

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Холодильні машини і установки»
_____ Омельченко О.В.
« ____ » _____ 2026 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
за освітньою програмою «Холодильні машини і установки»

на тему: **ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ
ЗАМОРОЖУВАННЯ РИБИ**

Виконав:
здобувач вищої освіти _____ Вдовіченко Павло Володимирович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: _____ доцент, к.пед.н., Цвіркун Л.О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна
Ступінь бакалавр
Галузь знань Енергетична інженерія
Освітня програма Холодильні машини і установки

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Холодильні
машини і установки»

Омельченко О.В.
« » 2026 року

З А В Д А Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Вдовіченко Павлу Володимировичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Проектування холодильної установки для заморожування риби»

Керівник роботи к.пед.н., Цвіркун Л.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом ректора Криворізького національного університету від
«31» грудня 2025 р. № 85-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи « 12 » червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.
2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.
3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.
2. Аналіз обладнання холодильної установки для заморожування риби.
3. Реалізація двоступеневого холодильного циклу в процесі заморожування риби.
4. Аналіз результатів досліджень.

5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Обладнання холодильної установки для заморожування риби.

Реалізація двоступеневого холодильного циклу в процесі заморожування риби.

6. Дата видачі завдання «02» січня 2026 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	05.01.2026-15.02.2026
2	Аналіз обладнання холодильної установки для заморожування риби	16.02.2026-10.03.2026
3	Реалізація двоступеневого холодильного циклу в процесі заморожування риби	11.03.2026-15.04.2026
4	Аналіз результатів досліджень	16.04.2026-30.04.2026
5	Висновки по роботі	01.05.2026-12.05.2026
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2026-12.06.2026

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Вдовіченко П.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Цвіркун Л.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 47 сторінки. Робота містить 8 рисунків. Список використаних джерел складається з 22 найменувань.

Об'єкт роботи – холодильна установка для заморожування риби.

Предмет роботи – процес заморожування.

Мета роботи – проектування холодильної установки для заморожування риби.

У роботі зазначено, що використання низьких температур у харчовій промисловості для охолодження або заморожування дозволяє подовжити термін придатності сировини, як у свіжих, так і в оброблених продуктів протягом відносно тривалого часу, зберігаючи їх поживні та органолептичні властивості.

Здійснено порівняння циклів холодильної установки для вибору найбільш відповідного циклу для холодильної системи. Двоступеневий холодильний цикл з затопленими випарниками та відкритим проміжним охолоджувачем визнано найбільш ефективним рішенням. Холодильна система складається з двох одноступеневих компресорів, конденсатора, трьох розширювальних клапанів, двох випарників, відкритого проміжного охолоджувача. Обидві установки – камера швидкого заморожування та тунель з розсолем – не працюватимуть одночасно, але використовуватимуть спільні компресори, відкритий проміжний охолоджувач та конденсатор. Температури випарників у камері швидкого заморожування та в тунелі з розсолем складають відповідно -45°C та -25°C . Обидві паралельні гілки з'єднані за допомогою клапанів. Клапани служать для вибору, яка установка буде постачатися охолодженим аміаком і, відповідно, яка установка буде в роботі.

Випарники камери швидкого заморожування є стандартними виробами. Тим не менш, стандартні вентилятори замінені на більш потужні, щоб подолати високий перепад тиску, спричинений розташуванням риби в морозильній камері. Для розсольного тунелю запропоновано мідний змішувач, який поміщено в кільце з нержавіючої сталі, що контактує з розчином. Змішувачі переміщують рідину таким чином, щоб вона набувала циркуляційного руху. Обрано гвинтовий змішувач, оскільки цей тип підходить для простого руху та застосувань. Використовується електричний двигун для створення руху, змішувач розташовується всередині у вертикальному центральному положенні та забезпечує чистий осьовий потік.

Оптимальна проміжна температура для роботи камери шокової заморозки становила $-7,5^{\circ}\text{C}$, а для льодової тунельної установки 4°C . Для камери шокової заморозки обрано компресор низького ступеня, який працює при температурі випарника від -45°C до проміжної температури $-7,5^{\circ}\text{C}$. Компресор високого ступеня працює між проміжною температурою та температурою конденсатора 35°C . Коли камера шокового заморожування працює, потужності першого конденсатора достатньо для видалення тепла. Коли працює тунель для розсолу, обидва конденсатори працюватимуть одночасно.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: заморожування, випарник, компресор, конденсатор.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ РИБИ	7
1.1 Методи заморожування продуктів харчування	7
1.2 Обладнання холодительної установки	13
1.3 Типи випарників для холодительних систем	16
1.4 Розморожування випарника	20
РОЗДІЛ 2. РЕАЛІЗАЦІЯ ДВОСТУПЕНЕВОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ЦИКЛУ В ПРОЦЕСІ ЗАМОРОЖУВАННЯ РИБИ	23
2.1 Порівняння циклів роботи холодительної установки	23
2.2 Проектування камери швидкого заморожування	29
2.3 Проектування тунелю для розсолу методом занурення	34
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
3.1 Компоненти холодительної системи	40
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47
ДОДАТКИ	49

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування холодильної установки для заморожування риби			Лім.	Арк.	Аркуші		
Розроб.	Вдовіченко									5	1	
Перевір.	Цвіркун											
								ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО				
Н. Контр.	Омельченко											
Затверд.	Омельченко											

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що використання низьких температур у харчовій промисловості для охолодження або заморожування дозволяє подовжити термін придатності сировини, як у свіжих, так і в оброблених продуктів протягом відносно тривалого часу, зберігаючи їх поживні та органолептичні властивості.

Мета та задачі дослідження. Проектування холодильної установки для заморожування риби.

Практична та наукова новизна. Здійснено порівняння циклів холодильної установки для вибору найбільш відповідного циклу для холодильної системи. Двоступеневий холодильний цикл з затопленими випарниками та відкритим проміжним охолоджувачем визнано найбільш ефективним рішенням. Холодильна система складається з двох одноступеневих компресорів, конденсатора, трьох розширювальних клапанів, двох випарників, відкритого проміжного охолоджувача. Обидві установки – камера швидкого заморожування та тунель з розсолом – не працюватимуть одночасно, але використовуватимуть спільні компресори, відкритий проміжний охолоджувач та конденсатор. Температури випарників у камері швидкого заморожування та в тунелі з розсолом складають відповідно -45°C та -25°C . Обидві паралельні гілки з'єднані за допомогою клапанів. Клапани служать для вибору, яка установка буде постачатися охолодженням аміаком і, відповідно, яка установка буде в роботі.

Випарники камери швидкого заморожування є стандартними виробами. Тим не менш, стандартні вентилятори замінені на більш потужні, щоб подолати високий перепад тиску, спричинений розташуванням риби в морозильній камері. Для розсольного тунелю запропоновано мідний змішувач, який поміщено в кільце з нержавіючої сталі, що контактує з розчином. Змішувачі переміщують рідину таким чином, щоб вона набувала циркуляційного руху. Обрано гвинтовий змішувач, оскільки цей тип підходить для простого руху та застосувань. Використовується електричний двигун для створення руху, змішувач розташовується всередині у вертикальному центральному положенні та забезпечує чистий осьовий потік.

Оптимальна проміжна температура для роботи камери шокової заморозки становила $-7,5^{\circ}\text{C}$, а для льодової тунельної установки 4°C . Для камери шокової заморозки обрано компресор низького ступеня, який працює при температурі випарника від -45°C до проміжної температури $-7,5^{\circ}\text{C}$. Компресор високого ступеня працює між проміжною температурою та температурою конденсатора 35°C . Коли камера шокового заморожування працює, потужності першого конденсатора достатньо для видалення тепла. Коли працює тунель для розсолу, обидва конденсатори працюватимуть одночасно.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Вдовіченко			Проектування холодильної установки для заморожування риби			Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Цвіркун								6	1
								ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО			
Н. Контр.		Омельченко									
Затверд.		Омельченко									

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ РИБИ

1.1 Методи заморожування продуктів харчування

Споживання та різноманітність заморожених продуктів значно зросли через переваги порівняно зі свіжими продуктами. Використання низьких температур є одним із найдавніших методів збереження продуктів харчування. Коли низькі температури заморожують воду, що міститься в продуктах, вона стає недоступною для хімічних та біохімічних реакцій, що спричиняють поступову деградацію продуктів. Одночасний ефект низьких температур та зниження активності води спричиняє повне або часткове пригнічення основних агентів, відповідальних за псування продуктів. Використання низьких температур у харчовій промисловості, будь то для охолодження або заморожування, дозволяє подовжити термін придатності сировини, як у свіжих, так і в оброблених продуктів протягом відносно тривалого часу, зберігаючи їх поживні та органолептичні властивості.

Застосування концепцій тепла та масопереносу до сировини історично здійснювалося найчастіше через заморожування харчових продуктів. Інженери повинні знати ці принципи, щоб оцінити, спроектувати та обрати правильний процес і обладнання заморожування, визначаючи вимоги до потужності холодильної системи. Довготривале збереження сировини, що триває місяцями або роками, зазвичай передбачає заморожування. Основна ідея полягає в тому, що знизивши температуру продукту, більшість води та деякі розчинені речовини кристалізуються у лід [4, 6]. Цього досягають за допомогою ідей відчутного та прихованого тепла. Уповільнюючи швидкість фізичних, хімічних, метаболічних і мікробіологічних реакцій на сировину, заморожування допомагає зберегти її. Коли температура знижується або охолоджується, вода, що міститься в сировині стає менш доступною для участі в будь-якій із цих реакцій внаслідок фазового переходу від рідкої води до льоду. Тому заморожений продукт є більш стабільним і здатним зберігати свої відмінні характеристики під час транспортування та зберігання

Існує велика різноманітність продуктів харчування, таких як фрукти та овочі, м'ясо, морепродукти, молочні продукти та готові страви, які можуть зберігатися довше за допомогою заморожування [1-3]. Через великий попит на заморожені продукти важливо добре знати термофізичні властивості цих продуктів і механіку процесу заморожування. Під час процесу заморожування можна чітко виділити три етапи, а саме початкове замерзання – це період, протягом якого починається охолодження до утворення перших кристалів води у твердому стані (рис. 1.1). Основна стадія заморожування під час якого

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Вдовіченко			Проектування холодильної установки для заморожування риби				Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір.		Цвіркун									7	16
Н. Контр.		Омельченко							ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО			
Затверд.		Омельченко										

відбувається утворення кристалів води, що містяться в сировині, завжди за температури нижчої за точку плавлення води. Може виникати переохолодження, що спричиняє заморожування за змінної температури, спочатку кристалізується лише чиста вода, доки не почнуть утворюватися кристали розчиненої речовини, що спричиняє невеликий скачок температури, відомий як «евтектична точка», після чого настає заморожування. Охолодження (нижче точки замерзання) – зниження відчутної температури на цьому етапі видаляється лише відчутне тепло до досягнення бажаної температури вже замороженої сировини.

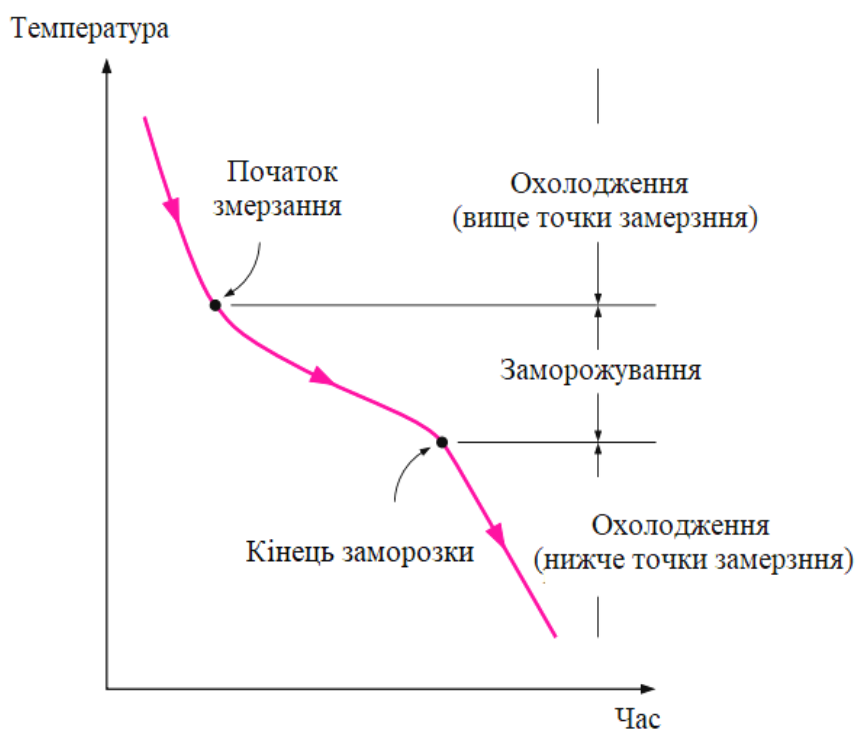


Рисунок 1.1 – Етапи заморожування продуктів харчування

Методи здійснення заморожування продуктів можна поділити на дві великі групи: контактні та повітряною течією. Основна відмінність між обома полягає в механізмі передачі тепла, що переважає під час процесу заморожування. У той час як у морозильних камерах із повітряним потоком механізм є по суті конвекційним, примусовим або природним, у контактних морозильниках заморожування відбувається в основному шляхом теплопровідності.

