимога аміакостійкості обмоток двигунів. Ще однією

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

трудністю являється електропровідність холодильного агента при підвищеному водовмісті.

До інших негативних рис можна віднести токсичність і легкозаймистість що вимагають особливих заходів безпеки при спорудженні і експлуатації таких установок.

При сучасному стані технологій промислові системи на NH₃ вимагають абсолютно інші технології монтажу і експлуатації установок в порівнянні із звичайними промисловими системами.

Унаслідок нерозчиненості в мастилі і специфічних характеристик холодильного агента зазвичай застосовуються високоефективні масловідділювачі і випаровувачі затопленого типу з гравітаційною або примусовою циркуляцією. Із-за небезпеки для тих, хто оточує і охолоджує продукт випаровувач часто не може бути встановлений безпосередньо в зоні охолодження. Тому тепло-перенесення доводиться здійснювати через вторинний контур холодоносія.

Лінії холодильного агента, теплообмінники і арматура повинні виготовлятися із сталі; трубопровідні лінії зважаючи на їх більший розмір підлягають перевірці атестованим інспектором.

Зазвичай застосовують холодильний компресор відкритого типу, в якого привідний двигун є окремим від компресора агрегатом.

Ці заходи істотно підвищують витрати, пов'язані з установками NH₃, особливо при середній і малій продуктивності.

Тому додаються зусилля з метою розробки простіших систем, які могли б застосовуватися і в комерційній сфері.

Частиною програм дослідження являється випробовування частково розчинних мастил з метою поліпшення циркуляції мастила в системах. Як альтернативи розглядаються також упрощені способи автоматичного повернення нерозчинних мастил.

Отриманий до теперішнього часу досвід показав, що системи з частково розчинним мастилом важкі в управлінні. Вода, що міститься в системі, має

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

серйозний вплив на хімічну стабільність контура і знос компресора. Крім того, високий вміст холодильного агента в мастилі призводить до сильного зносу підшипників і інших рухливих частин. Це відбувається із-за сильної зміни об'єму при випаровуванні NH_3 в зоні змащування.

Існують також рішення з герметизацією установок NH_3 . Компактний рідинний холодильник (заправка холодильним агентом менше 50 кг) встановлюється в закритий контейнер; аміак при витіках поглинається вбудованим водяним резервуаром. Такі компактні вузли можна встановлювати в місцях, які із-за вимог безпеки раніше були зарезервовані для установок з галогеновмісними холодильними агентами.

Виробнича програма включає сьогодні обширний вибір оптимізованих аміачних компресорів для різних типів мастил:

- Одноступінчаті поршневі компресори відкритого типу (подача від 19 до 152 м³/год при 1450 об/хв) для кондиціювання повітря, для середньотемпературного охолодження і бустер-компресорів.
- Гвинтові компресори відкритого типу (подача від 84 до 250 м³/год при паралельній роботі до 1500 м³/год при 2900 об/хв) для кондиціювання повітря, середньо- і низькотемпературного охолодження.

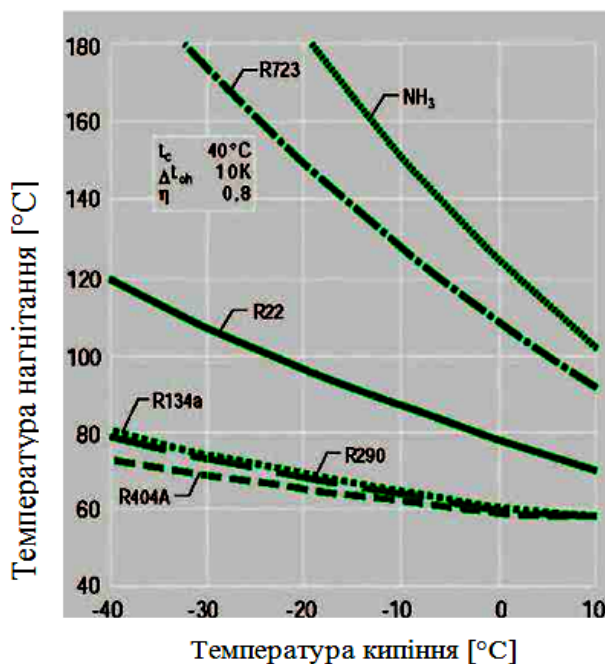


Рис.4 Порівняння температур нагнітання.

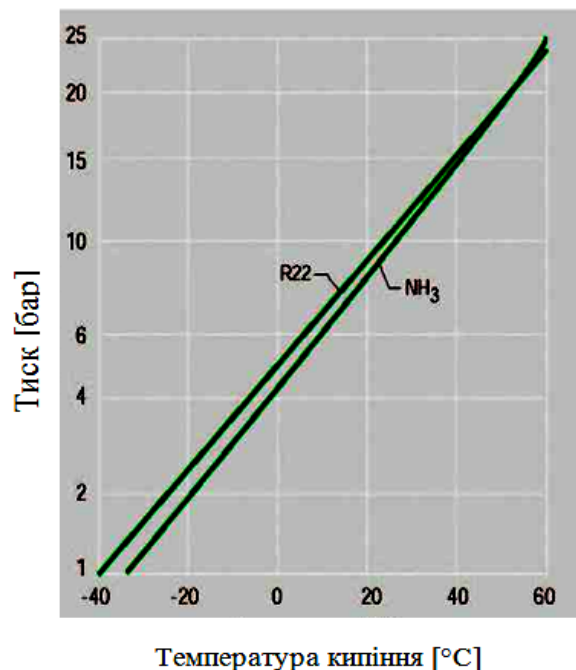
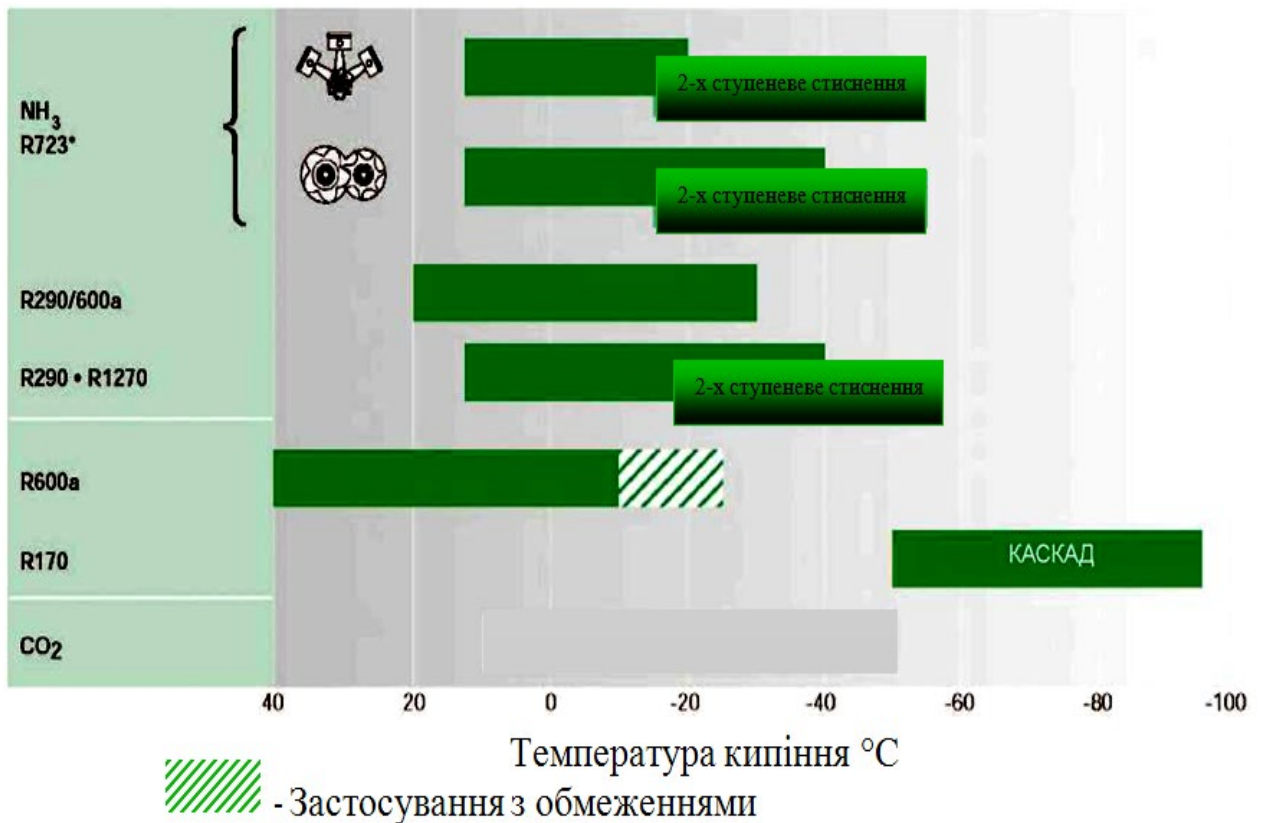
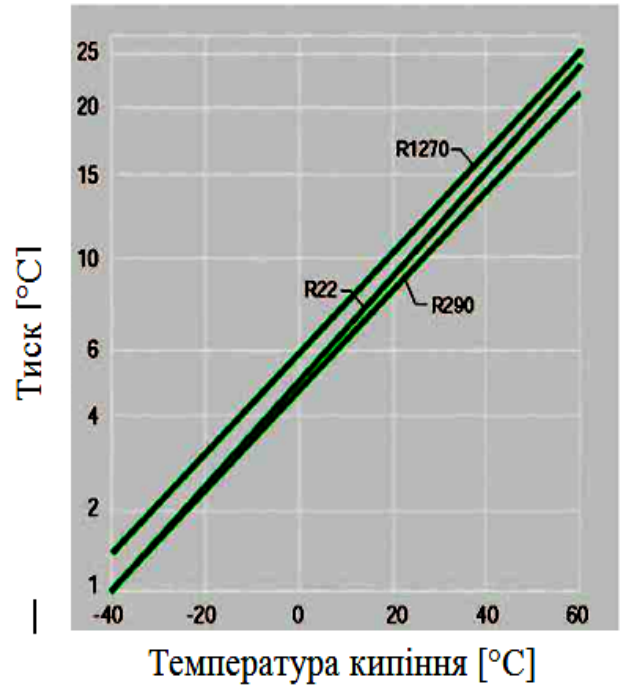
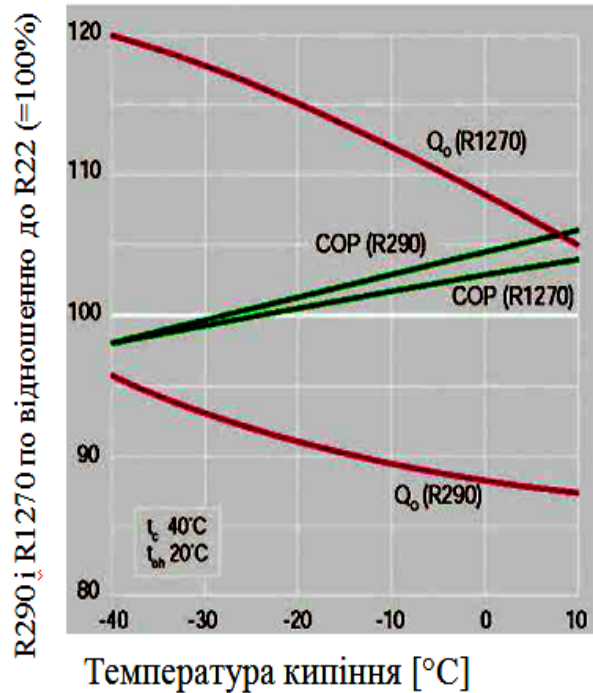


Рис.5 Порівняння рівнів тисків.



Мастила/ холодильні агенти	Мінеральне масило(MO)	Алілбензол (AB)	(MO + AB)	Поліальфа- олефіні(РАО)	Поліолефір (РОЕ)	Полівініл-фір (PVE)	Полігіколь (РАG)	Мінеральне масло с гід- роочищеною
(H)CFC	■	■	■	▨	⚠ +VG	□	□	□
NH3 * R723	▨	■	■	□	⚠ +VG	□	□	□
Суміші	□	▨	□	□	■	Ⓢ	▨	□
HFC+суміші	VG ■	VG ▨	VG ▨	VG ■	VG ■	□	▨	□
Вуглеводневі	■	▨	▨	■	□	□	▨	■

■	Хороша пригодність	⚠	- Особливо критично при вологості
▨	Застосування з обмеженнями	VG	-Можлива підвищена основна вязкість
□	Непридатне	Ⓢ	-Розширена програма випробовувань

Рис.2.9 Масла для компресорів.

2.3Каскадні системи Бітцер.

Завдяки сприятливим для довкілля характеристикам, низькій токсичності і привабливим фізико-хімічним властивостям, у випадку "докритичного" функціонування, вуглекислота (CO₂) усе більш цікавить розробників як переважний холодоносіє для вторинного контуру, а також як холодильний агент для низькотемпературних каскадних систем. При звичайному низькотемпературному використанні видно особливо високу питому холодопродуктивність CO₂ порівняно із іншими холодильними агентами. Використання вуглекислоти дозволить значно знизити вартість холодильної установки, за рахунок економії на компресорі, трубопроводах і арматурі.