1. Заморожування контактним способом. У контактних морозильниках передача тепла відбувається головним чином за механізмом теплопровідності. У цій класифікації, у свою чергу, існують два типи: прямий і непрямий контакт. У перших теплообмін з продуктом відбувається через прямий контакт порожнистих пластин, по яких циркулює охолоджувальна рідина, приймаючи тепло, віддане продуктом [4, 6]. До цього типу належать пластинчасті морозильники у всіх їхніх варіантах: вертикальні чи горизонтальні для партії чи автоматичні. У випадку непрямого контакту продукт піддається обприскуванню якоюсь рідиною-кріогеном з метою його миттєвого

заморожування. У цю класифікацію входять занурювальні та обприскувальні морозильники.

Заморожування непрямим контактом, як випливає з назви, у цьому методі їжа та охолоджуюче середовище (теплоносій) розділені інтерфейсом або бар'єром. Саме тому цей метод називають методом заморожування непрямим контактом. Бар'єр може бути металевою пластиною або пакувальним матеріалом продукту, який перешкоджає прямому контакту між продуктом та охолоджуючим середовищем. Більшість заморожених продуктів є результатом використання систем заморожування непрямого контакту, де сировина відокремлена від холодоагенту якимось бар'єром.

Плоскі морозильники – це система непрямого заморожування, в якій харчовий продукт не має прямого контакту з середовищем, що використовується для підтримання температури продукту. Основна система плоских морозильників складається з плоских порожнистих плит та холодильної спіралі [4, 6]. Плити охолоджують поверхню, що контактує з харчовими продуктами (рис. 1.2). Плити виготовлені з алюмінію або м'якої сталі. Алюмінієві плити формуються з кількох порожнистих екструзійних секцій, що з'єднані встик зварюванням уздовж своєї довжини. Секції підключені на кожному кінці до розподільної камери, що дозволяє аміаку протікати туди і назад через кожен секцію плити. Харчові продукти розміщуються між складеними паралельними плитами, після чого накладається тиск для мінімізації термічного опору контакту між плитами та продуктом.

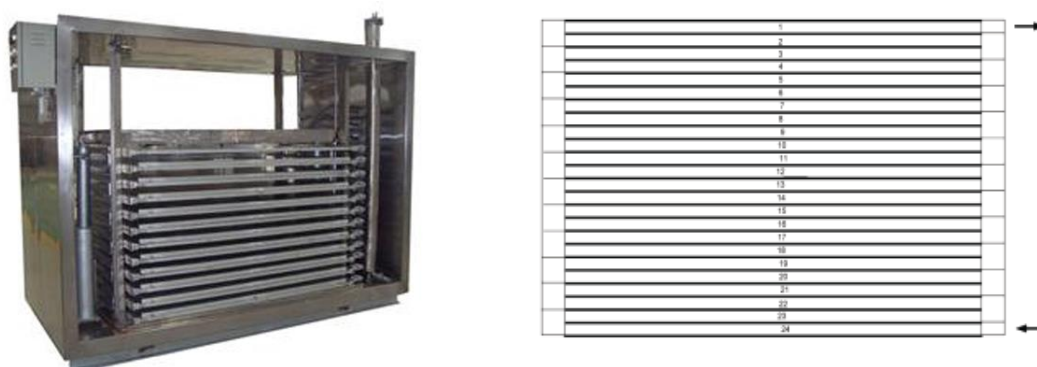


Рисунок 1.2 – Заморожування контактним способом

Продукт повинен мати плоску форму, тому для цього методу підходять розпаковані м'ясні та рибні продукти. Інші продукти неправильної форми, включаючи овочі, такі як цвітна капуста, шпинат, броколі та креветки, можна заморожувати за цим методом, упакувавши продукт у контейнер цегляної форми перед заморожуванням [1-3]. Охолоджена температура цього методу становить близько -30°C і для того, щоб заморозити коробки охолодженого та розділеного на частини м'яса до температури нижче -10°C , потрібно менше ніж 24 години. У пластинчастому морозильнику рибу, паковану у зазвичай плоскі або брускоподібні форми, розташовують між порожнистими пластинами, які можуть бути розташовані горизонтально або вертикально, а потім стискають

всередині морозильника за допомогою поршневого механізму, таким чином забезпечуючи щільний контакт продукту з пластинами. Через порожнисті пластини проходить холодоагент з температурою від -22 до -40°C , поглинаючи тепло від продукту. Існують два типи пластинчастих морозильників: горизонтальні пластинчасті морозильники та вертикальні пластинчасті морозильники.

Горизонтальні пластинчасті морозильні камери складаються з набору паралельних охолоджених плит у теплоізовованому корпусі. Кожна плита з'єднана з сусідньою плитою, що дозволяє розсувати плити, утворюючи проміжок для розміщення між двома сусідніми плитами картонних коробок. Для переміщення плит і прикладання тиску на картонні коробки між плитами під час заморожування використовуються гідравлічні домкрати. Морозильники працюють у пакетному або безперервному режимі [4, 6]. У пакетному режимі проміжок між плитами розширюється, щоб продукт можна було завантажити на велику піднос. Після завантаження продуктів плити гідравлічно закриваються між охолодженою плитою та харчовим продуктом. Після завершення процесу заморожування плити відкриваються, і продукт витягується. У безперервному режимі плити переміщуються через закриту систему під час заморожування продукту, а потім продукт між плитами витягується по одному.

Вертикальна пластинчасті морозильні камери використовується головним чином для заморожування незапакованих продуктів, таких як м'ясо та риба. У цьому випадку продукт розміщується безпосередньо між пластинами після чого прикладається тиск для забезпечення належного теплового контакту. Після завершення процесу пластини можна відкрити, щоб витягти продукт. Переваги методів заморожування на пластинах [4, 6]:

- швидше зниження температури та час заморожування, особливо підходить для гарячих субпродуктів та гарячого м'яса без кісток;
- краща щільність укладання в контейнері;
- менші вимоги до холодильних потужностей завдяки відсутності високопотужних вентиляторів у морозильній камері;
- холодопродуктивність є властивістю холодильного апарата – це кількість тепла, видалена з об'єкта для охолодження за одиницю часу холодильним апаратом.

Евтектичні плити зазвичай використовуються, коли наявні переривчасті джерела холоду та для невеликих навантажень заморожування. Вони виготовляються з вигнутої труби, встановленої між двома металевими плитами, звареними по краях, а також вони мають з'єднання для циркуляції холодоагенту та для заповнення внутрішньої частини плити евтектичною сумішшю. Евтектичний розчин відіграє вирішальну роль у роботі цього типу морозильників. Евтектичний розчин, яким заповнено внутрішню частину плит, накопичує певну кількість холоду при замерзанні, яка потім віддається при розморожуванні – це розчин, отриманий шляхом розчинення певних солей у воді у точних пропорціях.

2. Заморожування повітряним потоком. У морозильниках із повітряним

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потокотом повітря використовується як теплоносії. Якість заморожування залежить від геометрії продукту, площі контакту між повітрям і продуктом та швидкості повітря. Основний механізм теплопередачі – конвекція. За потоком продукту їх можна класифікувати на морозильники безперервного виробництва. Нижче описуються холодильні камери, тунелі заморожування та безперервні стрічкові морозильники.

Повітряне заморожування – це поширена техніка заморожування, яку використовують у всьому світі для заморожування туш і фасованих харчових продуктів (рис. 1.3). У цьому методі продукт піддається впливу повітря з низькою температурою та високою швидкістю [4, 6]. Повітряні морозильники зазвичай працюють при температурах від -30 до -45°C зі швидкістю повітря 10-15 м/с і потрібно від 12 до 48 годин для досягнення бажаного замерзання. Морозильники з повітряним нагріванням мають упаковку, яка слугує бар'єром для продуктів незвичайної форми. У цьому випадку можливі короткі часи замерзання завдяки підтримці високих швидкостей потоку повітря, низької температури, хорошому контакту між упаковкою та поверхнею продукту.

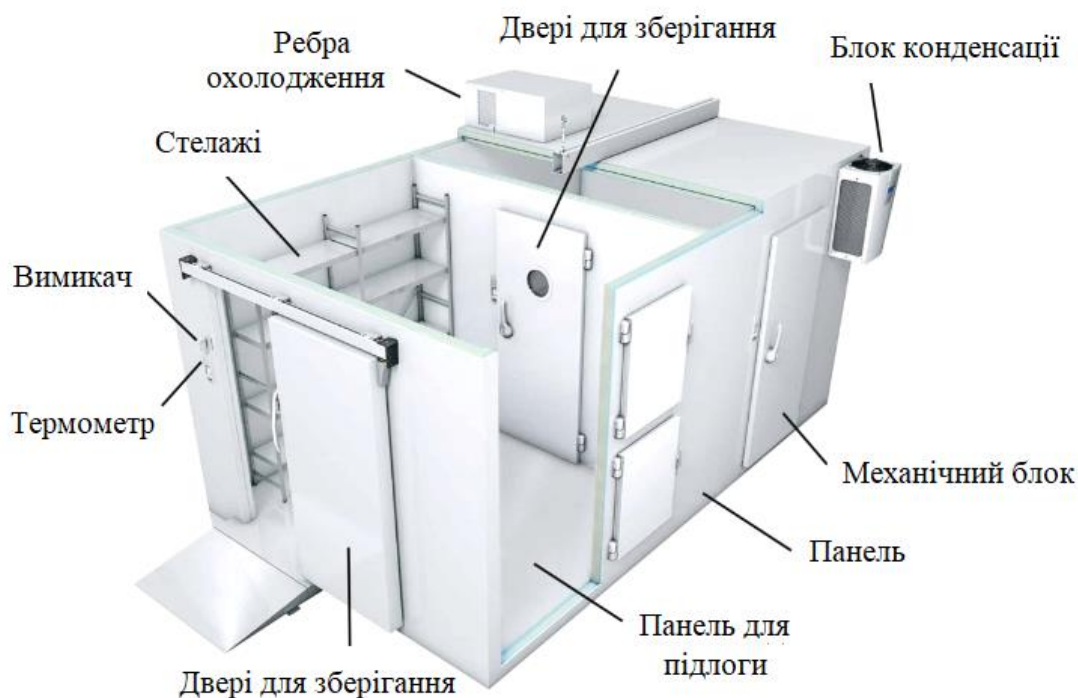


Рисунок 1.3 – Заморожування повітряним потоком

Холодильна камера не вважається саме системою заморожки, проте широко використовується як така. Вона складається з закритого приміщення, в якому циркулює повітря з низькою швидкістю при низьких температурах. Через дуже повільний рух повітря не забезпечується хороше теплопередавання, що безпосередньо впливає на час заморожування і, відповідно, на кінцеву якість продукту [4, 6]. Заморожувальний тунель складається з ізольованого приміщення, оснащеного системою охолодження та відцентровими або осьовими вентиляторами, які забезпечують контрольовану циркуляцію повітря

під тиском. Продукт розміщується на лотках, які встановлюються на стелажі, що дозволяє циркуляцію холодного повітря. Вони широко використовуються через простоту у конструкції, широкий асортимент продуктів, які можна в них заморожувати та гнучкість у розташуванні для різних геометрій продуктів.