Навіть із врахуванням того, що каскадні системи володіють великою продуктивністю, вживання CO₂ дозволяє використовувати в них компресори, розраховані на комерційне або на мале індустріальне використання. Проте,

високі робочі тиски визначають особливі вимоги до конструкції компресора і до систем безпеки.

У цій роботі приведені схемні рішення холодильних установок з CO₂, а також детально розглянуті основні напрями розробки спеціальної компресорної техніки і холодильних масел для CO₂. Крім того, викладені заходи експлуатаційної безпеки установок на CO₂, а також їх характеристики продуктивності в порівнянні із звичайними установками.

Після багатолітнього періоду досить скромного інтересу до CO₂ у розробників холодильної техніки вуглекислота останніми роками привертає до себе особливу увагу, перш за все, із-за екологічних проблем, що загострилися. Разом з розробками проектів з "транс критичними" умовами функціонування останніми роками були успішно введені в експлуатацію багато "до критичних" каскадних систем для комерційного і промислового низькотемпературного охолодження з температурами випаровування нижче -50°C. Слід мати на увазі, що CO₂ в порівнянні з іншими холодильними агентами володіє сприятливішими термофізичними властивостями для даного діапазону температур. Вуглекислота також є хімічно інертною, пожаро- і вибухобезпечною речовиною, але шкідливим для здоров'я людини у великих концентраціях. Всі ці властивості визначають у багатьох випадках явну перевагу CO₂ над аміаком.

До цих пір у холодильних системах з CO₂ використовувалися поршневі і гвинтові компресори відкритого типу. Проте, високий рівень робочих тисків потребує особливих вимоги і, тим самим, підвищує вартість такого компресора. У зв'язку з цим останнім часом зріс інтерес до напівгерметичних компресорів, які є аналогічними до встановлюємих в холодильні агрегати, що випускаються серійно, вживання яких дозволило б значно здешевити перспективні установки.

На сьогоднішній день вже реалізовано багато проектів з напівгерметичними дослідними прототипами. У подальших розділах роботи

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

описаний накопичений досвід по створенню надійних спеціалізованих для CO₂ компресорів, а також систем безпеки для них.

2.3.1 Каскадні системи із CO₂.

На рис.10 показана спрощена схема холодильної установки, в якій CO₂ зріджується у випаровувачі первинного холодильного контуру (з холодильними агентами NH₃, HC (пропан, пропилен) або HCFC/HFC) і транспортується циркуляційним насосом прямо у випаровувач системи середньотемпературного охолодження. У сучасних каскадних CO₂-ступенях передбачений додатковий LT- ресивер низького тиску, який підтримується на рівні тиску випаровування CO₂ за рахунок відсмоктування пари одним або декількома одноступеневими компресорами. Компресор нагнітає пари CO₂ в каскадний охолоджувач (конденсатор) разом з газом з середньотемпературного випаровувача. У охолоджувачі сумарний газовий потік конденсується і потім поступає у відповідний MT- ресивер. З нього відбувається перепускання рідини в ресивер низького тиску за допомогою поплавкового клапана.

Циркуляційні насоси або системи гравітаційної циркуляції використовуються для подачі CO₂ до місця його охолодження фреоновими системами. Для виключно низькотемпературного охолодження компоненти середньотемпературного контуру не використовуються.

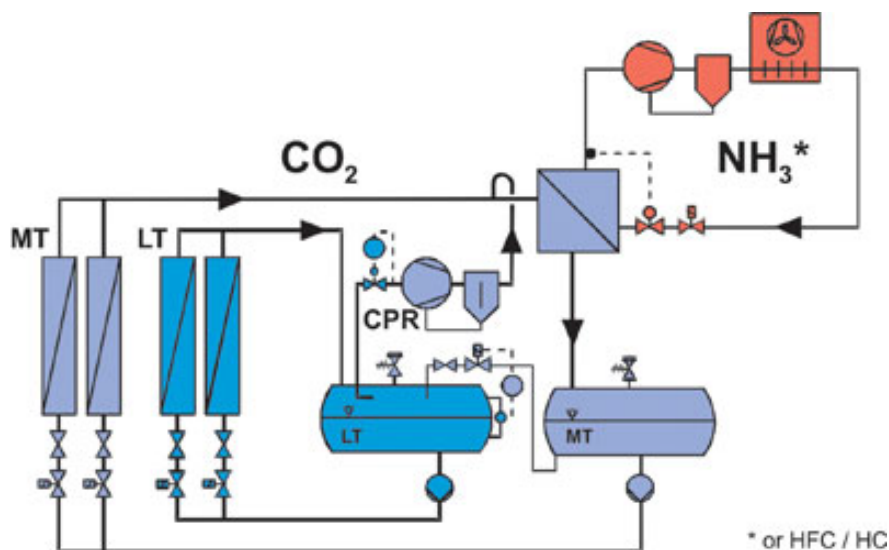


Рис.2.10. Каскадна система із CO₂ (спрощена схема).

На Рис 2.11 показана спрощена схема двох-каскадної системи, в якій CO₂ використовується якості звичайного холодильного агенту другого каскаду. Установки з такою схемою дуже поширені в країнах Скандинавії і вважаються дуже перспективними для комерційного вживання. У холодильних системах для типових супермаркетів в другому низькотемпературному каскаді CO₂ нагнітається в конденсатор-теплообмінник поршневими компресорами "Бітцер" серії Октагон: С-1К, С-2К, модифікованими для CO₂

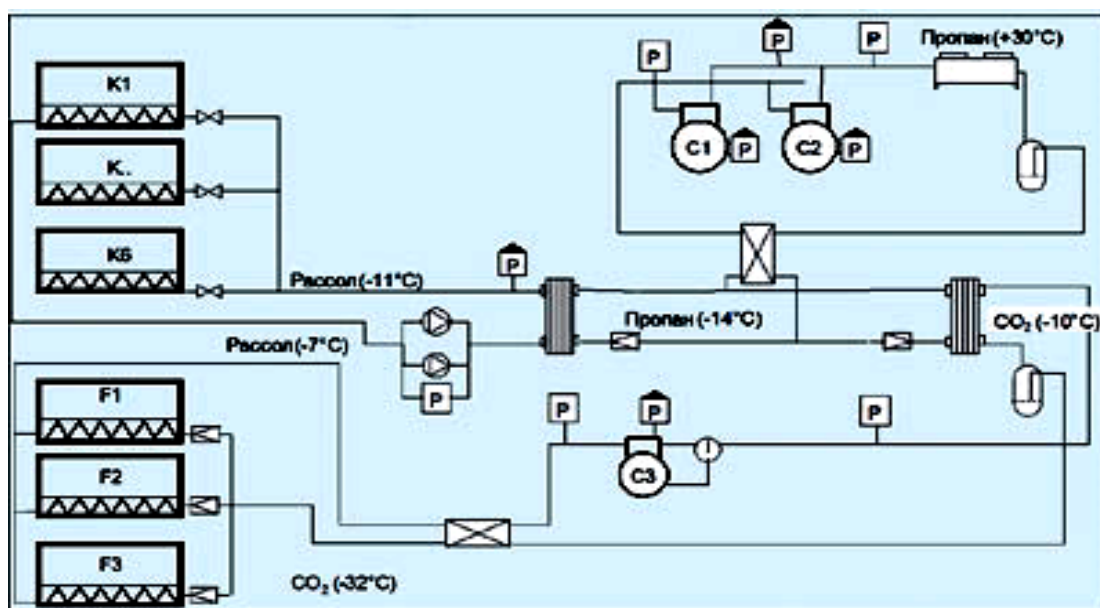


Рис.2.11 Каскадна система з CO₂ (спрощена схема)

2.3.2 Вимоги до компресора в каскаді CO₂.

CO₂ набуває властивості рідини при досягненні порівняно високого рівня тисків при досить низьких температурах випаровування і конденсації. Ці тиски в деяких випадках значно перевищують допустимі робочі значення для типових стандартних компресорів (рис.2.11). При порівнянні робочого режиму установки з R22, з температурою випаровування -35°C (SST) і температурою конденсації -10°C (SCT) для CO₂ це відповідає "+30°C/+64°C". Такі робочі умови в реальних установках зустрічаються дуже рідко. Не дивлячись на низьку густину пари CO₂ порівняно із галогеновмісними холодильними агентами (рис. 2.10) такі термо-фізичні властивості

виражаються в більш високому механічному навантаженню на привід компресора, а отже, в необхідності певного зростання потребуемого приводного моменту. Більш того, при проектуванні устаткування слід розглядати навіть ще більш екстремальні умови навантаження.

Інший критичний чинник пов'язаний з мастилом компресора. При досить високому тиску всмоктування деякі холодильні масла розчиняють в собі значний відсоток CO₂. Внаслідок чого, кінематична в'язкість суміші, що утворилася, значно понижена. При використанні напівгерметичних компресорів слід також враховувати сумісність матеріалу ізоляції обмоток і суміші масла з CO₂. Охолодження електромотора - це інший важливий аспект. На сьогодні він є особливо спірним і таким, що викликає багато сумнівів через те, що від мотора з невеликими розмірами потрібний високий приводний момент.

З врахуванням особливих властивостей CO₂, вказаних вище стає ясно, що стандартні напівгерметичні компресори можуть використовуватися лише в дуже обмеженої сфери застосування. Останні досягнення фірми "Бітцер" в цьому напрямі показують, що при комбінуванні різних компонентів одного сімейства компресорів, а також при відповідній модифікації конструкції і використанні відповідного масла всі категоричні вимоги можуть бути виконані.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

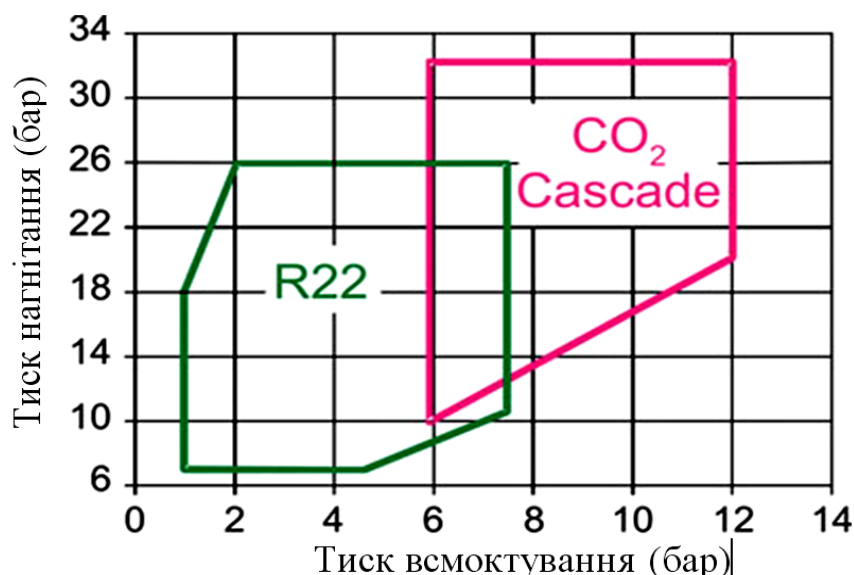


Рис.2.12 CO₂/R22 - Порівняння значень тисків випаровування і конденсації в межах стандартної області функціонування

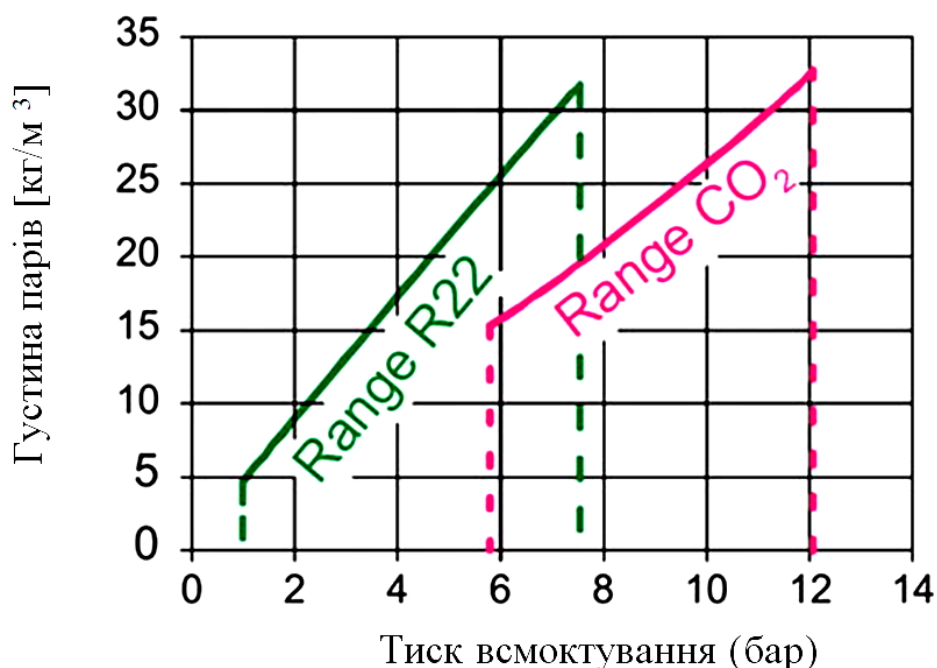


Рис.2.13 CO₂/R22 - Порівняння значень густини пару в межах стандартних діапазонів тисків всмоктування.

2.3.3 Напрямки розробок/особливості конструкції.

Навантаження і тиски.

Сучасні напівгерметичні компресори проектується з п'ятикратним запасом міцності по внутрішньому тиску, і це повинно підтверджуватися при проведенні регулярних перевірок. Навіть з врахуванням наявності внутріш-

нього запобіжного клапана тиску, типом зовнішніх запобіжних клапанів, а також з врахуванням індивідуальних випробувань згідно з відповідними розпорядженнями ЄС звичайні границі застосування (НР - високий тиск 28 бар/ LP - низький тиск 19 бар) можуть бути підведені ще вище.

При необхідності, рекомендується застосовувати прокладки з металевим посиленням або підтримуючі елементи в ущільненнях. Вживання чавуну з сферичною графітною структурою замість сірого чавуну для лиття кор.-пусних деталей дозволяє підвищити їх механічну міцність при тій же товщині стінок.

Механічне навантаження / Необхідний приводний момент.

Порівнюючи максимальні робочі умови компресорів по діаграмі на Рис.2.12, ми бачимо, що тиски випаровування і конденсації CO₂ перевищують приблизно на 60 % і 20 % відповідно нормальні максимальні значення робочих тисків для R22. Самий простий шлях пристосування компресора для роботи на CO₂ - це комбінування в одному типовому корпусі певної серії компресорів найменшої об'ємної продуктивності з найбільшою потужністю мотора. Для поршневого компресора це означає використання найменшого діаметру поршнів, що приведе в результаті до зниження навантаження на підшипники і зменшення згинаючого зусилля на калінвал. Це також відно-ситься і для підшипників пальців шатунів, які також сприймають значні навантаження. У малих поршневих компресорах пальці, як правило, ковзають безпосередньо в деталях, що сполучаються, але з врахуванням специфічних навантажень при роботі на CO₂ необхідно на пальці встановлювати додаткові підшипники ковзання.

У зв'язку з більш високою масовою витратою конструкція клапанів компресора також має бути модифікована.

В разі використання гвинтових компресорів можливе застосування коротких роторів, а також, залежно від об'ємної продуктивності, великих підшипників. Тому що в каскадних системах при звичайних умовах

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

функціонування на низьких співвідношеннях робочих тисків реалізація даної концепції не призводить до зниження ефективності (к.к.д.).

З метою оберегти компресор від надмірних механічних навантажень на найважчих режимах, а також мотор від перевантажень на лінію всмоктування, безпосередньо на вході в компресор, встановлюють регулятор тиску в картері. Його налаштовують так, щоб після пуску компресора тиск всмоктування стабілізувався нижче за допустимий максимум.

Охолодження мотора.

Зважаючи на високе питоме навантаження на мотор у поєднанні з його малим об'ємом, повітряне охолодження у багатьох випадках виявляється незадовільним із-за недостатньої площі зовнішньої поверхні моторної частини корпусу компресора. Вибір лише такого способу охолодження вимагав би розробки спеціальної конструкції компресора для CO₂ і, тим самим, істотно понизив би перевагу від використання стандартних вузлів, що виробляються серійно.

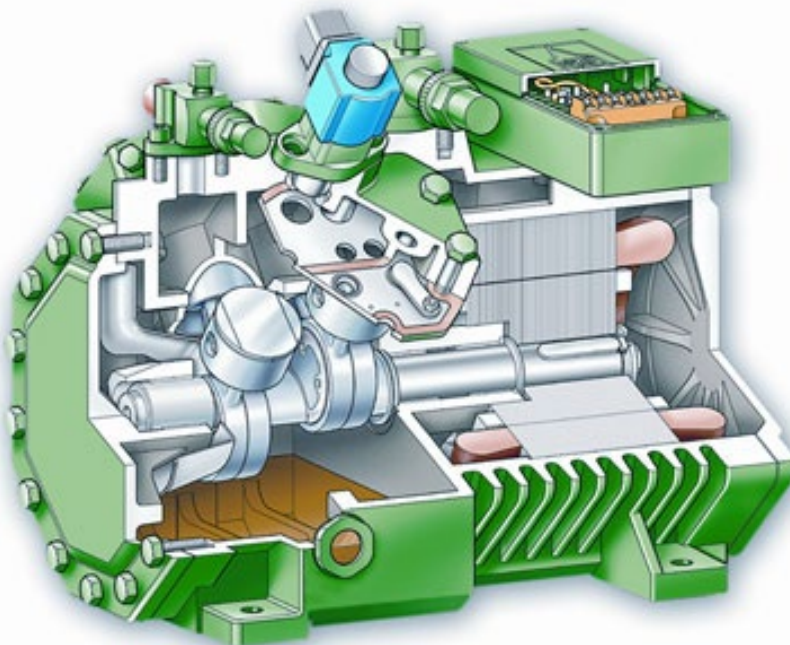


Рис.2.14 Розріз напівгерметичного поршневого компресора

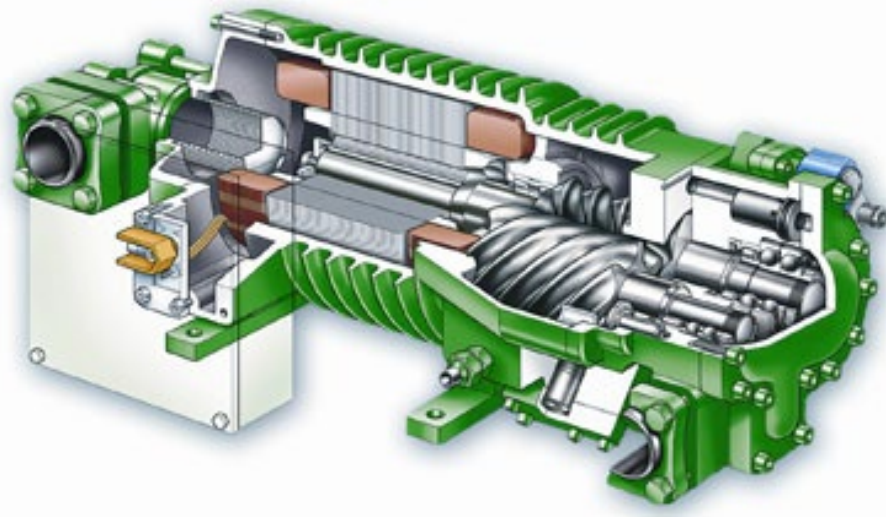


Рис.2.15 Розріз напівгерметичного гвинтового компресора (без масловідділювача)

Широко використовуване в напівгерметичних компресорах охолодження всмоктуваним газом обіцяє в цьому відношенні великі вигоди. Але при низькотемпературному охолодженні, а також при використанні холодильних агентів, що мають низьку питому ентальпію пари такий спосіб охолодження також неефективний, оскільки при цьому з'являється додатковий перегрів газу при протіканні через мотор, внаслідок чого змінюється питомий об'єм (щільність) газу і знижується його масова витрата.

При детальнішому розгляді цього питання виявляється, що втрати від охолодження всмоктуваним газом досить низькі в допустимій області функціонування. Причинами тому є висока масова витрата CO₂ і низький перегрів газу на всмоктуванні при використанні затоплених випаровувачів. Це забезпечує особливо інтенсивне охолодження мотора і гарантує низьку температуру обмоток, що визначає мінімальні теплові втрати і високу ефективність мотора.

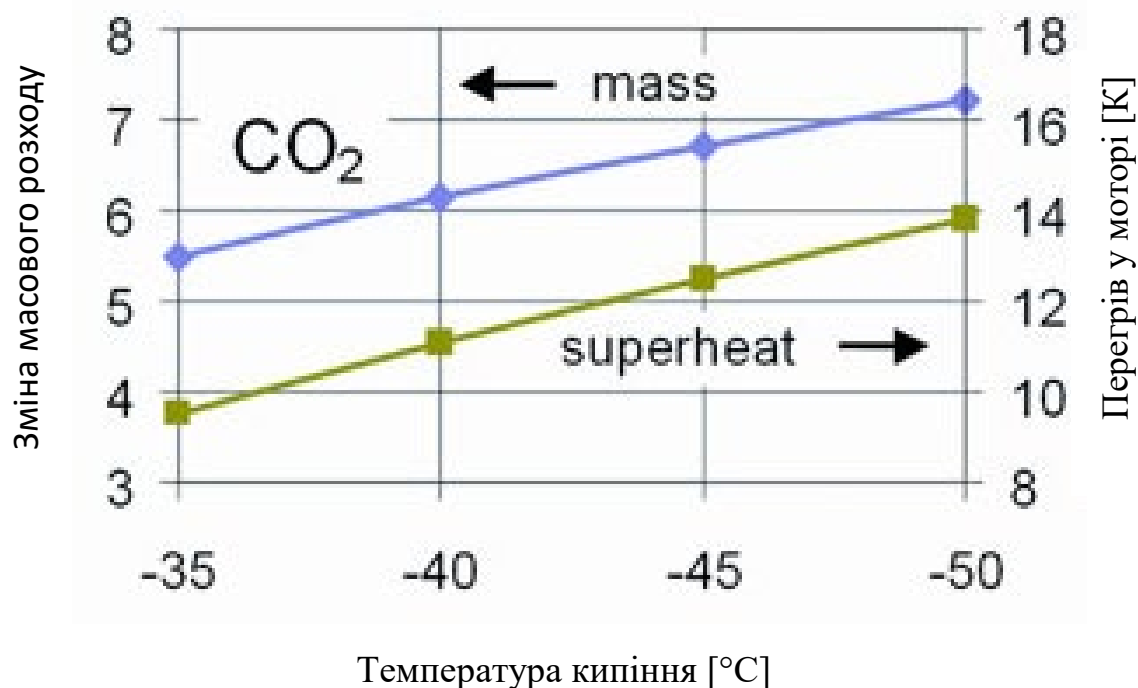


Рис.2.16 Зміна масової витрати CO₂ (%) залежно від значення перегріву всмоктуваного газу в моторі при різних температурах кипіння (SST, °C)

Кожна з обмоток мотора оснащується сполученими з електронним захисним пристроєм РТС - датчиками температури, що забезпечують надійний захист від перевантажень. За наявності достатнього охолодження мотор може працювати при дуже високих навантаженнях тривалий час.

Масило.

Досить високі механічні навантаження і висока розчинність газу у використовуваних холодильних маслах визначають особливі вимоги до вязкісних і трибологічних властивостей масла для CO₂, а також до конструкції компресора. В той же час, для надійного повернення масла з системи масла повинні мати хорошу змішуємість з CO₂ навіть при температурах - 50 °C і нижче.

Поліалкілен-гліколеві (PAG) масла показують бажану низьку розчинність в собі CO₂ в картері компресора, а також в масловідділювачі, забезпечуючи при цьому необхідну товщину шару мастила із сприятливими вязкісними характеристиками. З іншого боку в результаті незадовільної

змішує мості з CO₂ спостерігаються відомі труднощі з циркуляцією масла по системі. Крім того, дуже висока гігроскопічність PAG-масел може привести до різкого зниження їх діелектричних властивостей, а також до підвищення потенціалу їх хімічної активності. Таким чином, використання цих масел в напівгерметичних компресорах на CO₂ не рекомендується.

Тим часом, різносторонні наукові дослідження, а також практичний досвід, показали, що спеціально модифіковані поліефірні мастила (POLAR-POE) є сповна придатними для використання в компресорах спеціального виконання, що функціонують у вищезгаданих умовах. Ці масла володіють високим індексом в'язкості, хорошими змащувальними характеристиками, прийнятною розчинністю в собі CO₂, а також, на відміну від PAG-масел і неполярних мінеральних масел, добре змішуються з CO₂ /2/. Проте, з врахуванням їх гігроскопічності необхідно застосовувати дуже великий і дрібнопористий ("молекулярне сито") фільтр-осушувач.