Морозильники можуть бути простими, працювати пакетним способом з ручним завантаженням і вивантаженням продукту або вони можуть бути більш складними, з автоматизованою безперервною роботою. Морозильники безперервного типу найкраще підходять для обробки великих обсягів продукту. Можна використовувати багато різних конфігурацій потоку повітря та продукту. Горизонтальний потік повітря, ймовірно, є найпоширенішим. У безперервних системах потоки повітря та продукту можуть бути співтечією, зустрічною течією або перехресним потоком.

У цьому методі холодильна система спочатку охолоджує потоки повітря до мінімуму -40°C . Повітря проходить через замкнену систему, в якій харчовий продукт рухається по конвеєрній стрічці. Конфігурація конвеєрної системи може змінюватися залежно від харчових продуктів. У найпростішому дизайні конвеєрної стрічки продукт транспортується по прямій стрічці через тунельну морозильну камеру [1-4, 6]. Проте в деяких інших конструкціях використовуються багаторівневі та спіральні конвеєрні стрічки, які застосовуються для мінімізації просторових вимог системи. Найважливішим фактором морозильної камери з повітряним потоком є забезпечення рівномірного потоку повітря над продуктом. Основними перевагами морозильників з повітряним потоком є їхня простота та гнучкість. До недоліків належить те, що використання повітря обмежує швидкість теплопередачі на поверхні продукту та вимагає значної енергії вентилятора. Досягти рівномірного розподілу повітря у морозильниках з повітряним обдувом складно.

Заморожування шляхом занурення у рідину або пряме занурювальне заморожування здійснюється, коли продукт заморожується, занурюючись у заморожувальну рідину або обприскуючись нею, причому рідина залишається в рідкому стані протягом усього процесу. Технологія використовується для риби та креветок. Заморожування зануренням у рідину може призвести до помірно швидкого заморожування [1-3]. Заморожувальні рідини, які використовуються для заморожування зануренням, повинні бути нетоксичними, недорогими, стабільними, досить інертними, а також мати низьку в'язкість, низьку температуру замерзання та досить високі показники теплопровідності. Заморожувальні рідини повинні мало проникати в продукт, не справляти небажаного впливу на органолептичні властивості та вимагати мінімум зусиль для підтримання необхідних стандартів санітарії та складу.

Методи занурювального заморожування – це коли традиційно продукти занурювали в розчин солі та льоду для збереження. Термін «занурення» можна краще зрозуміти як розпилення холодоагенту безпосередньо на сировину. При занурювальному заморожуванні продукти утримуються в рідкому холодоагенті, такому як розчин гліцерину+цукру+солі. Час заморожування може варіюватися від кількох секунд до кількох хвилин залежно від продукту та вимог до

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заморожування [4, 6]. Оскільки продукти занурені в рідкий холодоагент, теплообмін відбувається ефективно. Цей метод зазвичай застосовується для креветок та риби. Заморожування зануренням – це заморожувачі в основному використовуються для продуктів неправильної форми, які занурюють у холодну речовину або обприскують нею. Він оснащений верхньою системою дозування та трилопатеvim турбінним колесом, яке переміщує продукт через ванну з холодним розчином розсолу, і поки турбіна обертається, продукт вивантажується з камери заморожування.

Найпоширеніший тип рідкого холодоагенту – рідкий азот, який використовується в харчовій промисловості. Занурення харчового продукту в рідкий азот при -196°C миттєво заморожує поверхню продукту. Це запобігає прилипанню продукту, мінімізує зневоднення, що збільшує вихід продукції та покращує смак і вигляд ваших продуктів. Заморожування корки зануренням у рідкий азот є ідеальним для продуктів, які важко індивідуально швидко заморозити, таких як морепродукти, овочі, фрукти, мариновані або приготовлені продукти, оскільки вони мають тенденцію злипатися або прилипати до конвеєра під час процесу заморожування із використанням рідкого азоту дозволяє заморожувати їх окремо, зберігаючи їхню індивідуальну форму, текстуру та смак.

1.2 Обладнання холодильної установки

Основні елементи холодильної системи: компресор, випарник, конденсатор та розширювальний клапан. Функція компресору полягає у видаленні холодоагенту з випарника та одночасному підвищенні його тиску до заданої температури, щоб цей флюїд віддав своє тепло у конденсаторі.

Компресор є однією з ключових частин системи компресійного холодообладнання і виконує функції як для забезпечення необхідного підвищення тиску пари холодоагенту, так і як помпа холодоагенту для циркуляції холодоагенту по системі в безперервному циклі. Існує два основних типи компресорів: позитивний витіснення та динамічний [5, 6]. Компресори з позитивним зміщенням підвищують тиск пари холодоагенту, зменшуючи об'єм камери компресора за рахунок роботи, спрямованої на механізм компресора. До цього класу компресорів належать поршневий, поршневий механізм, роторний лопать, одногвинтний, подвійний гвинт, трохоїдальний і спіральний. Динамічні компресори підвищують тиск пари холодоагенту шляхом безперервної передачі кутового моменту від обертового елемента до пари, після чого цей імпульс перетворюється на підвищення тиску. Відцентрові компресори працюють на основі цих принципів. Продуктивність компресора є результатом конструктивних обмежень, пов'язаних із фізичними обмеженнями морозильника, компресора та двигуна. Найпоширеніші типи компресорів:

Поршневий компресор також називається альтернативним або обертово-поршневим, його принцип роботи полягає у зменшенні об'єму робочого середовища за допомогою руху поршня всередині камери стиснення. Рух

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поршня забезпечується шатуно-кривошипним механізмом, який приводиться в дію валом, з'єднаним з електродвигуном [5, 6]. Під час робочого ходу вниз холодний пароподібний холодоагент потрапляє в камеру через впускний клапан, розташований над камерою, після чого поршень рухається вгору, забезпечуючи механічне стиснення, і викидає газ через інший клапан, розташований над камерою. Залежно від конструкції розрізняють два типи: відкриті та герметичні. Відкриті компресори – це ті, до яких є доступ до внутрішніх компонентів і які можна ремонтувати або обслуговувати. Герметичні ж компресори мають спільний корпус для компресора й мотору, повністю запечатаний, і не підлягають жодному виду обслуговування, тому їх використовують «до кінця терміну служби».

Гвинтовий компресор складається з корпусу та двох гвинтів, один з яких є ведучим і з'єднаний з валом електричного двигуна, а інший веденим, з'єднаний з ведучим через передачу потужності. Обидва гвинти обертаються в протилежних напрямках і мають дуже невеликі відстані між собою та корпусом, що змушує холодоагент, що входить, переважно розташовуватися між гвинтами. Рух гвинтів спричиняє стиснення холодоагенту, який в кінцевому підсумку витискається у випускні трубу [13-15]. Спіральний компресор складається з елементів зі спіральним профілем, один з яких нерухомий, а інший рухомий. Рухомий елемент з'єднаний з приводним валом з певним ексцентриситетом, що дозволяє всмоктування та стиснення парів холодоагенту між спіральними частинами. Центробіжний компресор: на відміну від інших описаних типів компресорів, це турбомашина, яка використовує відцентрову силу, що створюється імпелером, формуючи різницю тиску між всмоктуванням та викидом. Цей тип компресора може працювати на швидкостях від 3600 до 10000 об/хв.

Конденсатор – це теплообмінник, у якому відбувається конденсація перегрітого пару на виході з компресора. Конденсатор видаляє (з холодоагентного газу) тепло стиснення та тепло, поглинуте холодоагентом у випарнику. Таким чином холодоагент перетворюється назад у рідку фазу під тиском конденсатора та стає доступним для повторного розширення у випарнику. Загальні види конденсаторів можна класифікувати за типом охолоджуючого середовища: з водяним охолодженням, з повітряним охолодженням та випарювальне (повітря та вода) охолодження. Конденсатори з водяним охолодженням складаються з наступних типів [5, 6]:

- кожухотрубні (вертикальні);
- кожухотрубні (горизонтальні);
- кожухо-змійовикові (горизонтальні та вертикальні);
- подвійна труба;
- атмосферні.

Зазвичай пар конденсують, використовуючи повітря навколишнього середовища, примусове повітря, холодну воду тощо. Охолодження в конденсаторі відбувається у три етапи [5, 6]:

- спочатку перегріта пара, що виходить з компресора, приводиться до стану насиченого пару при очікуваній температурі конденсації в ізобарних

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умовах;

- другий етап полягає у віддачі тепла прихованої конденсації в ізобарно-ізотермічних умовах до стану насиченої рідини;
- далі відбувається ізобарне переохолодження насиченої рідини до стану стисненої рідини.

За своєю конструктивною формою їх можна класифікувати на:

- гладкі труби: теплообмінник, що складається з ряду труб, підтримуваних на кінцях, який охолоджується шляхом поперечного потоку навколишнього або примусово поданого повітря;
- труби з ребрами: це варіант гладких труб, з тією різницею, що до труб додаються розташовані на деякій відстані ребра з метою збільшення площі теплопередачі;
- корпус і труби: теплообмінник, який складається з закритого корпусу та ряду труб всередині нього, можна додавати дефлектори для поєднання поперечного та перехресного потоку і підвищення ефективності;
- пластинчастий: теплообмінник, який складається з ряду паралельних пластин, рівномірно розділених каналами з прокладками, через які протікають робочі рідини для теплообміну.

Рідинний охолоджувач (випарник) – це компонент холодильної системи, в якому холодоагент випаровується для створення охолоджувального ефекту рідини. У охолоджувачі з прямим розширенням холодоагент розширюється всередину трубок і повністю випаровується перед виходом. Рідина, що охолоджується, циркулює по зовнішній поверхні трубки всередині оболонки, що охоплює [5, 6]. Охолоджувачі зазвичай використовуються разом із компресорами з позитивним переміщенням, такими як поршневі, роторні або роторні гвинтові компресори, для охолодження води або розсолу. Головною метою випарника є забезпечення передачі тепла від продукту до холодоагенту. Для того, щоб рідкий холодоагент випаровувався, йому необхідно поглинати тепло, яке він забирає з продукту. У випадку цього проекту ті ж самі холодильні плити будуть виконувати роль випарника. Залежно від способу подачі та термодинамічного стану холодоагенту, можна виділити два типи:

- затоплений: у цьому типі на вході у випарник підтримується постійний рівень насиченої рідини, яка течією під дією сили тяжіння проходить через випарник, а на виході отримується суміш рідини та пару. Слід зазначити, що резервуари для подачі та виходу холодоагенту є одним і тим же, а відокремлена пара направляється до компресора;
- сухий у цьому типі рідина, яка надходить з конденсатора, вільно розширюється в розширювальному клапані, і її потік контролюється таким чином, щоб наприкінці випарника завжди отримувати перегріту пару.

Будь-яка холодильна система потребує контролю потоку холодоагенту. Клапани використовуються для запуску, зупинки, направлення та регулювання потоку холодоагенту відповідно до вимог навантаження. Щоб забезпечити задовільну роботу, клапани повинні бути належним чином захищені від сторонніх матеріалів, надмірної вологості та корозії. Такий захист досягається шляхом встановлення відповідного розміру сита та сушарок. Термостатичні

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

розширювальні клапани. Термостатичний розширювальний клапан контролює швидкість потоку рідкого холодоагенту, що потрапляє у випарник, у відповідь на перегрів холодоагентного газу, що виходить із випарника. Він підтримує активність усього випарника, не дозволяючи невикпарованому холодоагенту повертатися через всмоктувальну лінію до компресора [5-6, 13-15]. Термостатичний розширювальний клапан здійснює це, контролюючи масовий потік холодоагенту, що потрапляє у випарник, щоб він дорівнював швидкості, з якою холодоагент може повністю випаровуватися у випарнику шляхом поглинання тепла. Оскільки термостатичний розширювальний клапан керується перегрітим холодоагентом, що виходить із випарника, і реагує на зміни перегріву цього газу, частина випарника має бути виділена для перегріву газу холодоагенту. На відміну від клапана розширення з постійним тиском, термостатичний розширювальний клапан не обмежується застосуваннями з постійним навантаженням.