Не дивлячись на те, що отримані результати досліджень в цілому доки сповна задовільні, аналіз стану роликів підшипників кочення і підшипників ковзання показує досить часто забивання поверхонь тертя при задовільній в'язкості суміші мастила і CO₂. Однією з основних причин цього є утворення значної долі газової фази в суміші при випаровуванні вуглекислоти у випадках різкого падіння тиску і тепловиділення. Зі всього сказаного виходить, що необхідні подальші кроки, як у пошуках придатних масел, так і в розробках конструкцій компресорів.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

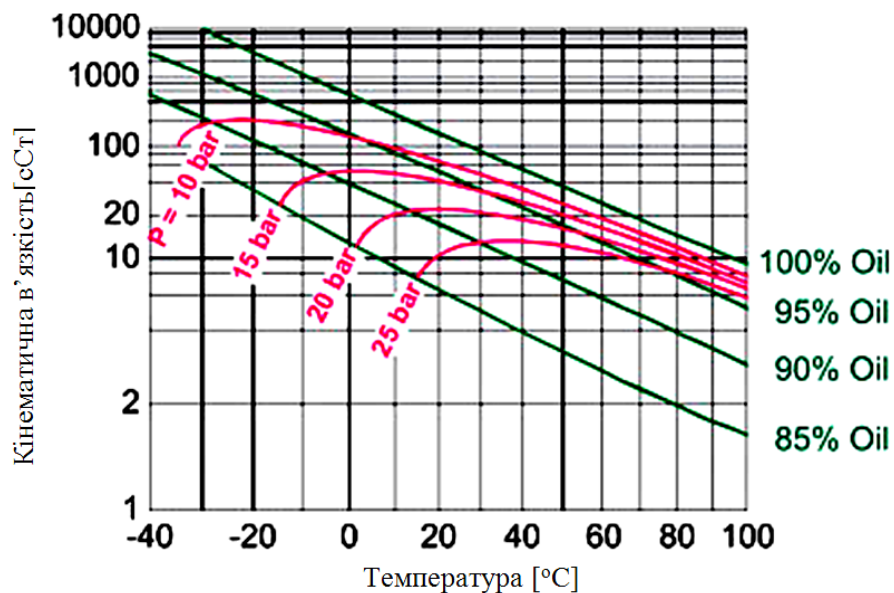


Рис 2.17. Розчинність CO₂ в РОЕ-маслах і кінематична в'язкість суміші (по матеріалах DEA)

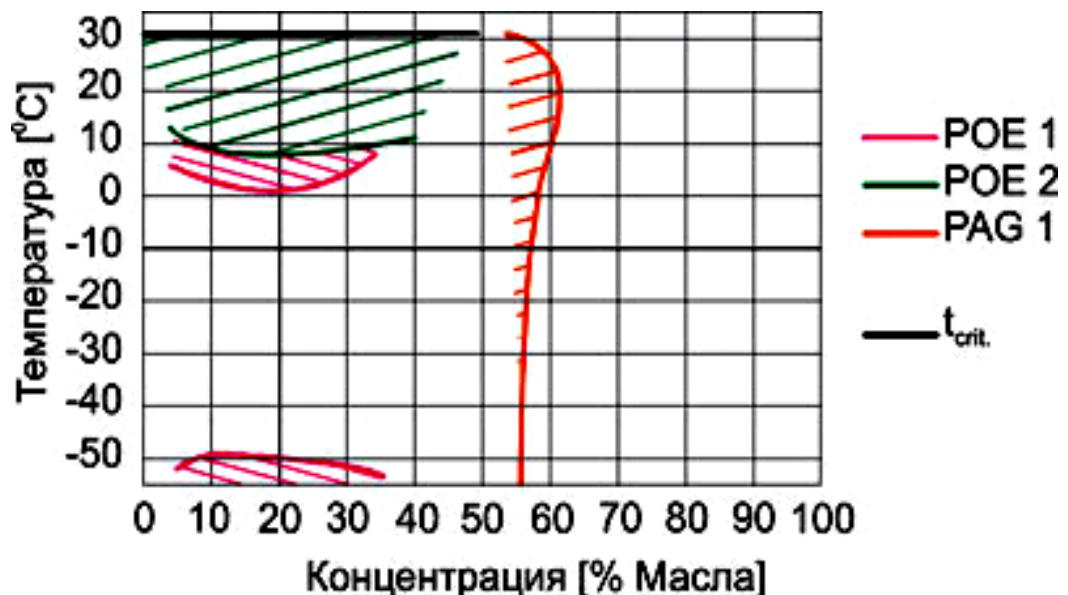


Рис 2.18 Границі змішуємості CO₂ з РОЕ-маслами і PAG-маслом при докритичних температурних умов (по матеріалах DEA).

Окрім властивостей холодильних масел, істотним чинником є високий тиск всмоктування, який також накладає особливі вимоги до конструкції компресора.

З врахуванням цього, в поршневих компресорах "Бітцер" для CO₂ (див. Рис 2.14) використовуються підшипники, розраховані на високе навантаження і з покращеною формулою матеріалу поверхні тертя. Більш того, система мастила проектується так, щоб вона гарантувала особливо

швидко подачу масла після пуску компресора і не допускала високої концентрації газу в маслі, що подається в підшипники.

На додаток до вже згаданих значно збільшених підшипників гвинтові компресори "Бітцер" для CO₂ (див. Рис 2.15) оснащуються особливо ефективною запатентованою системою внутрішньої циркуляції масла. Згідно з цим конструктивним рішенням насичення масла, що поступає в підшипники, газами, що витікають з профілів гвинтів, ефективно запобігає за допомогою ущільнень манжетів. Тиск в корпусі підшипникової камери сторони нагнітання знижується за рахунок цього практично до величини тиску всмоктування, що забезпечує мінімальний вміст CO₂, розчиненого в маслі, і підтримує тим самим максимально можливу його в'язкість. Важливим додатковим ефектом функціонування цієї системи є значне зниження реального навантаження на підшипники.

2.3.4. Характеристики продуктивності.

При використанні в каскадних установках особливо висока питома холодопродуктивність CO₂, залежність якої від зміни температур кипіння є дуже пологою кривою, дозволяє використовувати невеликі компресори для комерційного і малого промислового використання, навіть в установках з високим рівнем холодопродуктивності. На діаграмі (Мал 2.19) показано порівняння характеристик продуктивності гвинтового компресора з об'ємною продуктивністю 220 м³/г на холодильних агентах CO₂, R22 і NH₃ при температурах всмоктування (SST) від -35 до -50 °C і температурі конденсації (SCT) -10 °C. Дані по CO₂ і R22 були отримані на напівгерметичному компресорі, дані з NH₃ - на компресорі відкритого типу. Значна відмінність значень об'ємної продуктивності є очевидною, при цьому крива CO₂ значно пологіша уздовж всього діапазону температур випаровування (рис 2.11). Масова витрата CO₂ (рис 2.12), при рівній об'ємній продуктивності також набагато вище чим в R22, не дивлячись на те, що концентрація пари CO₂ при ідентичному R22 рівні тисків складає близько 60% (рис 2.14) при

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використанні в каскадних установках, причиною цих відмінностей є рівень тисків CO₂, який в описаному діапазоні температур випаровування приблизно в 7...10 разів вищий, ніж в інших холодильних агентах. Як було вже вказано вище, це властивість дуже добре вписується в конструктивний принцип охолодження компресора всмоктуванням газом.

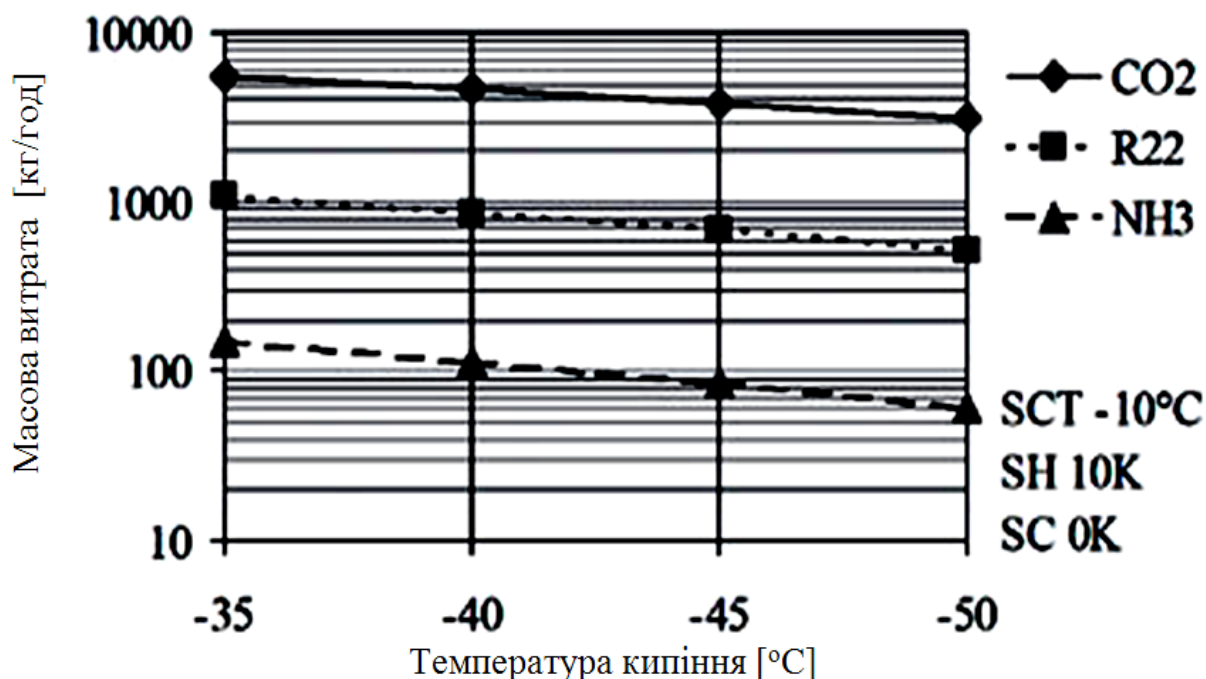


Рис 2.19. Порівняння масових витрат різних холодильних агентів (кг/год) при різних температурах кипіння (SST) (дані отримані на гвинтовому компресорі "Бітцер" з об'ємною продуктивністю 220 м³/год)

Висновки.

Результати досліджень показують, що перспективи подальших розробок в області застосування напівгерметичних поршневих і гвинтових компресорів в каскадних системах на CO₂ дуже сприятливі, особливо з урахуванням того, що ці дослідження базуються на вже апробованих стандартних агрегатах "Бітцер".

Сучасна базова конструкція компресорів з додатковими засобами безпеки сповна допускає функціонування при вищих значеннях допустимого робочого тиску. Більш того, з оптимальною адаптацією компонентів усередині одного модельного ряду компресорів спеціальні для CO₂ вимоги

по механічному навантаженню, потужності і охолодження мотора можуть бути виконані.

Спеціально пристосовані поліефірні (POE) масла забезпечують задовільну циркуляцію і повернення з системи, є вже досить випробуваними і сповна придатними для мастила компресорів. Проте потрібні додаткові дослідження для надійнішого пристосування цих масел для роботи з CO₂.

Завдяки високій об'ємною холодопродуктивності, а також досить рівній характеристиці продуктивності CO₂ реалізуються дуже компактні і маловитратні схемні і конструктивні рішення холодильних установок, які визначають перспективи майбутнього широкого і економічного використання CO₂ в низькотемпературних каскадних системах.

Експериментальні дослідження таких систем проводяться при рівні тисків, який знаходиться в допустимому сучасним досвідом діапазоні, і у зв'язку з цим ризик аварій залишається порівняно низьким. Проте перед широким поширенням каскадних систем на CO₂ необхідно провести довготривалі випробування дослідних зразків з метою накопити достатній досвід по експлуатації компресорів і інших системних компонентів.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ХОЛОДИЛЬНОЇ СИСТЕМИ.

3.1 Теплове навантаження на систему та вихідні дані до розрахунку.

Підбір компонентів системи охолодження є дуже важливим. Тиск конденсації змінюється в залежності від зовнішньої температури точки роси.

Тиск конденсації, або тиск нагнітання, змінюється за рахунок використання змінного ступеня стиснення гвинтового компресора. Інша причина використовувати гвинтовий компресор проти поршневого компресора, є перевага в адіабатній ефективності. Гвинтові компресори мають середній адіабатний ККД на 7% вище, ніж їх альтернативи. Зовнішній датчик температури посилає інформацію в контролер системи, який, в свою чергу, контролює золотник компресора, змінюючи ступінь стиснення і, таким чином, тиск на виході. Вибір способу управління ступенем стиснення стояв між частотно-регульованим приводом (VFD) і золотником. Так як компресори працюватимуть на повному навантаженні вибір став на золотнику, оскільки VFD має 4% штраф в цих умовах.

Для циклу R290 максимальне миттєве навантаження холодильної системи за нормальних умов становить 310 кВт. Для досягнення цього ефекту об'єднані два компресори з продуктивністю 160 кВт, 160 кВт.

Для циклу R744 максимальне миттєве навантаження холодильної протягом нормального року становить 230 кВт. Для досягнення цього ефекту об'єднані два компресори з продуктивністю 130 кВт

Потреба в холоді змінюється з плином часу і для досягнення правильного навантаження компресори секвенували. Це означає, що вони включаються і вимикаються таким чином, щоб відповідати потребі в холодильному ефекті. Для того, щоб уникнути необхідності запуску деяких компресорів на частковому навантаженні з більш низькою ефективністю, системf акумуляції теплоти входить в конструкцію системи.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні дані:

- температура конденсації $t_k = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температура кипіння $t_o = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- верхній каскад R290, R744.

3.2 Схема і цикл каскадної холодильної машини.

Схема дійсної холодильної машини показана на Рис. 3.1.

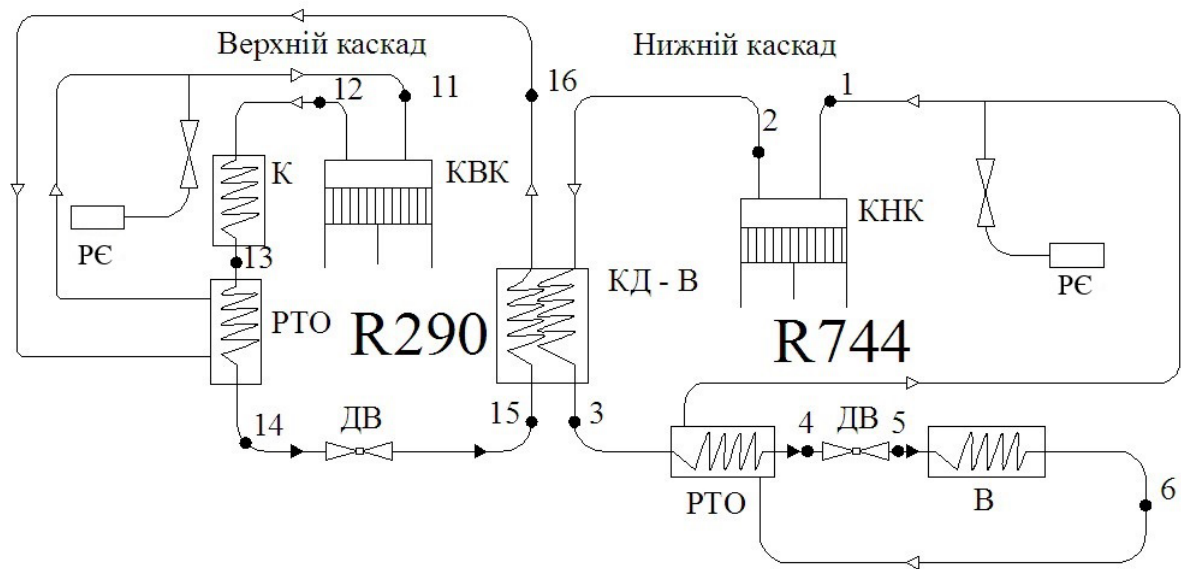


Рис. 3.1.Схема дійсної каскадної холодильної установки.

КВК, КНК – компресори верхнього і нижнього каскаду відповідно; КД-В – конденсатор – випаровувач; РТО – регенеративний теплообмінник типу “ПАР - РІДИНА”; К – конденсатор, РЄ – розширювальна ємкість; В – випаровувач; ДВ – дросельний вентиль.

Каскадна холодильна установка працює як дві незалежні одноступеневі холодильні машини, які пов’язані між собою одним елементом – конденсатор – випаровувачем, в якому здійснюються процеси конденсації CO_2 , як холодильного агенту (ХА) нижнього каскаду і кипіння R290, як ХА верхнього каскаду. У високотемпературному басейні пари пропану стискаються у КВК і нагнітаються у К, де охолоджуються, конденсуються і переохолоджуються до температури T_{13} . Далі рідкий ХА потрапляє у РТО де вони переохолоджуються за рахунок теплообміну із паром низько-

температурного потенціалу КД-В. ХА із температурою T_{14} дроселюється у ДВ потім паро - рідинна суміш кипить у КД-В і через РТО всмоктується КВК. Цикл повторюється.

У низькотемпературному басейні пари вуглекислоти стискаються у КНК і нагнітаються у КД-В, де конденсуються. Рідкий ХА переохолоджується у РТО і потрапляє у В де кипить забираючи тепло від охолоджуемого об'єкта. Далі пар із низькою температурою підігрівається в РТО до температури всмоктування T_1 і всмоктується КНК. Цикл повторюється.

Під час стоянки машини температура робочої речовини стає рівною температурі навколишнього середовища. Рідкий ХА випаровується. Звичайно, що із ростом температури росте і тиск. Таким чином в машині встановлюється високий тиск насичення, що відповідає температурі навколишнього середовища. Цей тиск досить високий і може привести до серйозних проблем при пуску компресора. У зв'язку з цим на всмоктуючій лінії компресора встановлюється розширювальна ємність (балон), яка включається тільки під час стоянки машини.

Побудова циклу каскадної холодильної машини здійснюється по наступному алгоритмові:

- проміжна температура в КД-В визначається як:

$$T_{\text{пр}} := \sqrt{T_{\text{кв}} \cdot T_{\text{он}}}$$

Де: $T_{\text{кв}}$ – абсолютна температура конденсації верхнього каскаду,
 $T_{\text{кв}}=313 \text{ K}$,

$T_{\text{он}}$ – абсолютна температура кипіння нижнього каскаду,
 $T_{\text{он}}=223 \text{ K}$, $T_{\text{пр}}=264 \text{ K}$;

- температура кипіння верхнього каскаду:

$$T_{\text{ов}} := T_{\text{пр}} - \Delta T$$

Де: $\Delta T=5 \text{ K}$, $T_{\text{ов}}=259 \text{ K}$;

- температура конденсації нижнього каскаду

$$T_{\text{кн}} := T_{\text{пр}} + \Delta T$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$T_{KH}=269\text{ K};$

- температурний перегрів на виході із компресора становить $5^{\circ}\text{C};$
- переохолодження ХА в конденсаторі становить $5^{\circ}\text{C};$
- температуру недорекуперації приймаємо рівною $15^{\circ}\text{C};$
- коефіцієнт корисної дії РТО $\eta=0,8.$

Будуємо цикл в діаграмі $\log P$ - h для визначення параметрів вузлових точок.

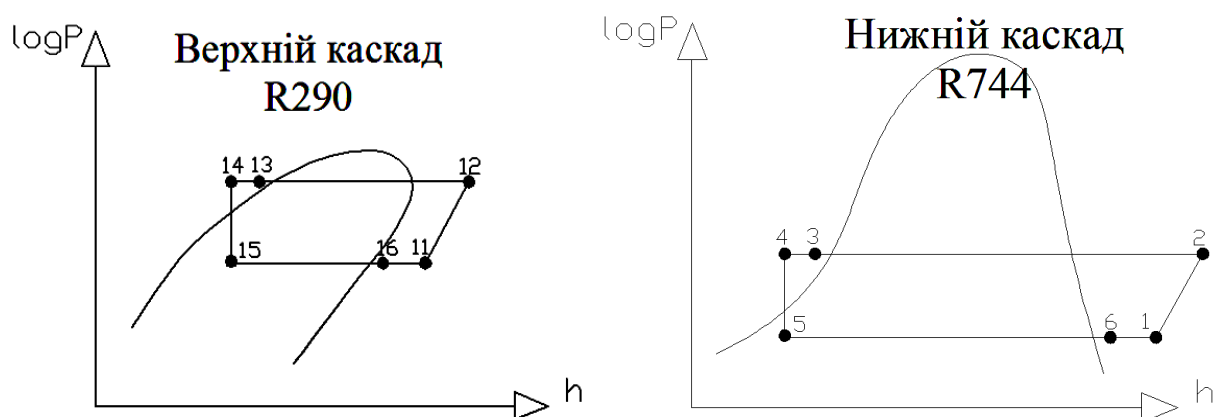


Рис3.2 Зображення циклу каскадної холодильної установки в діаграмі $\log P$ - h .

3.3 Термодинамічні процеси каскадної холодильної машини:

- ✓ 11 – 12 адіабатне стиснення парів ХА компресором нижнього каскаду;
- ✓ 12 – 13 ізобарна конденсація парів ХА у конденсаторі;
- ✓ 13 – 14 ізобарне переохолодження рідкого R290 у РТО типу “ПАР - РІДИНА”;
- ✓ 14 – 15 ізоентальпійне дроселювання рідкого ХА у ДВ;
- ✓ 15 – 16 ізобарне випаровування паро – рідинної суміші у конденсатор - випаровувачі;
- ✓ 1 – 1 адіабатне стиснення парів ХА компресором верхнього каскаду;
- ✓ 2 – 3 ізобарна конденсація парів ХА у конденсатор - випаровувачі;
- ✓ 3 – 4 ізобарне переохолодження рідкого R744 у РТО типу “ПАР - РІДИНА”;
- ✓ 4 – 5 ізоентальпійне дроселювання рідкого ХА у ДВ;
- ✓ 5 – 6 ізобарне випаровування паро – рідинної суміші у конденсатор - випаровувачі.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Таблиця 3.1

	Температура, °C	Тиск, бар	Об'єм, м³/кг	Ентропія, кДж/кг К	Ентальпія, кДж/кг
1	-19	6	0,07	1,29	679
2	80	32	0,0196	1,29	758
3	-9	32	-	-	406
4	-20	32	-	-	377
5	-50	6	-	-	368
6	-45	6	0,06	1,27	675
11	6	2,99	0,1644	2,51	592
12	66	13,7	0,0389	2,51	670
13	35	13,7	0,00209	1,307	291
14	20	13,7	-	-	250
15	-14	2,99	-	-	250
16	-9	2,99	0,153	2,419	567

3.4 Тепловий розрахунок.

3.4.1 Розраховуємо питому масову холодопродуктивність:

$$q_{он} := h_6 - h_5 \quad q_{ов} := h_{16} - h_{15}$$

Де: h – ентальпія відповідних точок (Табл.2.1)

3.4.2 Визначаємо питому теплоту конденсації:

$$q_{кн} := h_2 - h_3 \quad q_{кв} := h_{12} - h_{13}$$

3.4.3 Питома об'ємна холодопродуктивність:

$$q_v := q_{он} \div V_1$$

Де: v_1 – об'єм ХА у відповідних точках циклу.

3.4.4 Масова витрата ХА через нижній каскад:

$$M_{ан} := Q_{он} \div q_{он}$$

Де: $Q_{он}$ – холодопродуктивність установки.

Масову витрату через верхній каскад визначимо із рівняння теплового балансу конденсатор – випаровувача:

$$M_{ав} := (M_{ан} \cdot q_{кн}) \div q_{ов}$$

3.4.5 Адіабатна робота стиснення у компресорі:

$$l_{кмн} := h_2 - h_1 \quad l_{кмв} := h_{12} - h_{11}$$

3.4.6 Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{дн} := M_{ан} \cdot V_1$$

$$V_{дв} := M_{ав} \cdot V_{11}$$

3.4.7 Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda_H := \lambda_{сн} \cdot \lambda_{wH}$$

$$\lambda_B := \lambda_{св} \cdot \lambda_{wB}$$

Де: λ_c – коефіцієнт подачі, що враховує наявність мертвого простору:

$$\lambda_{сн} := 1 - c \cdot \left[(P_2 \div P_1)^{1 \div m_H} - 1 \right] \quad \lambda_{св} := 1 - c \cdot \left[(P_{12} \div P_{11})^{1 \div m_B} - 1 \right]$$

де P – тиск у відповідних точках (Табл.2.1)

m – показник адіабати (1,13 для R290, 1,3 для R744)

λ_w – коефіцієнт подачі що враховує об'ємні втрати:

$$\lambda_{wH} := T_{оH} \div T_{кH}$$

$$\lambda_{wB} := T_{оB} \div T_{кB}$$

Де: T – абсолютна температура відповідних точок циклу (Табл.2.1)

3.4.8 Теоретичний об'єм описаний поршнем:

$$V_{Hn} := V_{дн} \div \lambda_H$$

$$V_{Bv} := V_{дв} \div \lambda_B$$

3.4.9 Визначаємо потужність необхідну для привода компресора:

➤ Адіабатна:

$$N_{ан} := M_{ан} \cdot i_{кмH}$$

$$N_{ав} := M_{ав} \cdot i_{кмB}$$

➤ Індикаторна :

$$N_{iH} := N_{ан} \div \eta_{iH} \quad N_{iB} := N_{ав} \div \eta_{iB}$$

Де: η_{iH} – індикаторний коефіцієнт,

$$\eta_{iH} := \lambda_{wH} + v \cdot t_{оH}$$

$$\eta_{iB} := \lambda_{wB} + v \cdot t_{оB}$$

Де: v – коефіцієнт ($v=0,001$).