Функції розширювальних клапанів, необхідні для проектування холодильного циклу, включають: регулювання ємності холодоагентної рідини, що потрапляє у випарник та контроль тиску між входом і виходом випарника: Ось кілька типів [5, 6]:

- ручний клапан: зазвичай ручні стрілочасті клапани з постійним відсотком відкриття, що створює падіння тиску відповідно до коефіцієнта клапана. вони використовуються для низьких і постійних теплових навантажень, а також можуть використовуватися як альтернатива, коли основний пристрій розширення ремонтується, як обхідний шлях;

- термостатичний розширювальний клапан: зазвичай використовується в сухих випарниках, це клапани з лампою датчика температури, яка відповідає за відкриття або закриття проходу таким чином, що може регулювати масовий потік холодоагенту залежно від теплового навантаження. вони ідеально підходять для систем із різними тепловими навантаженнями;

- поплавковий розширювальний клапан: зазвичай використовується у затоплених випарниках, відповідає за постійний рівень у всмоктувальному акумуляторі. вони мають буй, який дозволяє або не пропускає холодоагент залежно від споживання випарника;

- капілярна трубка: це труба з дуже малою секцією, яка обмежує потік холодоагенту і, відповідно, створює високі падіння тиску. Вони досить прості за конструкцією і тому дуже надійні, однак, оскільки створюють постійний перепад тиску та потік, їх не можна адаптувати для систем із змінним тепловим навантаженням.

1.3 Типи випарників для холодильних систем

Одним із компонентів, необхідних для створення холоду та забезпечення умов роботи холодильної установки є випарник. Правильний вибір випарника забезпечить його ефективну роботу у виробництві холоду всередині камери заморожування, що гарантує правильне збереження продуктів харчування. Мета випарника – видаляти тепло з продуктів за допомогою рідкого

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

холодоагенту. Рідкий холодоагент, що міститься у випарнику кипить при низькому тиску. Рівень цього тиску визначається двома факторами [11]:

- швидкість з якою тепло поглинається в продукті для рідкого холодоагенту в випарнику;
- швидкість, з якою низькобарний пар видаляється з випарника компресором.

Щоб забезпечити передачу тепла, температура рідкого холодоагенту повинна бути нижчою за температуру продукту, що охолоджується. Після передачі рідкий холодоагент всмоктується з випарника компресором через всмоктуючу лінію. Виходячи з випарника, рідкий холодоагент перебуває у формі пару. Випарник виконує функцію охолодження повітря, що приводиться в рух імперелером (центробіжним вентилятором, розташованим у вузлі розподілу заслінок) та направляється до кондиціонованого простору. За певних умов використання холодильного контуру він повинен дозволити осушувати цей повітряний потік. Проте рівень осушення не піддається контролю, оскільки він безпосередньо залежить від температури, до якої охолоджується повітря. Осушення повітря відбувається лише тоді, коли його температура нижча за відповідну точку роси [7-9]. Речовина-холодоагент у рідкому стані поглинає тепло під час випаровування і саме ця умовна зміна забезпечує охолодження у холодильному процесі. Якщо речовині-холодоагенту при тій самій температурі навколишнього середовища дозволити розширюватися через шланг із виходом на атмосферний тиск, тепло буде поглинатися і в такий спосіб відбуватиметься охолодження повітря, що оточує, та випаровування при температурі, відповідній до атмосферного тиску. Якщо у певній ситуації тиск на виході (атмосферний тиск) змінюється, отримується інша температура, оскільки вона аналогічна початковій температурі.

Системи промислових випарників зазвичай складаються з: теплообмінника для забезпечення чуттєвого тепла та тепла випаровування рідкої сировини. В харчовій промисловості зазвичай використовують насичену пару як нагрівальний агент. Сепаратора, в якому пар відокремлюється від концентрованої рідкої фази. У системах, що працюють при атмосферному тиску, сепаратор можна опустити. Конденсатора для конденсації пари та видалення конденсату із системи. Залежно від застосування, до випарника пред'являються різні вимоги [11]. Тому їх виготовляють у ряді різних версій. Випарники з природною циркуляцією повітря використовуються рідше через відносно поганий теплообмін від повітря до холодильних труб. Старіші версії були оснащені гладкими трубами, але зараз поширене використання рифлених труб або елементів з ребрами. Продуктивність випарника значно підвищується при використанні примусової циркуляції повітря. Зі збільшенням швидкості повітря теплообмін від повітря до труби покращується, так що для даного охолодження можна використовувати меншу площу випарника з природною циркуляцією. Як впливає з назви, охолоджувач охолоджує рідину, а найпростіший метод полягає в зануренні змійовика в відкритий бак. Закриті системи стають все більш поширеними.

Термостатичний розширювальний клапан є пристроєм розширення, який є ключовим компонентом у системах охолодження і здатний забезпечувати

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідне падіння тиску між конденсатором і випарником у системі. По суті, його завдання у обладнанні прямого розширення, обмежується двома функціями: контролювати потік холодоагенту в рідкому стані, який надходить у випарник та підтримувати постійне перегрівання на його виході. Для виконання цього завдання пристрій оснащений температурним сенсорним балоном, який відповідає за закриття або відкриття клапана, щоб зменшити або збільшити надходження холодоагенту та його подальше випаровування всередині випарника, що відповідно призводить до підвищення або зниження температури навколишнього середовища [7-9]. Цей пристрій дозволяє покращити ефективність систем охолодження та кондиціонування повітря, оскільки регулює масовий потік холодоагенту залежно від теплового навантаження. Холодоагент, який надходить у випарник прямого розширення, перебуває у стані суміші рідини та пари, оскільки після виходу з клапана відбувається різке падіння тиску через «пряме розширення» рідкого холодоагенту, що спричиняє часткову зміну стану робочої рідини на вході у випарник. Це явище, яке відбувається у клапанах, відоме як флеш-газ.

Датчикова колба температури, або так звана віддалена колба, термостатичних розширювальних клапанів і запобіжних клапанів тиску є елементом, який вимірює ступінь перегріву пари холодоагенту на виході з випарника, яка підключена до верхньої частини клапана за допомогою капілярної трубки, наповнена робочою рідиною, що називається термостатичним зарядом, яка при випаровуванні чинить силу на діафрагму клапана, контролюючи потік холодоагенту всередині випарника. Охолоджувальний змійовик – це пучок трубок, який виготовлених з міді та з ребрами, теплообмінні змійовики, що використовуються для видалення тепла з повітря в системах кондиціонування та охолодження, працюють у дуже складних умовах [11]. Проте, якщо дотримуватися певних правил, проблем в їхній експлуатації не виникне. Оскільки випарник – це будь-яка поверхня теплообміну на якій випаровується летка рідина для видалення тепла з приміщення або охолодженого продукту, випарники виготовляються в великій різноманітності типів, розмірів та конструкцій і можуть класифікуватися різними способами.

1. Випарники прямого розширення або сухого розширення. У випарниках прямого розширення випаровування хладагенту відбувається під час його проходження через випарник, перебуваючи при цьому в змішаному стані в проміжній точці. Таким чином, рідина, що залишає випарник є чистою перегрітою парою. Ці випарники є найбільш поширеними і широко використовуються в системах кондиціонування повітря [7-9]. Незважаючи на те, що вони часто використовуються для охолодження при середніх та низьких температурах, вони не є оптимальними для установок великого об'єму. Повне випаровування забезпечується додатковим підігрівом хладагенту, що, з іншого боку, призводить до більшого споживання компресора. У зоні, де насиченість хладагенту дорівнює одиниці, коефіцієнт теплопередачі хладагенту буде нижчим, ніж у зонах, де існує суміш рідини і пари. Випарник сухого розширення наведено на рисунку 1.4.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

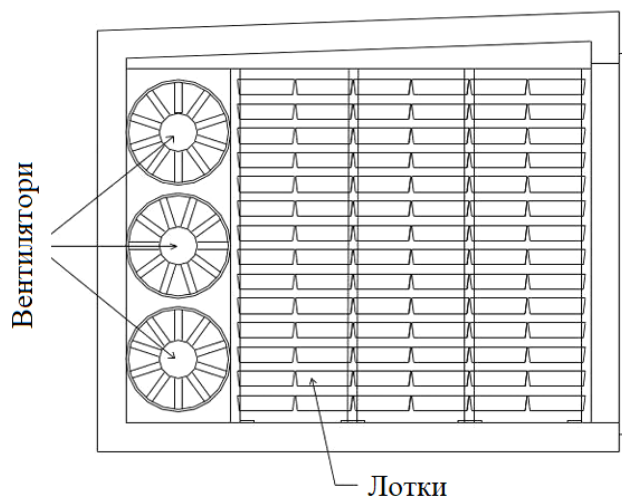


Рисунок 1.4 – Випарник сухого розширення

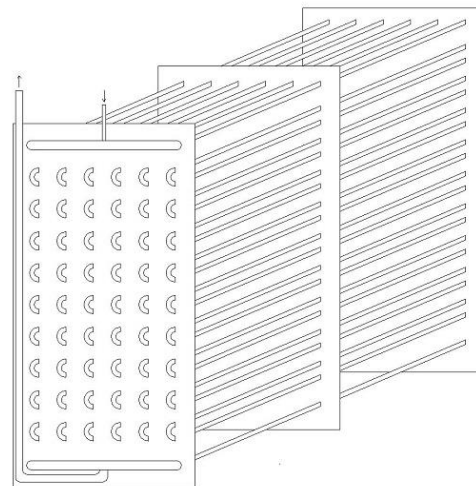


Рисунок 1.5 – Занурений трубчастий випарник

2. Затоплені випарники. У цьому типі випарників масовий потік рідини значно перевищує потік пари, що утворюється у випарнику. Таким чином, рідина, яка виходить з випарник, є сумішшю пари та рідини з високим вмістом, яка не досягає стану насиченої пари. Зазвичай для цих теплообмінників використовується термін «перегон рідини», які переважно застосовуються у промислових процесах, із значною кількістю випарників, що працюють при низьких температурах і використовують аміак R717 як холодоагент.

Відкриті трубчасті випарники зазвичай виготовляють з мідних або сталевих труб. Сталеві труби використовуються у великих випарниках та тоді, коли охолоджувачем є аміак R717 у той час як для малих випарників застосовується мідь. Вони широко використовуються для охолодження рідин або при використанні вторинного охолоджувача (рис. 1.5). Пластинчасті поверхневі випарники складаються з двох рифлених та асиметричних пластин, які герметично зварюються одна до одної таким чином, щоб холодоагент міг протікати між ними [7-9, 11]. Вони широко використовуються у холодильниках та морозильниках через їх економічність, легкість очищення та простоту виробництва. Інший тип випарника представляє собою трубу, зігнуту у вигляді змійовика, встановлену між двома металевими пластинами, звареними по краях. Обидва типи випарників, які зазвичай покриваються епоксидною фарбою, мають відмінну ефективність у холодильних установках для збереження заморожених продуктів.

Лопатеві випарники – це відкриті трубні змійовики, на які накладаються металеві пластини або лопаті, і вони найширше використовуються в промисловому охолодженні, так само як і в кондиціонерах повітря. Лопаті слугують як вторинна теплоприймаюча поверхня і мають ефект збільшення зовнішньої площі теплообмінника, що, отже, підвищує ефективність охолодження повітря або інших газів. Розмір та відстань між лопатями залежить від типу застосування, для якого призначений змійовик. Малі труби

потребують малих лопатей і навпаки. Відстань між лопатями варіює від 1 до 14 лопатей на дюйм, залежно головним чином від температури роботи змішувача. Чим нижча температура, тим більша відстань між лопатями. Відстань є вкрай важливою щодо утворення інею, оскільки він може частково або повністю перекрити циркуляцію.