➤ Потужність, що затрачається на тертя:

$$N_{трH} := V_{Hn} \cdot P_{тр}$$

$$N_{трB} := V_{Bv} \cdot P_{тр}$$

➤ Ефективна:

$$N_{еH} := N_{трH} + N_{iH}$$

$$N_{еB} := N_{трB} + N_{iB}$$

3.4.10 Коефіцієнт перетворення (COP):

а) циклу Карно:

$$COP_K := T_{оH} \div (T_{кB} - T_{оH})$$

б) теоретичний:

$$\text{COP}_T := q_{\text{он}} \div (l_{\text{квв}} + l_{\text{кнн}})$$

в) дійсний:

$$\text{COP}_D := Q_{\text{он}} \div (N_{\text{ен}} + N_{\text{ев}})$$

3.4.11 Степінь термодинамічної досконалості (СТС):

а) теоретична:

$$\eta_{\text{стст}} := \text{COP}_T \div \text{COP}_K$$

б) дійсна:

$$\eta_{\text{стсд}} := \text{COP}_D \div \text{COP}_K$$

3.4.12 Теоретичний холодильний коефіцієнт:

$$\epsilon_T := Q_{\text{он}} \div (N_{\text{ан}} + N_{\text{ав}})$$

Примітка: індекс н – нижній каскад, в – верхній каскад.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2

Позначення	$q_{\text{о.н.}}$	$q_{\text{о.в.}}$	$q_{\text{к.н.}}$	$q_{\text{к.в.}}$	q_v	$M_{\text{а.н.}}$	$M_{\text{а.в.}}$	$l_{\text{кн.н.}}$	$l_{\text{кн.в.}}$
Розмірність	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг	кДж/м ³	кг/с	кг/с	кДж/кг	кДж/кг
Величина	307	317	352	379	4386	0,749	0,86	79	78

Продовження таблиці 3.2

Позначення	$V_{\text{д.н.}}$	$V_{\text{д.в.}}$	λ_n	λ_v	$V_{\text{н.н.}}$	$V_{\text{н.в.}}$	$N_{\text{а.н.}}$	$N_{\text{а.в.}}$	$N_{\text{і.н.}}$
Розмірність	м ³ /с	м ³ /с	-	-	м ² /с	м ² /с	кВт	кВт	кВт
Величина	0,052	0,141	0,763	0,757	0,069	0,187	59,2	67,1	76,1

Продовження таблиці 3.2

Позначення	$N_{\text{і.в.}}$	$N_{\text{тр.н.}}$	$N_{\text{тр.в.}}$	$N_{\text{с.н.}}$	$N_{\text{с.в.}}$	COP_K	COP_T	COP_D	$\eta_{\text{стс.т}}$	$\eta_{\text{стс.д}}$	ϵ
Розмірність	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	-	-	-	-	-	-
Величина	81,4	4,2	11,2	80,2	92,6	2,48	1,96	1,33	0,789	0,537	1,83

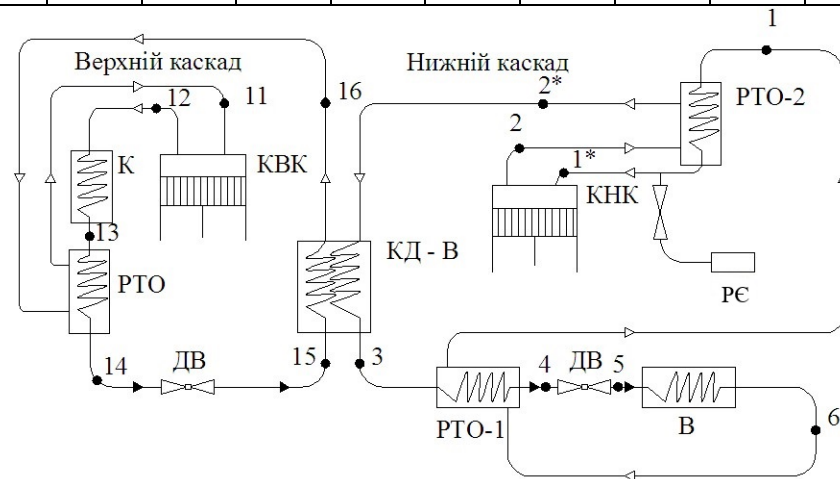


Рис.3.3 Каскадна холодильна схема із двома РТО на нижньому каскаді.

3.5 Підбір устаткування.

За даними розрахунків для циклу на R290 підбираємо 2 гвинтові компресори компанії Маекава марки 170JL з об'ємною продуктивністю $V_{\text{км}} = 210 - 1030 \text{ м}^3/\text{год}$ та вартістю 25 000 євро.

За даними розрахунків для циклу на R744 підбираємо 2 гвинтові компресори компанії Маекава марки 170JM з об'ємною продуктивністю $V_{\text{км}} = 130 - 790 \text{ м}^3/\text{год}$ та вартістю 30 000 євро.

Зведемо результати підбору компресорів модифікованої установки в таблицю 3.3

Таблиця 3.3 Результат підбору компресорів

Агент	Об'ємна витрата, $\text{м}^3/\text{год}$	Марка компресору	Кількість компресорів шт	Вартість за 1 шт, євро	Вартість сумарна, євро
R744	285	Мусом JM170	2	30 000	60 000
R290	690	Мусом JL170	2	35 000	70 000

Зведемо результати підбору конденсаторів для установки в таблицю 3,4.

Таблиця 3.4 Результати підбору конденсаторів верхнього каскаду

Параметр	Значення
Холодоагент	R290
Теплове навантаження конденсатора	330,9 кВт
Коефіцієнт запасу	1,15
Розрахункова потужність	380,5 кВт
Тип конденсатора	Повітряний
Кількість вентиляторів	6–8
Діаметр вентиляторів	800–910 мм
Витрата повітря	70 000–80 000 $\text{м}^3/\text{год}$
Виробник, Модель	Güntner, V-shape VARIO

Отже, з усього вище зазначеного можна зробити наступні висновки:

- Схемне рішення, яке було прийняте цілком допустиме, про що свідчать результати розрахунків. Схема, що має широке поширення серед машин що працюють на хладажах (Рис.3.3) застосовувати у нашому випадку недоцільно, оскільки встановлення РТО-2 призведе до значного збільшення роботи КНК, що працює на вуглекислоті (із-за своїх специфічних властивостей в області ненасиченого пару);
- Холодильний коефіцієнт (ϵ_T) вищий на 64% ніж у каскадній машині, що працює на R22 і R13 в якості холодильних агентів, і рівний відповідному ϵ_T двоступеневій холодильній машині на R22;
- Степінь термодинамічної досконалості ($\eta_{\text{стс.д}}$) лежить в традиційних межах (0,5...0,7) для каскадних машин. Це свідчить про те, що робота, що затрачується на виробництво холоду більша чим величина виробленого холоду. Із точки зору термодинаміки це недоцільно, однак холодильні машини не мають альтернативи, тому для отримання таких низьких температур необхідно “платити” дорого.
- Температурний рівень (+40 ÷ -50) цілком допустимий, але необхідно провести додаткові розрахунки для визначення оптимальної температури кипіння нижнього каскаду.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

При переведенні холодильного обладнання на альтернативні холодильні агенти надзвичайно актуальною стає задача вибору робочого тіла, яке володіє високою екологічною чистотою та максимальною енергетичною ефективністю.

При умовах гострої енергетичної кризи в Україні задача вибору альтернативних робочих тіл для холодильного обладнання має пріоритетне значення, оскільки буде визначати конкурентоспроможність виробляемого холодильного обладнання, в значній мірі сприяти зниженню енергетичних витрат при виробництві штучного холоду.

Після детального дослідження можливих комбінацій холодильних агентів на каскадній холодильній установці ми зупинились на вуглекислоті (верхній каскад) і пропанові (нижній каскад).

Вуглекислота (CO_2) — належить до групи загальноотруйної дії. Маючи спорідненість до гемоглобіну приблизно в 300 разів вищу, ніж у кисню, витісняє його з неміцної сполуки з гемоглобіном і разом із цим блокує дихальні ферменти, що перешкоджає переносу кисню, його передачі і засвоєнню тканинами. Сполука CO_2 із гемоглобіном називається карбоксигемоглобін. Наростання кількості карбоксигемоглобіну в крові призводить до гіпоксії, а потім аноксії — припинення тканинного дихання, що веде до тяжких уражень та смерті.

Оксид вуглецю не має подразнюючої дії і його неможливо визначити по запаху. CO_2 — це безбарвний газ, без смаку, іноді з дуже слабким часниковим запахом. Густина за повітрям 0,96. В суміші з киснем вибухає. Майже не поглинається активовані вугіллям, тобто звичайні протигази марні. Гранично допустима концентрація CO_2 у повітрі: 1,7-2,3 мг/л — небезпечна після годинного впливу 4,6 мг/л і вище — смерть при експозиції менше, ніж за годину.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пропан, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$, насичений вуглеводень; безбарвний горючий газ, без запаху; температура спалахування $187,7\text{ }^\circ\text{C}$, температура кипіння $-42,1\text{ }^\circ\text{C}$; межі вибуховості в суміші з повітрям $2,1\text{—}9,5\%$ (за об'ємом); міститься в природних і попутних нафтових газах, в газах, що отримуються з CO і H_2 , а також при переробці нафти. У промисловості каталітичним дегідруванням пропану отримують пропилен, нітрацією — нітрометан (у суміші з нітроетаном і нітропропаном); пропан використовують також як розчинник (наприклад, при депарафінізації нафтопродуктів), в суміші з бутаном — як побутовий газ.

Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом. Згідно нормативному документу «Правила устрою і безпечної експлуатації холодильних установок» категорія приміщень лабораторних установок по вибуховій, вибухово-пожежній і пожежній небезпеці, по мірі небезпеки поразки електричним струмом відповідає Сніп 2.09.08-85 і вимогам ПУЕ (Правила устрою електроустановок). Згідно «Правил улаштування електроустановок» холодильна установка відноситься до приміщень напругою до 1000В

Випробування судів, працюючих під тиском.

Сосуди підлягають технічному освідочтву: внутрішньому огляду, гідравлічним випробуванням (оскільки вони встановлені перед пуском в роботу), внутрішньому нагляду у раз на два роки, гідравлічним випробуванням – один раз на вісім років.

При гідравлічному випробуванню пробним тиском час витримки сосуда залежить від товщини стінки сосуда: до 50мм – 10хв , $50 \div 100\text{мм}$ – 20хв , більш ніж 100мм – 30хв . Вилиті сосуди, незалежно від товщини стінки витримують під пробним тиском 60хв . Сосуд вважається витримавшим випробування, якщо не виявлено ознак розривів, течі, сльозок, в зварювальних з'єднаннях і основному металі, видимих залишкових деформацій.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні вимоги до конструкції сосуда наступні: надійність, безпека в експлуатації, можливість проведення оглядів, очистки, промивання та ремонту.

Випробовування на міцність та щільність проводимо повітрям. Тиск поетапно збільшуючи із зупинками через 0,3МПа. На стороні нагнітання - тиск 2,5МПа, а на стороні всасування – 2МПа. Тиск утримуємо протягом 5хв. після чого знижуємо до максимального робочого. на стороні нагнітання – 2МПа, на стороні всасування – 1,6МПа утримуємо протягом 15годин. У перші три години здійснюється вирівнювання температури та тиску. Наступні 12годин не припускається зміна тиску по манометру класу 1,5 , після цього систему вакуумуємо до залишкового тиску 5,3КПа і утримуємо протягом 18 годин. В перші 6 годин припускається підвищення тиску, але не вище ніж на 50% від початкового вакуумування.

Розрахунок та підбір запобіжного клапану.

Апарати та сосуди із безпосереднім охолодженням мають пружинні запобіжні клапани у відповідності з вимогами «правил устрою та безпечної експлуатації судів, що працюють під тиском». Установка запорної арматури між апаратом та запобіжним клапаном заборонена. Необхідна установка переключаючогося вентиля із двома запобіжними клапанами.

Випуск холодильного агенту в атмосферу через запобіжний клапан виконуємо за допомогою трубопроводу, виведеного на один метр вище конька даху самої високої будівлі у радіусі 50 метрів від лабораторії.

Пропускную спроможність клапана вибираємо із врахуванням максимально можливого утворення в суді та надходженню до нього пару з живильного джерела, при відсутності розходу із сосуда.

$$M = \mu \cdot F \cdot \beta \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (P_1 - P_2)},$$

де $\mu=0,6$ – коефіцієнт розходу;

F – площа перерізу клапану, м²;

β – коефіцієнт, залежний від показника адіабати;

ρ – щільність сереловища для параметрів P_1 та t_1 ;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

P_1 – максимальний абсолютний тиск перед запобіжним клапаном, Па;

$P_2 = 0,1 \cdot 10^6$ – тиск поза запобіжним клапаном, Па.

Площа перерізу клапана (для компресора верхнього каскаду):

$$F = \frac{M}{\mu \cdot \beta \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (P_1 - P_2) \cdot 10^6}}, \text{ м}^2$$

$$F = \frac{0,394}{0,6 \cdot 0,92 \cdot \sqrt{2 \cdot 6,08 \cdot (0,299 - 0,1) \cdot 10^6}} = 0,4588 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Діаметр необхідного проходу.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,4588 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,024 \text{ м, приймаємо } d_y = 30 \text{ мм.}$$

Площа перерізу клапана (для компресора нижнього каскаду):

$$F = \frac{M}{\mu \cdot \beta \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (P_1 - P_2) \cdot 10^6}}, \text{ м}^2$$

$$F = \frac{0,394}{0,6 \cdot 0,92 \cdot \sqrt{2 \cdot 14,28 \cdot (0,6 - 0,1) \cdot 10^6}} = 0,188 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Діаметр необхідного проходу.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,188 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0155 \text{ м, приймаємо } d_y = 20 \text{ мм.}$$

Не рідше одного разу на 12 місяців запобіжні клапани перевіряємо на стенді на спрацювання, а потім опломбовуємо.

Контрольно-вимірювальні прилади.

В приміщенні лабораторії використовуємо манометри класу точності 1,5 і встановлюємо їх таким чином щоб виключити вібрацію та щоб їх показники було чітко видно, циферблат розташовуємо вертикально або з нахилом в перед до 30°.

Манометри і мановакуметри, встановлені на висоті 3-5 метрів від рівня обслуговування мають діаметр не менш 0,2 метрів. Усі встановлені манометри опломбовані та мають тавро перевірки. Перевірка манометрів здійснюється щорічно. Терміни держперевірки – 1 рік.