1.4 Розморожування випарника

Щоразу, коли випарник працює при температурі нижче 0°C на поверхні обмінника осідає шар інею, який з часом збільшує його товщину. Мороз, тверда фаза, є результатом конденсації та затвердіння вологи, які відкладаються повітрям, що циркулює у замерзаному просторі. Волога виникає внаслідок випаровування води; через атмосферне навантаження вологою, оскільки зовнішнє повітря має вищий вміст вологості (пристрої закриття та/або герметизації потрібно періодично і ретельно перевіряти). Замерзання випарника неминуче, незважаючи на всі звичайні заходи безпеки (достатня швидкість циркуляції повітря для мінімізації висихання продукції; ефективна теплоізоляція та водяний бар'єр). Осадження інею на випарнику спочатку знижує загальний коефіцієнт теплообміну через термічний опір льоду, а по-друге, ускладнює циркуляцію повітря. Обидва спричиняють погіршення роботи випарника та холодильної установки. Зниження теплообміну дозволяє компресору працювати довше, а також знижує температуру кипіння холодоагенту. Обидва фактори збільшують споживання енергії. Крім того, температура матових поверхонь знижується, підвищуючи відносну вологість у камері.

Регулярне розморожування випарника необхідне, оскільки продуктивність обладнання погіршується зі збільшенням товщини льоду, що в першу чергу впливає на вільний проход повітря через спіралі випарника. Спочатку потрібно визначити метод подачі тепла до випарника для розтоплення льоду, а потім знайти оптимальну частоту розморожування. Існує кілька способів розморожування випарника. Іноді можна використовувати одночасно більше одного методу [10]:

- механічне розморожування – іній видаляється шляхом зіскоблювання трубок випарника – використовується лише на відкритих трубках;
- термічне розморожування – тепло для розтоплення інею надходить або зсередини, або ззовні трубок, що обвивають котушки;
- внутрішнє нагрівання за допомогою гарячих газів, гарячого рідкого холодоагенту або гарячого розчину солі. Тепло передається льоду через металеву масу випарника, що дозволяє провести розморожування без повного танення льоду;
- зовнішнє нагрівання повітрям, водою, електрикою або антифризом. Тепло передається зовнішнім шарам льоду, процес танення йде від зовнішнього шару до поверхні трубок котушки.

Розморожування газу – найшвидший і найефективніший метод, оскільки доступний достатній запас гарячого газу. Окрім виконання функції

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

розморожування, гарячий холодоагентний газ всередині очищає збірку спіралі та трубки зливного піддона від накопиченого компресорного масла. Це допомагає повернути масло до компресора. Газове розморожування використовується для малих комерційних одиночних і мультиплексних блоків, а також для великих промислових центральних підприємств; Він широко використовується у більшості низькотемпературних застосувань. Розморожування гарячим газом також збільшує потужність великої, безперервно працюючої компресорної системи, оскільки вона знімає частину навантаження з конденсатора під час чергування розморожування кількох випарників. Компресор має працювати, але вентилятори зупинені.

В основному відтаювання відбувається при вимкненому вентиляторі. Недостатній час відтаювання та надмірне відтаювання обидва можуть погіршити загальну продуктивність; тому цикл відтаювання найкраще завершувати, контролюючи температуру. Термостат встановлений усередині охолоджувальної спіралі для визначення підвищення температури поверхні ребристих або трубчастих елементів [10]. Температура не менше 7°C вказує на видалення інею та автоматично повертає агрегат до холодильного циклу. Той самий термостат затримує роботу вентилятора, поки температура поверхні спіралі не наблизиться до нормального рівня роботи. Така практика запобігає непотрібному нагріванню корпусу після відтаювання. Це також запобігає здуванню крапель води після відтаювання з поверхні спіралі, що дозволяє уникнути обмерзання лопатей вентилятора, захисної решітки та кільця отвору.

Ініціювання розморожування буде автоматизоване за допомогою регуляторів різниці тиску повітря. Інші можливості включають годинники часу, монітори часу роботи або контролювання різниці температур повітря через теплообмінник (яка збільшується по мірі накопичення морозу, що зменшує потік повітря). Розглядається наявність достатнього додаткового нагріву для піддону для стоку та ліній для конденсату. Два методи будуть працювати одночасно (гарячий газ і електричний) для спрощення розморожування піддону і скорочення циклу розморожування [7-10]. Лінії для відведення конденсату повинні бути належним чином нахиленими, ізольованими та закріпленими зовні морозильної камери, бажано при проходженні теплої зони. Потрібно встановити оптимальну частоту розморожування. Якщо частота занизька, коефіцієнт теплопередачі та циркуляція повітря погіршуються, а ефективність обладнання знижується. Якщо частота дуже висока, збільшується теплове навантаження, і загальна ефективність системи зменшується. Оптимальна частота повинна встановлюватися експериментально. Один із простих способів – виміряти тривалість спрацьовування термостата; коли випарник безморозний, цей час мінімальний. Розморожування є необхідним, коли час спрацьовування збільшується приблизно на третину за умови, що всі інші умови залишаються без змін. Випробування слід проводити, коли приміщення знаходиться у тепловій рівновазі, наприклад, коли підприємство зачинене.

Періоди між розморожуванням можуть бути відносно тривалими в сухих кліматичних умовах, але вони будуть значно коротшими в екваторіальних регіонах. Також вони довші влітку, ніж взимку. Вимушені конвекційні

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

установки з ребристими котушками слід розморожувати принаймні раз на три-шість годин. Розморожування здійснюється автоматично. Автоматичне розморожування контролюється годинниковим таймером або програматором, що працює протягом фіксованих періодів через регулярні інтервали [10]. Система розморожування на м'якому гарячому газі особливо підходить для великих випарників і використовується на всіх спіралях потужністю 50 кВт холодильної системи або більше. Система усуває дзвін клапанів, рух труб і шум, пов'язаний із великими котушками під час гарячого газового розморожування. М'яке гаряче газове розморожування може використовуватися для підводних або низхідних котушок. Однак системи трубопроводів відрізняються. Після розморожування відкривається невеликий електромагнітний клапан всмоктувальної лінії, щоб котушка могла поступово знизити робочий тиск перед тим. Вводять рідину, і вентилятори запускаються. Тисковий вимикач запускає систему. М'яка система розморожування гарячим газом усуває шум зворотного клапана та більшість, якщо не всі, рідинні молотки (тобто гідравлічні проблеми в трубопроводі).

На основі вищезазначеного можна вважати, що використання низьких температур у харчовій промисловості, будь то для охолодження або заморожування, дозволяє подовжити термін придатності сировини, як у свіжих, так і в оброблених продуктів, протягом відносно тривалого часу, зберігаючи їх поживні та органолептичні властивості. Методи здійснення заморожування продуктів можна поділити на три великі групи: контактні та повітряною течією. Основна відмінність між обома полягає в механізмі передачі тепла, що переважає під час процесу заморожування. У той час як у морозильних камерах із повітряним потоком механізм є по суті конвекційним, примусовим або природним, у контактних морозильниках заморожування відбувається в основному шляхом теплопровідності. Також заморожування шляхом занурення у рідину або пряме занурювальне заморожування здійснюється, коли продукт заморожується, занурюючись у заморожувальну рідину або обприскуючись нею, причому рідина залишається в рідкому стані протягом усього процесу.

Здійснено огляд випарників, як одного із компонентів, необхідних для створення холоду та забезпечення умов роботи холодильної установки є випарник. Правильний вибір випарника забезпечить його ефективну роботу у виробництві холоду всередині камери заморожування, що гарантує правильне збереження продуктів харчування. Мета випарника – видаляти тепло з продуктів за допомогою рідкого холодоагенту.

В камерах швидкого заморожування використовується випарники прямого розширення випаровування хладагенту, яке відбувається під час його проходження через випарник, перебуваючи при цьому в змішаному стані в проміжній точці. Таким чином, рідина, що залишає випарник є чистою перегрітою парою. В процесі заморожування методом занурення використовуються затоплені випарники. У цьому типі випарників масовий потік рідини значно перевищує потік пари, що утворюється у випарнику. Таким чином, рідина, яка виходить з випарник, є сумішшю пари та рідини з високим вмістом, яка не досягає стану насиченої пари.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РЕАЛІЗАЦІЯ ДВОСТУПЕНЕВОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ЦИКЛУ В ПРОЦЕСІ ЗАМОРОЖУВАННЯ РИБИ

2.1 Порівняння циклів роботи холодильної установки

Охолодження або заморожування можна визначити як видалення тепла з речовини або простору, що призводить до зниження її температури нижче за температуру навколишнього середовища. Охолодження здійснюється шляхом випаровування холодоагенту в тепловому обміннику, який називається випарником. Робоча речовина, що використовується в системах охолодження з компресійним циклом, називається холодоагентом. Властивості холодоагенту значно впливають на проєктування системи охолодження.

Механічне охолодження здійснюється шляхом безперервної циркуляції холодоагенту через випарник, компресор, конденсатор та розширювальний клапан у замкненій системі. Зворотний цикл Карно є ідеальною моделлю циклу охолодження за допомогою парової компресії, який працює між двома температурами та є стандартом порівняння з реальними холодильними циклами. Ідеальний цикл механічного охолодження складається з чотирьох процесів: стискання, конденсація, розширення, випаровування [12]. Процес стиснення виконується компресором, який виконує дві основні функції: по-перше, він всмоктує випаровуваний холодоагент (труба всмоктування), знижуючи тиск у випарнику до рівня, при якому можна підтримувати бажану температуру випаровування. По-друге, компресор стискає цей випаровуваний холодоагент, викидаючи його під достатньо високим тиском (труба нагнітання), щоб температура насичення була вищою за температуру середовища, що охолоджується, забезпечуючи тим самим легке конденсавання.

Процес конденсації здійснює конденсатор, який по суті є теплообмінником, де тепло, поглинуте холодоагентом у процесі стиснення, передається середовищу конденсації (в даному випадку – повітря). Поступово, коли тепло передається паром високої температури та тиску, її температура знижується до точки насичення, пара конденсується і перетворюється на рідину. Процес розширення здійснюється розширювальним клапаном, його завдання – негайно знизити тиск та точно дозувати кількість холодоагенту, що має потрапити до випарника при сталій ентальпії [12]. Процес випаровування здійснює випарник, функція якого полягає у видаленні тепла з охолоджуваного середовища шляхом випаровування холодоагенту. Випарник отримує холодоагент при низькому тиску та низькій температурі і передає його при низькому тиску та високій температурі.

Низька температура випарника означає низький тиск у випарнику та

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування холодильної установки для заморожування риби			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.	Вдовіченко									23	17	
Перевір.	Цвіркун							ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО				
Н. Контр.	Омельченко											
Затверд.	Омельченко											

низьку густину холодоагенту на вході до компресора. Два маленькі компресори, з'єднані послідовно, мають менший об'єм та зазвичай працюють ефективніше, ніж один великий компресор, який охоплює весь тиск від випарника до конденсатора. Те ж саме стосується компресорів із частковим або повним впорскуванням при проміжному тиску. Особливо це актуально для холодильних систем, що використовують аміак, через велику кількість перегріву, яка виникає під час процесу стиснення.

Залежно від використовуваного комерційно доступного методу подачі холодоагенту змінюються як номінальні показники продуктивності охолоджувача, так і його витрати холодоагенту. Рециркульований холодоагент – система включає барабан рециркульованого холодоагенту (тобто ресивер низького тиску) і насос рідкого холодоагенту, підключений до змійовика. Також вона має ручний розширювальний клапан, який є дозувальним пристроєм для контролю потоку надходячого рідкого холодоагенту [18-21]. Насос спеціально подає в змійовик надлишок рідкого холодоагенту, так що повне затоплення змійовика усуває перегрівання холодоагенту в випарнику. Кількість рідкого холодоагенту, що перекачують через змійовик, може бути в два-шість разів більшою (надлишок: 1 до 5), ніж та, що проходить через змійовик сухої подачі.

Заливна система – це система, яка має резервуар з рідиною (напірний барабан або акумулятор), розташований поруч із кожним блоком або групою блоків. Напірний барабан заповнений переохолодженим холодоагентом і підключений до охолоджуючого змійовика. Щоб забезпечити гравітаційний потік холодоагенту та повністю змочену внутрішню поверхню змійовика, рівень рідини в напірному барабані повинен бути на рівні верхньої частини змійовика [10]. Продуктивність системи з гравітаційною рециркуляцією рідини зазвичай є максимально можливою, частково через те, що потрібні великі трубки змійовика (≥ 25 мм зовнішнього діаметра), щоб практично не було падіння тиску в випарнику. У заливаючих гравітаційних системах відносно розташування напірного барабана та повітряного охолоджувача, а також їх взаємопов'язані труби та клапани, мають важливе значення для правильної роботи.