Організація безпечної експлуатації холодильної установки лабораторії.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

До обслуговують холодильну установку особи, не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд та які мають свідоцтво про закінчення спеціального учбового закладу або курсів:

- по експлуатації холодильної установки;
- для слюсарів КВП (контрольно-вимірювальні прилади) та автоматики;
- по автоматизації холодильної установки.

До самостійного обслуговування холодильної установки машиністи допускаються тільки після проходження стажування терміном не менше 1 місяця, в результаті якого вони опановують обслуговування конкретної установки та підтримці нормальних режимів її роботи та відповідної перевірки знань.

Стажування проводиться досвідчені наставники. Допуски до стажування та самостійної роботи здійснюються розпорядженням по лабораторії. Персонал, працюючий в лабораторії проходить інструктаж з охорони праці.

Заправка холодильних установок холодильним агентом.

Перед заповненням холодильної установки холодильним агентом перевіряємо, щоб в балоні містився відповідний холодильний агент. Перевірка проводимо по величині тиску пари холодильного агенту при температурі балона , рівній температурі навколишнього повітря. Перед перевіркою балон знаходиться в даному приміщенні не менше 6 годин. Залежність тиску холодильного агенту від температури навколишнього повітря перевіряється по таблиці насиченої пари.

Забороняється заповнювати холодильну установку холодильним агентом, що не має документації, підтверджуючої його якість.

Відкриваємо колпачкову гайку на вентилі балона в захисних окулярах. При цьому вихідний отвір вентиля балона має бути направлений убік від працівника. .

Не допускається залишати балони з холодильним агентом, приєднаними до холодильної установки, якщо не виконується заповнення або видалення з неї холодильного агенту.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заповнення холодильним агентом виконують організації - виготовлювачі, якщо це не заперечує документація на установку.

Поповнення установок холодильним агентом виконується відповідно до вимог, викладених в інструкції організації-виготовлювача. Балони з холодильним агентом зберігаються на спеціальному складі.

Балон забороняється поміщати біля джерел тепла і токоведущих кабелів і дротів. Норма заповнення не перевищує допустимих значень, вказаних, зокрема, в Правилах пристрою і безпечної експлуатації судин, працюючих під тиском. Перевірка наповнення балонів виконується зважуванням. Первинне заповнення холодильної установки холодильним агентом оформляється актом (з додатком розрахунку необхідної кількості холодильного агенту).

Пожежна профілактика.

Границі вогнестійкості будівельної конструкції, яка визначається від початку випробування конструкції на вогнетримкість до виникнення до однієї із наступних ознак: утворення в конструкції наскрізних тріщин або наскрізних отворів, через які проникають продукти горіння або полум'я, підвищення температури на непідігріваній поверхні конструкції більше ніж на 180°C у порівнянні з температурою до випробування; втрата конструкцією несущої спроможності (завалення).

Для захисту будівлі від розповсюдження пожежі на весь об'єкт (при виникненні на якій-небудь ділянці) передбачуються протипожежні перегородки. До них відносять протипожежні стіни, перегородки, перекриття, конструкції протипожежних зон, а також заповнення світлових проїомів в протипожежних перегородках виконуються із негорючих матеріалів.

Пожежна сигналізація.

Надійний пожежний зв'язок і сигналізація грають важливу роль у своєчасному виявленні пожеж і виклику пожежного підрозділу до місця пожежі.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електричну пожежну сигналізацію складаємо установлені на ділянках і цехах лабораторії оповіщувачі, з допомогою котрих сигнал передається на пункт зв'язку, пожежної частини.

Теплові оповіщувачі працюють при підвищенні температури оточуючого середовища. Приймальна станція, отримавши сигнал з оповіщувача перетворює його у звукові та світлові сигнали.

Пожежний інвентар.

На території лабораторії встановлюються спеціальні пожежні щити з набором засобів первинного пожежотушіння:

- вогнегасник пінний – 2 шт.;
- вогнегасник вуглекислотний – 1 шт.;
- ящик з піском ($V=0,1 \text{ м}^3$) та лопата;
- багор;
- відро;
- лом;
- щільне полотно (волок, асбест).

Для гасіння пожеж у початкової стадії застосовуємо пінні хімічні вогнегасники. Промисловість випускає вогнегасник ВХП-10 (вогнегасник хімічний пінний, модель 10).

Забороняється застосовувати цей тип вогнегасника для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, так як утворена піна електропровідна. Час роботи вогнегасника 60-65секунд.

Вуглекислотні вогнегасники застосовуємо для гасіння пожеж у електроустановках, що знаходяться під напругою.

Промисловість випускає вогнегасники ВВ-2, ВВ-5, ВВ-8 (вогнегасник вуглекислотний місткістю 2, 5 та 8 літрів).

Порошкові вогнегасники застосовуємо для гасіння горючої рідини та електроустановок, що знаходяться під напругою. Промисловість випускає порошкові вогнегасники трьох типів ВП-1 «Спутник», ВП-1Б Момент та ВПЕ-10. Дія вогнегасника 20-50секунд.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заземлення.

Захисне заземлення – намірене з'єднання з землею металевих частин обладнання, яке не знаходиться під напругою у звичайних умовах, але які можуть опинитися під напругою в результаті порушення ізоляції електроустановки. Опір ізоляції не менше 0,5 МОм.

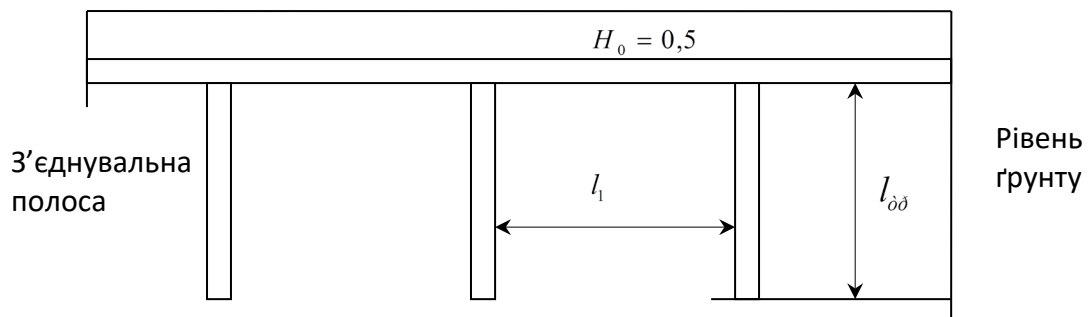
Ідея захисного заземлення складається в тому, що при появі на металевих частинах об'єкта, який захищається, створити основний шлях для утічки струму в землю не через тіло людини, а через заземлюючий провід.

В якості заземлюючих проводів використовують спеціальні провідники.

Для визначення технічного стану заземлюючих пристроїв здійснюємо огляди, при яких перевіряємо наявність електричного кола між заземленим обладнанням та заземлювачем і вимірюємо опір заземлюючих пристроїв, не рідше одного разу на рік. Гранично припустимий опір заземленого пристрою в установках з напругою до 1000В не перевищує 4Ом.

Розрахунок заземлюючого обладнання.

Схема системи заземлення.



1. Визначимо дійсний опір ґрунту:

$$\rho_{\alpha\delta} = \rho_{\delta\zeta} \cdot \varphi, \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

де $\rho_{\delta\zeta} = 0,4 \cdot 10^2$ – фізичний опір ґрунту;

φ – кінетичний коефіцієнт, $\varphi = 1 \div 2$, обираємо $\varphi = 1,1$.

$$\rho_{\alpha\delta} = 0,4 \cdot 10^2 \cdot 1,1 = 0,44 \cdot 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

2. Визначимо опір одного вертикального заземлювача:

$$R_{\partial\partial} = \frac{\rho_{\partial\partial}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\partial\partial}} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_{\partial\partial}}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + l_{\partial\partial}}{4H - l_{\partial\partial}} \right)$$

$$H = H_0 + \frac{l_{\partial\partial}}{2}, \text{ м} \quad H = 0,5 + \frac{2,5}{2} = 1,75 \text{ м.}$$

$$R_{\partial\partial} = \frac{0,44 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,06} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,75 + 2,5}{4 \cdot 1,75 - 2,5} \right) = 18,15 \text{ Ом.}$$

3. Визначаємо кількість стержнів:

$$n_1 = \frac{R_{\partial\partial}}{R_{\text{ндоі}}}, \text{ шт. } R_{\text{ндоі}} = 4 \text{ Ом.}$$

$$n_1 = \frac{18,5}{4} = 4,6$$

приймаємо $n_1 = 6$,

при довжині труби $l_{\partial\partial} = 2 \text{ м}$ і відстані між ними $l_1 = 6 \text{ м}$, $\frac{l_1}{l_2} = 3$.

Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів: $\eta = 0,85$.

4. Визначаємо опір системи вертикальних заземлювачів:

$$R_{\partial\partial}^{\text{нєн}} = \frac{R_{\partial\partial}}{n \cdot \eta} = \frac{18,15}{6 \cdot 0,85} = 3,55 \text{ Ом.}$$

5. Визначаємо довжину з'єднувальної полоси:

$$L_n = (n - 1) \cdot l_1 + 50 \div 100, \text{ м}$$

$$L_n = (6 - 1) \cdot 6 + 82,5 = 112,5, \text{ м}$$

6. Визначаємо опір з'єднувальної полоси:

$$R_n = \frac{\rho_{\partial\partial}}{2\pi \cdot L_n \cdot \eta} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_n^2}{b \cdot H_0}, \text{ Ом}$$

$b = 0,05 \text{ м}$ – ширина полоси;

7. загальний опір системи заземлення:

$$R_{\text{заа}} = \frac{R_{\partial\partial}^{\text{нєн}} \cdot R_n}{R_{\partial\partial}^{\text{нєн}} + R_n}, \text{ Ом;}$$

$$R_{\text{заа}} = \frac{3,55 \cdot 13,4}{3,55 + 13,4} = 2,8 \text{ Ом.}$$

$$R_{\text{заа}} < 4 \text{ Ом.}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виробнича санітарія.

Лабораторія є просторою, добре освітленою, обігрітою, в перехідний та холодний періоди року. Об'єм приміщення лабораторії на кожного працюючого складає більше 1,5м³, а площа приміщення – не менше 4,5м².

Конструкції зовнішніх огорожень опалювального приміщення виключають утворення конденсату на їх внутрішніх поверхнях.

Для попередження поглинання і накопичення токсичних речовин та руйнування агресивними речовинами внутрішніх поверхонь приміщень захищені глазурованими керамічними плитками кислототривкими штукатурками, олійними фарбами та іншим подібним покриттям, яке легко піддається чищенню. Підлога лабораторії виготовлена із вологогазонепроникненого матеріалу (бетону).

Вентиляція.

Утворення сприятливих метеорологічних умов на робочих місцях залежить від раціонального устрою систем вентиляції, кондиціонування повітря та опалення.

За характером дії вентиляцію розділяють на приточну, витяжну та приточно-витяжну, за місцем дії – загально обмінну та місцеву.

В приміщень є аварійна та витяжна вентиляцію.

Найбільш ефективною є приточно-витяжна вентиляція, яка здійснюється за допомогою вентиляторів одночасну подачу свіжого повітря та видалення забрудненого. Лабораторії обладнують вентиляцією із кратністю циркуляції 3 для приточної та 4 для витяжної.

Кількість повітря, необхідного для вентиляції визначаємо знаючи кількість виділяємих шкідливих речовин і їх концентрації у видаленому і приточному повітрі. Для приблизних розрахунків використаємо метод кратності:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L = k \cdot V, \text{ м}^3/\text{ч}$$

де k – коефіцієнт кратності, 1/год,

V – об'єм приміщення, м^3 ,

Приймаємо слідуючі коефіцієнти кратності вентиляції:

Витяжна: $k = 4$;

Приточна: $k = 3$;

Аварійна: $k = 4$.

Об'єм приміщення лабораторії складає:

$$V = A \cdot B \cdot H, \text{ м}^3$$

де A – довжина, $A = 6,0 \text{ м}$;

B – ширина, $B = 4,0 \text{ м}$;

H – висота, $H = 3,2 \text{ м}$.

$$V = 6 \cdot 4 \cdot 3,2 = 76,8 \text{ м}^3/\text{год}.$$

1 визначаємо продуктивність вентиляції по кратності повітрообміну:

$\text{м}^3/\text{год}$;

$$L_{\text{прит}} = 3 \cdot 76,8 = 230,4 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_{\text{авар}} = 4 \cdot 76,8 = 307 \text{ м}^3/\text{год}.$$

2. Потужність електродвигуна вентилятора визначаємо по формулі:

$$N = \frac{k \cdot L \cdot \Delta P_n \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot \eta_{\text{вент.}} \cdot \eta_{\text{перед.}}}, \text{ кВт.}$$

де ΔP_n - втрати тиску в мережі трубопроводів;

Для розрахунків приймаємо високонапорний вентилятор $\Delta P_n = 3000 \text{ Па}$;

$\eta_{\text{вент}}$ – К.К.Д. вентилятора

$$\eta_{\text{вент.}} = 0,6 \div 0,8, \text{ приймаєм } \eta_{\text{вент.}} = 0,7$$

$\eta_{\text{пр}}$ – К.К.Д. привода вентилятора

$$\eta_{\text{пр.}} = 0,9 \div 1, \text{ приймаєм } \eta_{\text{пр.}} = 0,95.$$

$$N_{\text{выт}} = \frac{4 \cdot 307 \cdot 3000 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,95} = 1,54 \text{ кВт}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\text{прит}} = \frac{3 \cdot 230 \cdot 3000 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,95} = 0,86 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{авар}} = \frac{4 \cdot 307 \cdot 3000 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,95} = 1,54 \text{ кВт}$$

У відповідності із розрахунку по каталогу підбираємо вентилятор.

Розрахунок освітлення.

Розрахунок системи штучного освітлення проводим по наступним даним:

Довжина приміщення, $A = 6,0 \text{ м}$;

Ширина приміщення, $B = 4,0 \text{ м}$;

Висота підвісу світильника $H = 3,2 \text{ м}$;

Напруга в мережі $V = 220 \text{ В}$.

Вибираємо в якості джерела світла газорозрядні лампи. Система освітлення - загальна. Вибираємо світильник типу ПВЛП.

Відстані між центрами світильників (L) до висоти їх підвісу ($H_{\text{раб}}$) складає:

$$H_{\text{раб}} = H - 0,8 = 3,2 - 0,8 = 2,4 \text{ м}$$

$$\text{В даному випадку приймаємо } \frac{L}{H_{\text{раб}}} = 1,5$$

$$H_{\text{раб}} = 2,4 \text{ м, тоді } L = 3,6 \text{ м}$$

Визначаємо кількість необхідних світильників:

$$N = \frac{A \cdot B}{L^2}$$

Визначаємо світловий потік ламп світильника:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot \kappa \cdot z \cdot 100}{N \cdot \eta}, \text{ лм}$$

де E_n – мінімальна нормуємо освітленість, приймаємо $E_n = 400 \text{ лк}$,

S – площа приміщення, $S = 24,0 \text{ м}^2$,

κ – коефіцієнт запасу, що враховує старіння ламп, $\kappa = 1,5$,

z – відношення середньої освітленості до мінімальної,

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$z = 1,1$ (для люмінесцентних ламп),

η – коефіцієнт, використання світлового потоку, який залежить від індекса приміщення - i .

Визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_{\text{раб.}} \cdot (A + B)},$$

$$i = \frac{6.0 \cdot 4.0}{2.4 \cdot (6.0 + 4.0)} = 1$$

$$\Phi = \frac{400 \cdot 24 \cdot 1.5 \cdot 1.1 \cdot 100}{2 \cdot 0.39} = 20307 \text{ лм}$$

У відповідності із виконаним розрахунком вибираємо 4 світильника із двома лампами ($n=2$) ЛБ 80 ($r=80$ Вт) із світловим потоком 10440 лм.

Потужність світильників:

$$R = r \cdot N \cdot n = 80 \cdot 4 \cdot 2 = 640 \text{ Вт.}$$

Долікарська допомога.

Поразка холодильним агентом.

При отруєнні постраждалого необхідно вивести на свіже повітря або в чисте тепле приміщення. При цьому слід звільнити його від стискаючого дихання одягу, зняти забруднений холодильним агентом одяг і надати постраждалому повний спокій. У всіх випадках отруєння давати вдихати йому медичний кисень протягом 30...45 хвилин (з гумової подушки, балона), зігріти хворого (обкласти грілками). В випадку глибокого сну і можливого зниження больової чутливості слід дотримуватися обережності, аби не викликати опіків. Необхідно постраждалому давати пити міцний солодкий чай або каву, вдихати з вати нашатирний спирт. Незалежно від стану постраждалого має бути викликана швидка допомога.

За наявності явищ роздратування слизової оболонки виконуємо полоскання носа і гортані 2 %-вим розчином соди або водою. При попаданні холодильного агента в очі здійснюємо рясне промивання очей струменем чистої води. Потім до приходу лікаря надіваємо темні захисні окуляри. Не

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забинтовувати очі, не накладати на них пов'язок. При попаданні холодильного агенту на шкіру спостерігається процес її відмороження. В цьому випадку занурюємо уражену кінцівку в теплу воду (35...40 °С) на 5...10 хвилин. Після цього на пошкоджену ділянку накладаємо марлеву пов'язку. В випадку появи пухирів накладаємо марлеву пов'язку на пухірі.

В лабораторії є аптечка із засобами для надання долікарської допомоги:

- нашатирний спирт (для дихання);
- валеріанові краплі;
- двовуглекисла сода (для промивання очей або полоскання горла);
- темні захисні окуляри;
- мазь Вишнєвського або Пеніцилін (для змазування пошкодженої поверхні шкіри);
- серветки, вата, бинти;
- дерев'яні лопатки (для узяття і накладення мазі). В спеціально відведеному місці слід мати балон з медичним киснем і устаткуванням до нього.

Ураження електричним струмом.

Перша перед лікарська допомога у нещасних випадках від електричного струму складається з двох етапів: звільнення потерпілого від дії струму та надання йому медичної допомоги. Звільнення потерпілого від дії струму здійснюється кількома способами. Найбільш простий та правильний спосіб – це відключення відповідної частини електроустановки. Якщо відключення швидко зробити неможна через будь-які причини (наприклад, далеко розташований вимикач), можливо при напрузі до 1000 В перерубати дроти сокирою з дерев'яною рукояткою або відтягнути потерпілого від струмопровідної частини, тримаючись за його одяг, якщо він сухий, відкинути від нього дріт за допомогою дерев'яної палиці та ін.

При напрузі більше 1000 В слід застосовувати діелектричні рукавиці, боти та в необхідних випадках ізолюючу штангу або ізолюючі кліщі.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано проєкт виробничого рибного холодильника для морського порту м. Херсон продуктивністю 52 т на зміну із застосуванням енергоощадної каскадної холодильної установки на природних холодоагентах R744 (CO₂) та R290 (пропан).

У процесі виконання роботи проведено аналіз сучасних технологій холодильного оброблення та зберігання рибної продукції. Встановлено, що для забезпечення тривалого зберігання мороженої риби необхідно підтримувати стабільні низькотемпературні режими, що потребує використання високоефективних холодильних систем із мінімальним енергоспоживанням.

Виконано огляд сучасних холодильних установок, що застосовуються на підприємствах рибної промисловості. Проведене порівняння систем на холодоагентах R404A, R507A, R717 та R744 показало переваги використання природних холодоагентів з точки зору енергоефективності, екологічної безпеки та відповідності сучасним міжнародним вимогам щодо скорочення викидів парникових газів.

На підставі аналізу технічних та експлуатаційних характеристик було обґрунтовано вибір каскадної холодильної установки, в якій верхній каскад працює на пропані (R290), а нижній – на діоксиді вуглецю (R744). Обрана схема дозволяє поєднати високу енергетичну ефективність пропану при середньотемпературних режимах роботи з перевагами CO₂ у низькотемпературному контурі.

У роботі виконано розрахунок теплових навантажень холодильника, визначено параметри технологічних процесів заморожування та зберігання рибної продукції, а також розраховано основні параметри холодильної установки. На основі отриманих результатів здійснено підбір основного холодильного обладнання, зокрема компресорів, теплообмінних апаратів,

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

каскадного теплообмінника, випарників та повітряного конденсатора верхнього каскаду.

Для верхнього каскаду холодильної установки прийнято холодоагент R290, який характеризується високим коефіцієнтом енергоефективності, нульовим озоноруйнівним потенціалом та незначним впливом на глобальне потепління. Нижній каскад на CO₂ забезпечує ефективну роботу при низьких температурах кипіння, необхідних для заморожування та зберігання рибної продукції.

Застосування каскадної схеми дозволило знизити робочі температурні перепади в окремих контурах, покращити умови роботи компресорного обладнання та підвищити загальну енергоефективність системи порівняно з традиційними одноступеневими установками на синтетичних холодоагентах.

Використання природних холодоагентів R290 та R744 забезпечує практично повну відсутність негативного впливу на озоновий шар та суттєве скорочення еквівалентних викидів парникових газів у порівнянні з установками на R404A та R507A. Це дозволяє розглядати розроблений проєкт як перспективне технічне рішення для сучасних підприємств холодильної промисловості.

Результати роботи підтверджують технічну та економічну доцільність застосування каскадної холодильної установки на природних холодоагентах для виробничого рибного холодильника морського порту. Запропоновані технічні рішення забезпечують надійне холодильне оброблення та зберігання рибної продукції, зниження експлуатаційних витрат, підвищення енергоефективності підприємства та відповідність сучасним екологічним вимогам.

Схемне рішення, яке було прийняте цілком допустиме, про що свідчать результати розрахунків. Схема, що має широке поширення серед машин що працюють на хладагонах (Рис.3.3) застосовувати у нашому випадку недоцільно, оскільки встановлення РТО-2 призведе до значного збільшення

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

роботи компресора нижнього каскаду, що працює на вуглекислоті (із-за своїх специфічних властивостей в області ненасиченого пару).

Результати теплового розрахунку показують:

- Холодильний коефіцієнт (ϵ_T) вищий на 64% ніж у каскадних машин, що працює на R22 і R13 в якості холодильних агентів, і рівний відповідному ϵ_T двоступеневій холодильній машині на R22;
- Ступінь термодинамічної досконалості ($\eta_{\text{стс.д}}$) лежить в традиційних межах (0,5...0,7) для каскадних машин. Це свідчить про те, що робота, що затрачується на виробництво холоду більша чим величина виробленого холоду. Із точки зору термодинаміки це недоцільно, однак холодильні машини не мають альтернативи, тому для отримання таких низьких температур необхідно “платити” дорого.
- Температурний рівень (+40 ÷ -50) цілком допустимий, але необхідно провести додаткові розрахунки для визначення оптимальної температури кипіння нижнього каскаду.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тітлов О.С., Василів В.Б., Загороднюк Л.М. Холодильні машини та установки : підручник. – Одеса : Астропринт, 2019. – 312 с.
2. Тітлов О.С. Проектування холодильних установок : навчальний посібник. – Одеса : ОНТУ, 2021. – 268 с.
3. Бараненко О.В., Шевченко В.В., Остапенко В.І. Холодильна техніка та технологія : навчальний посібник. – Київ : НУХТ, 2018. – 356 с.
4. ДСТУ EN 378-1:2017. Холодильні системи та теплові насоси. Вимоги щодо безпеки та охорони довкілля. Частина 1. Основні вимоги, визначення, класифікація та критерії вибору.
5. ДБН В.2.2-42:2021. Будівлі і споруди. Холодильники.
6. Правила охорони праці під час експлуатації холодильних установок. НПАОП 0.00-1.81-18.
7. Stoecker W.F. Industrial Refrigeration Handbook. – New York : McGraw-Hill, 1998. – 782 p.
8. ASHRAE Handbook – Refrigeration. – Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2022. – 810 p.
9. Granryd E., Ekroth I., Lundqvist P., Melinder Å. Refrigerating Engineering. – Stockholm : Royal Institute of Technology, 2011. – 654 p.
10. Dossat R.J., Horan T.J. Principles of Refrigeration. – 6th ed. – New York : Pearson Education, 2018. – 736 p.
11. Arora C.P. Refrigeration and Air Conditioning. – 4th ed. – New Delhi : McGraw-Hill Education, 2021. – 1100 p.
12. Wang C.C. Handbook of Air Conditioning and Refrigeration. – 3rd ed. – New York : McGraw-Hill, 2020. – 1500 p.
13. Pearson A. Industrial Refrigeration: Theory, Design and Applications. – London : Institute of Refrigeration, 2015. – 420 p.
14. International Institute of Refrigeration (IIR). Refrigeration Drives Sustainable Development. – Paris : IIR, 2019. – 224 p.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

15. International Institute of Ammonia Refrigeration (IAR). Ammonia Refrigeration Piping Handbook. – Alexandria, VA : IAR, 2021. – 368 p.
16. Lorentzen G. Revival of Carbon Dioxide as a Refrigerant // International Journal of Refrigeration. – 1994. – Vol. 17, No. 5. – P. 292–301.
17. Pearson A. Carbon Dioxide – New Uses for an Old Refrigerant // International Journal of Refrigeration. – 2005. – Vol. 28. – P. 1140–1148.
18. Sarkar J. Transcritical CO₂ Refrigeration Systems: Fundamentals and Applications. – Boca Raton : CRC Press, 2022. – 420 p.
19. Lambers J. Industrial Cascade Refrigeration Systems Using Natural Refrigerants // International Journal of Refrigeration. – 2018. – Vol. 91. – P. 45–58.
20. Evans J.A. Frozen Food Science and Technology. – Oxford : Blackwell Publishing, 2008. – 456 p.
21. Fellows P.J. Food Processing Technology: Principles and Practice. – 5th ed. – Cambridge : Woodhead Publishing, 2022. – 1150 p.
22. ASHRAE Standard 15-2022. Safety Standard for Refrigeration Systems. – Atlanta : ASHRAE, 2022.
23. ASHRAE Standard 34-2022. Designation and Safety Classification of Refrigerants. – Atlanta : ASHRAE, 2022.
24. UNEP. Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee Assessment Report. – Nairobi : United Nations Environment Programme, 2022.
25. European Commission. Regulation (EU) No 517/2014 on Fluorinated Greenhouse Gases. – Brussels : European Union, 2014.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.15	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78