У процесі заморожування риби застосовується обладнання: камера швидкого заморожування та тунель з розсолем. Температура роботи відрізняється для обох установок. Повітря в кімнаті для заморожування під час роботи підтримується при -40°C , що означає, що аміак потрібно охолоджувати на кілька градусів Цельсія нижче -40°C , наприклад, до -45°C . З іншого боку, тунель з солоною водою підтримується при -15°C поза роботою. Під час роботи розсіл охолоджується до -20°C , що означає, що температура випарника має бути нижчою за -20°C , а саме -25°C . Випарник в камері швидкого заморожування називається низькоступеневим випарником. Існує два загальні варіанти циклів, а саме: можна спроектувати цикл так, щоб камера швидкого заморожування та тунель солоної води працювала разом або окремо. Або працювали через різні цикли: один для камери швидкого заморожування, а інший цикл для тунелю солоної води. Якщо спроектувати цикл так, щоб обидві

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

установки могли працювати разом, необхідно контролювати, що відбувається, якщо одна з них не працюватиме. Якщо виявиться, що неможливо запускати цикл лише для однієї з двох установок, слід зробити два різні цикли. Здійснено порівняння циклів роботи установок.

1. Обидві установки можуть працювати одночасно з використанням спільного конденсатора.

1.1.1 Два одноступеневі холодильні цикли з випарниками прямого розширення та спільним конденсатором.

Кожна холодильна система складається з компресора, конденсатора, розширювального клапана та випарника. Використання всмоктувального газового теплообмінника у високотемпературному циклі є опціональним. Опис процесу циклу: від точки стану всмоктуваний газ стискається компресором високого ступеня і викидається. Холодоагент змішується з газом від компресора низького ступеня і подається по лінії викиду до загального конденсатора. Конденсований та підохолоджений холодоагент на виході з конденсатора подається на рідинний вхід теплообмінника всмоктуваного газу, якщо він був обраний або безпосередньо на вхід до розширювального клапана. З рідинного виходу теплообмінника всмоктуваного газу потік підохолодженого холодоагенту розділяється на дві частини [10, 18-21]:

- основна частина розширюється у випарник високого ступеня;
- невелика частина розширюється у підохолоджувач, де вона випаровується і таким чином додатково підохолоджує рідкий холодоагент для випарника низького ступеня.

Холодоносії з випарників високого ступеня змішується з пароподібним холодоносієм з рідинного підохолоджувача та направляється через всмоктуючу лінію до входу теплообмінника всмоктуючого газу з боку газу, якщо він вибраний, або безпосередньо до входу компресора. Дуже охолоджений холодоносії, що виходить з рідинного підохолоджувача розширюється у випарник нижчого ступеня. З випарника ступеня холодоносії направляється через всмоктуючу лінію до входу компресора нижчого ступеня. З виходу компресора нижчого ступеня холодоносії змішується з газом від компресора високого ступеня. У всмоктуючих лініях газ може зазнавати як падіння тиску, так і підвищення температури. У загальній лінії викиду газу може відбуватися лише падіння тиску.

2 Обидві установки можуть працювати одночасно, використовуючи спільний компресор високого тиску.

2.1 Двоступенева холодильна схема з випарниками прямого розширення та підохолодженням всмоктуваного газу шляхом впорскування рідини. Холодильна система складається з двох одноступінчастих компресорів, конденсатора, чотирьох розширювальних клапанів, двох випарників, теплообмінника всмоктуючого газу та підохолоджувача рідини [10, 18-21]. Використання теплообмінника всмоктуючого газу у циклі високої температури є необов'язковим. Перегрів високої ступені: 1°C, перегрів низького рівня: 1°C. Ці значення достатні, щоб уникнути потрапляння невикпарованого аміаку у компресор. У цикл установки інтегровано теплообмінник всмоктувального

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

газу. Перегрітий вихідний газ з компресорів низького рівня змішується з перегрітим холодоагентом з випарників високого рівня. Щоб зменшити перегрів цього холодоагенту перед його стисканням у компресорах високого рівня, у всмоктувальну лінію впорскується рідкий холодоагент для охолодження газу холодоагенту за рахунок випаровування рідини.

З точки стану всмоктуючий газ стискається компресором високого ступеня та викидається у лінію випуску високого ступеня, яка направляє холодоагент до входу конденсатора. Конденсований та підохолоджений холодоагент на виході конденсатора направляє до рідинного входу теплообмінника всмоктуючого газу, якщо він обраний та до рідинного входу підохолоджувача. З рідинного виходу теплообмінника всмоктуючого газу потік підохолодженого холодоагенту ділиться на три частини [10]:

Основна частина розширюється у випарник високого ступеня:

- невелика частина розширюється у підохолоджувач, де вона випарується і таким чином додатково охолодить рідкий холодоагент для випарника низького ступеня;

- невелика частина розширюється у всмоктувальну трубу компресорів високого ступеня, щоб охолодити всмоктувальний газ;

- невелика частина розширюється у всмоктувальну трубу компресорів високого ступеня, щоб охолодити всмоктувальний газ.

Холодоносії з випарників високої стадії змішується з випарованим холодоносієм із рідинного підохолоджувача і подається через всмоктуючу лінію до вхідного боку теплообмінника всмоктуючого газу, якщо він обраний. З газового виходу теплообмінника всмоктуючого газу холодоносії змішується з вихлопним газом із компресорів низької стадії та рідким холодоносієм, що впорскується для охолодження всмоктуваного газу перед тим, як він потрапляє в компресор високої стадії [10, 18-21]. Дуже підохолоджений холодоносії, що виходить із рідинного підохолоджувача розширюється у випарник низької стадії. З виходу випарника низької стадії холодоносії подається через всмоктуючу лінію до входу компресора низької стадії. З виходу компресора низької стадії холодоносії подається через лінію випуску низької стадії до всмоктуючої лінії високої стадії. У всмоктуючих лініях газ може зазнавати як падіння тиску так і підвищення температури. У загальній лінії випуску газ може зазнавати лише падіння тиску.

2.2 Двоступеневий холодильний цикл з затопленими випарниками та відкритим проміжним охолоджувачем. Холодильна система складається з двох одноступеневих компресорів, конденсатора, двох розширювальних клапанів, двох випарників, відкритого проміжного охолоджувача. З точки стану всмоктувальний газ стискається компресором високого ступеня та викидається у лінію випуску високого ступеня, яка веде холодоагент до входу в конденсатор. Конденсований і переохолоджений холодоагент на виході конденсатора розширюється в відкритий інтеркулер [10, 18-21]. Частина холодоагенту з інтеркулера проходить через випарник високого ступеня, де він частково випаровується і повертається до інтеркулера. Інша частина розширюється в сепаратор рідини низького ступеня. З інтеркулера холодоагент засмоктується через лінію всмоктування високого ступеня у компресор

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високого ступеня. З сепаратора рідини холодоагент проходить через випарник низького ступеня, де частково випаровується і повертається до сепаратора. З сепаратора газоподібний холодоагент подається через лінію всмоктування низького ступеня у компресор низького ступеня, а звідти через лінію випуску низького ступеня назад у відкритий інтеркулер.

2.3 Двоступеневий холодильний цикл з затопленими випарниками та закритим проміжним охолоджувачем. Холодильна установка складається з двох одноступеневих компресорів, конденсатора, двох розширювальних клапанів, двох випарників, закритого проміжного охолоджувача та сепаратора рідини. З точки стану всмоктувальний газ стискається високоступеневим компресором і скидається в високоступеневу випускну лінію яка веде холодоагент до входу конденсатора. Частина конденсованого та субохолодженого холодоагенту у виході конденсатора розширюється у інтеркулер. Холодоагент від інтеркулера проходить через високоступеневий випарник і повертається до інтеркулера. Від інтеркулера холодоагент подається через високоступеневу всмоктувальну лінію до високоступеневого компресора [10, 18-21]. Інша частина конденсованого та субохолодженого холодоагенту на виході конденсатора проходить через рідинний підохолоджувальний котушку, розміщений у інтеркулері і розширений у рідинний сепаратор. З низькоступеневого компресора холодоагент розряджається і проходить через низькоступеневу лінію розряду в закритий інтеркулер. У всмоктувальних лініях газ може відчувати як падіння тиску, так і підвищення температури. У загальній розрядній лінії газ може відчувати лише падіння тиску.

3. Обидві установки не можуть працювати одночасно. Компресори та конденсатор розраховані на обслуговування лише однієї установки одночасно, що означає, що вони розраховані на найбільше охолоджувальне навантаження обох установок, яке становить 660 кВт для тунелю з розсолем.

3.1 Двоступінчастий холодильний цикл з випарником прямого випаровування та двоступінчастим компресором. Розріджений газ для високого ступеня може охолоджуватися шляхом інжекції рідини. Кожна холодильна система складається з двоступінчастого компресора, конденсатора, трьох розширювальних клапанів, випарника та охолоджувача рідини. Використання підстуджувача рідини є необов'язковим. Коли обидві холодильні системи використовують двоступінчастий компресор, конденсатор, розширювальні клапани та підстуджувач рідини спільно, вони не можуть працювати разом. З точки стану всмоктувальний газ стискається високостадійною частиною двоступінчастого компресора і викидається у трубопровід виходу високого ступеня, який направляє холодоагент до входу конденсатора. Конденсований та підохолоджений холодоагент на виході з конденсатора розділяється на три частини [10]:

- основна частина направляється через рідинну сторону рідинного підохолоджувача до розширювального клапана;
- невелика частина розширюється у підохолоджувачі, де вона випаровується і таким чином додатково підохолоджує рідкий холодоагент для

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випарника;

– деяка частина розширюється у всмоктувальний трубопровід високостадійної частини двоступінчастого компресора.

Холодоагент із рідинного підохолоджувача змішується з перегрітим холодоагентом із низькотемпературної частини двоступеневого компресора та рідким холодоагентом, який впорскується для охолодження всмоктуваного газу перед його потраплянням у високотемпературну частину двоступеневого компресора. Дуже підохолоджений холодоагент, що виходить із рідинного підохолоджувача, потім розширюється у випарнику низького ступеня. З виходу випарника низького ступеня холодоагент подається через всмоктуючу лінію до входу низькотемпературної частини двоступеневого компресора. З виходу низькотемпературної частини двоступеневого компресора холодоагент подається через Лінію розрядження низького ступеня слід змішати з перегрітим газом холодоагенту з підохолоджувача рідини.

Було проведено порівняння циклів холодильної установки для вибору найбільш відповідного циклу для холодильної системи. Двоступеневий холодильний цикл з затопленими випарниками та відкритим проміжним охолоджувачем визнано найбільш ефективним рішенням. Холодильна система складається з двох одноступневих компресорів, конденсатора, трьох розширювальних клапанів, двох випарників, відкритого проміжного охолоджувача (інтеркулер для зниження температури перегрітої пари холодоагенту між ступенями стиснення). Обидві установки – камера швидкого заморожування та тунель з розсолем – не працюватимуть одночасно, але використовуватимуть спільні компресори, відкритий проміжний охолоджувач та конденсатор (рис. 2.1). Температури випарників у камері швидкого заморожування та в тунелі з розсолем складають відповідно -45°C та -25°C .

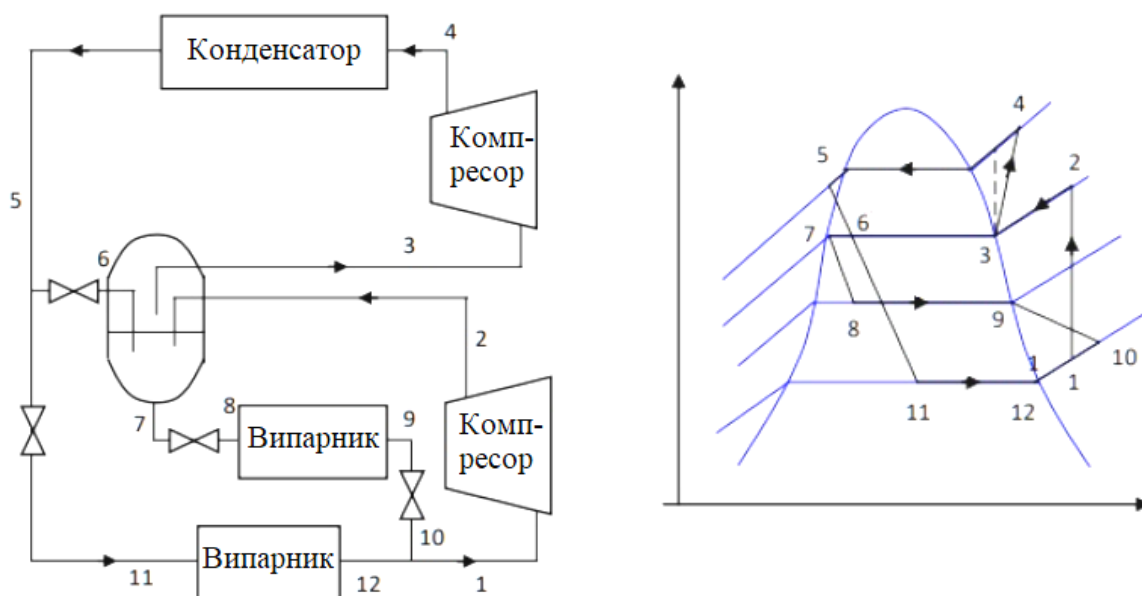


Рисунок 2.1 – Двоступеневий холодильний цикл з затопленими випарниками та відкритим проміжним охолоджувачем

На рисунку позначено випарник для камери швидкого заморожування та інший випарник для тунелю з розсолом. Обидві паралельні гілки з'єднані за допомогою клапанів. Клапани служать для вибору, яка установка буде постачатися охолодженим аміаком і, відповідно, яка установка буде в роботі.

Здійснено порівняння циклів холодильної установки для вибору найбільш відповідного циклу для холодильної системи. Двоступеневий холодильний цикл з затопленими випарниками та відкритим проміжним охолоджувачем визнано найбільш ефективним рішенням. Обидві установки – камера швидкого заморожування та тунель з розсолом – не працюватимуть одночасно, але використовуватимуть спільні компресори, відкритий проміжний охолоджувач та конденсатор.

2.2 Проєктування камери швидкого заморожування

У процесі заморожування риби застосовується обладнання: камера швидкого заморожування та тунель з розсолом (заморожування методом занурення). Температура роботи відрізняється для обох установок. Повітря в кімнаті для заморожування під час роботи підтримується при -40°C . Це означає, що аміак потрібно охолоджувати до -45°C . Тунель з солоною водою підтримується при -15°C поза роботою. Під час роботи розсіл охолоджується до -20°C , що означає, що температура випарника має бути нижчою за -20°C , а саме -25°C .

Обрано двоступеневий холодильний цикл з затопленими випарниками та відкритим проміжним охолоджувачем, як найбільш ефективний. Холодильна система складається з двох одноступеневих компресорів, конденсатора, трьох розширювальних клапанів, двох випарників, відкритого проміжного охолоджувача (інтеркулер для зниження температури перегрітої пари холодоагенту між ступенями стиснення). Обидві установки – камера швидкого заморожування та тунель з розсолом – не працюватимуть одночасно, але використовуватимуть спільні компресори, відкритий проміжний охолоджувач та конденсатор. Температури випарників у камері швидкого заморожування та в тунелі з розсолом складають відповідно -45°C та -25°C .

Камера швидкого заморожування заснована на повітряному заморожуванні – це поширена техніка заморожування, яку використовують у всьому світі для заморожування туш і фасованих харчових продуктів. У цьому методі продукт піддається впливу повітря з низькою температурою та високою швидкістю. Повітряні зазвичай знижується від -30 до -45°C та циркулює зі швидкістю 10-15 м/с і потрібно від 12 до 48 годин для досягнення бажаного замерзання. Рух холодного повітря на великій швидкості дозволяє заморожуванню відбуватися помірно швидко, і цей метод називається заморожуванням повітряним потоком.

1. Циркуляція повітря в шоківій морозильній камері. Повітря є вторинним холодоагентом, який відводить тепло від продуктів та їх оточення і переносить його до випарника, де воно охолоджується і знову викидається в охолоджувану камеру. Тепло, як відчутне, так і приховане через конденсацію

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

водяної пари, поглинається поверхнею випарника. Рух повітря всередині морозильної камери виконує дві основні функції:

- по-перше, температура атмосфери та відносна вологість гомогенізуються для їхньої відносно рівномірної підтримки;
- по-друге, підвищується ефективність випарника, оскільки коефіцієнт теплопередачі збільшується зі зростанням швидкості повітря над ним.

Рух повітря може посилюватися за рахунок різниць у густині повітря, що відомо як природна конвекція, або може стимулюватися механічними діями, що називається примусовою конвекцією. Для контролю швидкості повітря в камері та над випарником використовуються вентилятори. Усередині морозильного приміщення встановлюється схема циркуляції повітря, де випарник є центральною точкою, а решта регулюється менш потужними силами, які спрямовують повітря при його русі через простори для укладання та рециркуляції [10, 13-15]. Однорідність циркуляції повітря визначається шляхом вимірювання різниці температур, наприклад, у різних зонах самої морозильної камери. Чим менша різниця, тим краще розподіл повітря. При використанні систем примусової конвекції стабільні атмосферні умови залежать від того, наскільки рівномірно розподіляється повітря, і якщо схема циркуляції передбачає значний горизонтальний рух, дизайн укладання продукції та схема потоку повітря повинні бути сумісними. Шари складеної продукції іноді служать для регулювання потоку повітря, створюючи рівномірний опір по всій камері без перешкоджання циркуляції.

Циркуляція повітря залежить від кількох факторів: потоку повітря в вентиляторі, кількості збережених продуктів і схеми укладання, ефективності ізоляції, розмірів та форми камери, зовнішньої температури навколишнього середовища, різниці тисків через потік повітря, робочого стану випарника та накопичення інею. З цього випливає, що циркуляція повітря змінюється залежно від моменту робочого циклу та стану поверхні випарника. Розподіл повітря в холодному сховищі здійснюється за допомогою вентиляторів з довгим ходом. Потік подачі повітря має бути достатньо широким, щоб адекватно вентилувати всі точки холодної кімнати [10, 13-15]. Очевидно, що найважливішим фактором розподілу повітря, незалежно від використання системи є схема укладання. Циркуляція повітря в морозильній кімнаті має бути правильною незалежно від стану навантаження. Якщо всі вимоги до схеми укладання виконані, а температура все одно залишається надто високою в певних місцях, причина, ймовірно, у недостатній запасі холодного повітря. Це можна подолати за допомогою потоків з вищою швидкістю повітря.

Для камер шоквої заморозки середня швидкість повітря в зоні, де розміщено продукт, є характерним фактором, що визначає розподіл повітря. У шоквих морозильниках швидкість повітря повинна бути близько 2 м/с або більше, вимірювано в порожній секції. Швидкість потоку повітря через випарник повинна бути близько 3 м/с, щоб досягти високих загальних коефіцієнтів теплообміну. Повітрообіг повинен підтримуватися постійно, оскільки достатнє надходження холодного повітря до поверхні продукту необхідне для підтримки адекватної швидкості заморожування, незалежно від

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

температури повітря або випарника.

Було обрано осьовий вентилятор для камери швидкого заморожування модель: НСТ-80-4Т-4.

Технічні характеристики:

- швидкість: 1450 об/хв;
- максимальне електроживлення: 230 В;
- потужність: 3 кВт;
- максимальний потік повітря: 37000 м³/год;
- рівень звукового тиску 83 Дб;
- приблизна вага: 69,7 кг.

2. Холодильне навантаження. Для розрахунку теплового навантаження, яке виробляє риба скористаємося наступними даними:

- максимальна маса – 60000 кг;
 - час заморожування – 24 год (86400 с);
 - максимальна температура риби при вході до камери шокового заморожування – 11°C;
 - температура риби при виході з камери шокового заморожування –18°C.
- Теплове навантаження [10]

$$Q = \frac{mCp_1(t_{in} - t_f) + mL_{hl} + mCp_2(t_f - t)}{t}$$

Тунець
 $t_f = -2.2^\circ\text{C}$
 $Cp_1 = 3.430 \text{ kJ/kgK}$
 $Cp_2 = 2.190 \text{ kJ/kgK}$
 $L_{hl} = 233 \text{ kJ/kg}$
 $Q = 213.110 \text{ kW}$

Скумбрія
 $t_f = -2.2^\circ\text{C}$
 $Cp_1 = 3.330 \text{ kJ/kgK}$
 $Cp_2 = 2.230 \text{ kJ/kgK}$
 $L_{hl} = 212 \text{ kJ/kg}$
 $Q = 202.215 \text{ kW}$

1.2 Випарник для камери швидкого заморожування. Випарник – це теплообмінник у якому холодоагент випаровується при низькій температурі та відповідно, під низьким тиском, але зазвичай вище атмосферного тиску, щоб запобігти витокам газу та/або водяної пари у низькотисковий контур. Випарник – це елемент холодильного контуру, через який тепло поглинається з охолоджуваного середовища. Він може поглинати тепло, необхідне для випаровування холодоагенту, або з повітря (системи прямого розширення), або з рідини (зазвичай води), або з розчину, який у рибній промисловості використовується як вторинний холодоагент, циркулюючи через повітряний охолоджувач у холодильній кімнаті [7]. Здійснюється пряме повітряне охолодження через випаровування рідкого холодоагенту, оскільки вторинні холодильні установки встановлюються тоді, коли необхідно накопичувати запаси холоду, як у багатофункціональних холодильних установках. Пряме розширення потребує менших початкових інвестицій і зазвичай споживання електроенергії нижче, оскільки різниця температур між первинним холодоагентом і повітрям менша, ніж у системах із вторинною рідиною.

Повітряно-охолоджувальні випарники можуть працювати за природної конвекції, коли рух повітря визначається різницею щільності повітря, або за примусової чи механічної конвекції, коли для прискорення руху повітря над охолоджувачем і полегшення розподілу повітря всередині камери шокової заморозки використовуються вентилятори або нагнітачі.

Системи природної конвекції мають дві основні переваги: не потрібна енергія для циркуляції повітря і висихання продукції значно менше, оскільки швидкість повітря набагато нижча, а відносна вологість висока. Очевидно, що існують деякі недоліки: по-перше, у процесі розморожування, а по-друге, і більш важливо, через низький загальний коефіцієнт теплообміну внаслідок низької швидкості повітря над випарником, що призводить до великих площ теплообміну, через що вони громіздкі та дуже дорогі. Їхня вартість, включаючи встановлення у камері швидкого заморожування, у три-чотири рази перевищує вартість випарника з примусовою конвекцією, оскільки площа теплообміну більша, витрати на виготовлення труб високі, а монтаж у камері складний і трудомісткий [7, 10]. Випарники з примусовою конвекцією або примусовою тягою були розроблені через те, що вищий загальний коефіцієнт теплопередачі, який досягається при швидкій циркуляції повітря над теплообмінними спіралеподібними трубами, дозволяє значно зменшити площу поверхні випарника. Крім того, вони мають велику холодильну здатність. Швидкості повітря через випарник повинні бути в межах від 1,5 до 3 м/с для досягнення високого коефіцієнта теплопередачі, але слід пам'ятати, що перевищення верхньої межі (3 м/с) призведе до того, що тепло, вироблене електродвигуном вентилятора, перевищить збільшення охолоджувальної здатності. Крім того, швидкості понад 3 м/с схильні переносити вологу, осілу на спіралях, до продуктів. Потік повітря повинен бути достатньо дальнім, щоб забезпечити рівномірну циркуляцію повітря та рівномірний розподіл температури в холодильному сховищі.

Трубки випарника є трубками з ребрами, призначеними для створення великої площі теплообміну в компактному елементі. Розмір і відстань між ребрами залежать від роботи та насамперед від робочої температури. Висота ребра зазвичай повинна дорівнювати діаметру трубки, а ребро має бути достатньо товстим для забезпечення механічної міцності (0,7-1 мм). Відстань між ребрами становить від 6 до 15 мм і більше, щоб мінімізувати ризик утворення льодових пробок [7, 10]. Іноді ребра розташовують ширше на вході повітря в котушку, щоб вони діяли як уловлювач льоду та уникали перешкод для повітряного потоку. Випарники з примусовою конвекцією встановлюють для зручного доступу до самих агрегатів, а також до допоміжного обладнання, такого як розширювальний клапан, обладнання для розморожування і особливо до двигуна вентилятора. Позиція визначається потужністю охолоджувача. Охолоджувачі великої потужності встановлюють на підлозі.

Випарники поділяються на дві категорії залежно від способу подачі рідкого холодоагенту: сухого або прямого розширення та затоплені. У режимі сухого розширення випарник отримує рідину від термостатичного

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

розширювального пристрою у вигляді суміші рідини та невеликої частки пари. Холодоагент залишає випарник повністю випареним і трохи перегрітим, приблизно на 2–4 °С вище температури випаровування, що запобігає ризику потрапляння рідини до компресора. Розширення рідкого холодоагенту відбувається у термостатичному розширювальному клапані, дозувальному пристрої для рідини, оснащеному термометричним сенсором, який здатний підтримувати помірний рівень перегріву пари холодоагенту.

У системі рециркуляції рідкого аміаку насос циркулює аміак від приймача низького тиску до випарників. Приймач низького тиску – це оболонка для зберігання холодоагенту при низькому тиску, яка використовується для подачі холодоагенту до випарників за допомогою низькотискового насоса. Він також забирає всмоктування від випарників і відокремлює газ від рідини [7, 10, 18]. Оскільки кількість рідини, що подається у випарник, у три рази більша, ніж та, що фактично випаровується там, рідина завжди присутня у всмоктувальному зворотному сітку до приймача низького тиску. Загальна охолоджувальна здатність випарників у кімнаті швидкого заморожування становить приблизно 292 кВт. Випарник в камері швидкого заморожування називається низькоступеневим випарником.

Один випарник складається з випарної спіралі та 6 вентиляторів. Через конструкцію кімнати з шокним заморожуванням замінено розташування вентиляторів, два вентилятори встановлені безпосередньо на випарній спіралі. Потужність кожного з них становить 3 кВт. Тож замість 3,3 кВт потужності вентилятора на котушку випарника у нас 6 кВт. Мета – створити більший зовнішній тиск, а саме 364 Па. Об’ємна швидкість потоку, що виробляється двома вентиляторами, становить 34776 м³/год. Це означає, що ємність випарної спіралі залишиться такою ж, як і у оригінальних вентиляторів. Не всі 6 випарників розморожуються одночасно. Випарники шокної камери є стандартними виробами. Тим не менш, стандартні вентилятори замінені на більш потужні, щоб подолати високий перепад тиску, спричинений розташуванням риби в морозильній камері. Автоматичне газове розморожування випарників має запобігати утворенню товстого шару інею та, відповідно, погіршенню теплообміну у випарниках.

1.3 Розморожування випарника. Процес видалення льоду з випарника у холодильній техніці називається розморозкою. Всередині випарника знаходиться хладагент, а на зовнішній стороні, проходячи через трубки та ребра, тече повітря з відповідним вмістом вологи. Оскільки всередині випарника температура зазвичай нижче точки роси води (точки, в якій вода починає конденсуватися), вода конденсується на випарнику [16]. Якщо температура всередині також нижче нуля градусів, конденсована вода замерзає, утворюючи іній, сніг або лід. Коли починається процес утворення льоду, спочатку з’являється іній на поверхні трубок і ребер. Іній складається з великої кількості кристалів, які значно збільшують поверхню теплового обміну і спочатку покращують передачу тепла. Згодом, у міру накопичення об’єму інію, різко зменшується швидкість потоку повітря через ребра, втрачаючи холодильну потужність.

Коли це трапляється, цей мороз або сніг мають розтанути, а циркуляційне повітря зупиняє впорскування, а коли він уже розтанув – повторно впорскувати, щоб швидко замерзнути рідку воду, утворивши щільний лід і хороший теплопередавач. Коли температура випаровування значно нижча за нуль градусів, процес утворення інею та снігу майже не проявляється, і безпосередньо утворюється щільний лід. Це впливає на роботу випарника, зменшуючи передачу тепла ззовні випарника всередину. Крім того, процес утворення льоду є кумулятивним, що означає, що якщо його не уникнути, з часом випарник блокується від льоду [16]. Відповідно, необхідно регулярно видаляти лід із випарника. Важливо не забувати, що випарник має лоток на дні для збору конденсованої води, яка має виходити у водяні зливи. Водопровідні труби на виході лотків і вода, що затримується в них, мають бути запобігані замерзанню. Щоб видалити лід, що утворюється у випарниках, необхідно забезпечити теплоподачу для танення льоду. Це теплопостачання може відбуватися як зсередини випарника, так і ззовні.

2.3 Проектування тунелю для розсолу методом занурення

1. Резервуар для розсолу – це не просто звичайний резервуар. Він виконує кілька функцій, які потрібно враховувати під час проектування. Перш за все, він повинен витримувати тиск рідини. Оскільки цей тиск незначний, більше значення мають інші обмеження, які потрібно врахувати [10, 12]:

- резервуар буде піддаватися впливу агресивного середовища (вода з NaCl);
- температура коливається між температурою навколишнього середовища 25°C та робочою температурою розсолу – 20°C);
- сталь має легко зварюватися, щоб гарантувати якість з'єднань має бути нержавіюча і завдяки додаванню хрому має відмінну стійкість до корозії.

Охолоджуюче середовище в якому занурюють сардину, дуже важливе. Воно має відповідати багатьом критеріям, оскільки регулювання харчової промисловості дуже суворе. Важливим аспектом при заморожуванні методом занурення є вибір відповідного середовища для заморожування. Середовище повинно бути нетоксичним, прийнятним для органів охорони здоров'я, легким у відновленні та недорогим. Воно також повинно мати низьку температуру замерзання та в'язкість. Важко знайти середовище для заморожування, яке відповідало б усім цим вимогам. Можливі три варіанти [10, 12]:

- вода не підходить для цього застосування, очевидно, що його не можна використовувати, коли робоча температура –20°C нижча за точку замерзання;
- кальцієвий розсол зневоднює і надає гіркого смаку зануреним продуктам, тому він не може мати прямий контакт із сировиною (мінімальна робоча температура становить 55°C);
- розсол натрію використовується при фізичному контакті з сировиною. Розчин хлориду натрію та суміш глюкози та солі у воді є прийнятними середовищами. Глюкоза зменшує проникнення солі в рибу та забезпечує захисну глазур.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Буде використовуватися розчин хлориду натрію з масовою часткою NaCl 23 %. Він відповідає всім вищезазначеним критеріям. Ми обираємо частку NaCl 23 %, оскільки це евтектичний розчин. З цим евтектичним розчином ми досягаємо нижчих температур без осадження. З меншою часткою NaCl розчин утворює кристали льоду при вищій температурі. З більшою часткою NaCl розчин утворює кристали солі.

2. Холодильне навантаження та час охолодження розсолу. Сегменти загального холодильного навантаження включають [10]:

- навантаження на передачу тепла, коли тепло передається в охолоджуваній простір через його поверхню;
- навантаження на продукт, коли тепло відводиться від продуктів і виробляється продуктами, що доставляються та зберігаються в охолоджуваному просторі;
- навантаження, пов'язане з обладнанням.

Перші два сегменти навантаження становлять чисте теплове навантаження, для якого має бути забезпечена холодильна система, а третій сегмент включає всі теплові надходження, створені холодильним обладнанням. Таким чином, чисте теплове навантаження плюс теплове навантаження обладнання є загальним холодильним навантаженням, для якого має бути обраний компресор. Коли працює шокова морозильна камера, температура розсолу підвищується. Саме тому спочатку використовуємо повну потужність установки, яка приблизно дорівнює холодильному навантаженню, щоб знизити її температуру до робочої температури -20°C .

3. Затоплений випарник. Однією з основних переваг затопленої системи є високий коефіцієнт теплопередачі, оскільки кипляча рідина повністю оточує внутрішню поверхню випарника, чим менший вміст пари на виході з випарника, тим більший цей коефіцієнт, тому доцільно використовувати циркуляцію за допомогою насоса, щоб збільшити співвідношення рідина/пара. Різниця температур між повітрям і киплячим холодоагентом підтримується в межах $4-5^{\circ}\text{C}$, що можливо завдяки високим коефіцієнтам теплопередачі та режиму роботи при затопленні, що забезпечує високу ефективність по всій поверхні випарника. Затоплені системи зазвичай використовуються на високопродуктивних аміачних установках та там, де ймовірна змінна теплова система [7, 10, 12]. Затоплені випарники можуть працювати за допомогою механічного насоса для циркуляції рідкого холодоагенту в контурі випарник-сепаратор із достатньо високою швидкістю, щоб повертати рідину до сепаратора у стані вологих парів. Рекомендована швидкість потоку для досягнення високого загального коефіцієнта теплообміну становить від трьох до восьми разів швидкості випаровування холодоагенту, залежно від теплового навантаження камери. Усі випарники в одному контурі мають житися паралельно з використанням щонайменше двох насосів – одного робочого та одного в резерві, ізолюючи кожен випарник електромагнітним клапаном під контролем термостата кімнати. Коли ці клапани закриті, рідинний холодоагент має бути рециркуляційний до рідинного сепаратора. Основні недоліки

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

затоплених випарників полягають у тому, що вони зазвичай громіздкі і потребують відносно великого заряду холодоагенту.

Випарник охолоджує розсіл за допомогою випаровування аміаку всередині його трубок. Застосовується занурювальний випарник – це випарники, які занурюють у рідину для охолодження і циркуляція води не є необхідною для роботи обладнання. Вони можуть працювати з рідиною, що охолоджується, повністю статичною. Тому, коли розсіл протікає вздовж його поверхні, він охолоджується. Необхідно узгодити загальне теплове навантаження та холодопродуктивність випарника. Випарник розташований у баку з розсолом. Він складається з чотирьох окремих однакових теплообмінників. Теплообмінник дуже простий і базовий – це збірка паралельних труб без ребер, через які прокачується аміак [7, 10, 12]. Усі труби занурені в розсіл у баку. Мішалки циркулюють розсіл, щоб забезпечити кращий тепловий обмін від випарника до риби. Загалом швидкість потоку розсолу 0,15 м/с забезпечує хорошу ефективність. Випарник вводиться у рідину для охолодження та живлення холодоагентом, доки рідина не охолодиться. Зазвичай на рідині встановлюють мішалку для уніфікації температури в рідині. Існує ще одне застосування – накопичення енергії у вигляді льоду, у так званих льодових банках. У обладнанні, де теплове навантаження дуже високе у години пік і нульове у непікові години, можливо накопичувати енергію у непікові години, щоб мати змогу використовувати її в години пік. Завдяки цій системі досягається зниження потужності холодильного обладнання та економія споживання електроенергії шляхом укладання енергетичних лічильників із часовою дискримінацією.

Затоплені випарники працюють за допомогою безперервного потоку чистої рідини, що циркулює через випарник і живиться за допомогою сили тяжіння або насоса. Рідина виходить із випарника у вигляді суміші рідини та пари, оскільки випаровується лише частина об'єму холодоагенту, що подається до нього. Суміш направляється до рідинного сепаратора або барабана перенапруги, звідки невиварована рідина подається назад до входу випарника. Високотискоаний холодоагент випускається у рідинний сепаратор під низьким тиском так, щоб рівень залишався досить сталим [7, 10, 12]. Розширення рідини можна контролювати за допомогою низькотискового поплавкового клапана, ручного клапана, постійного потоку або термостатичного способу, а сьогодні електронним розширювальним клапаном, що дозволяє легко регулювати рівень рідини. Змійовик із нержавіючої сталі встановлюється на кришці, занурюється безпосередньо сольовий розчин, а охолоджувач випаровується (рис. 2.2).

Переваги системи:

- менші витрати на матеріали через те, що загальний коефіцієнт теплопередачі буде підвищений через турбулентність, яка виникає у рідинах, що обмінюються теплом;
- легке обслуговування установки.

Недоліки системи:

- велика складність у виготовленні змійовика через низьку пластичність нержавіючої сталевих труби;

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

- занадто велике падіння тиску через високу шорсткість нержавіючої сталевих труби;
- зменшується швидкість передачі тепла, коли температура продукту наближається до температури зберігання.

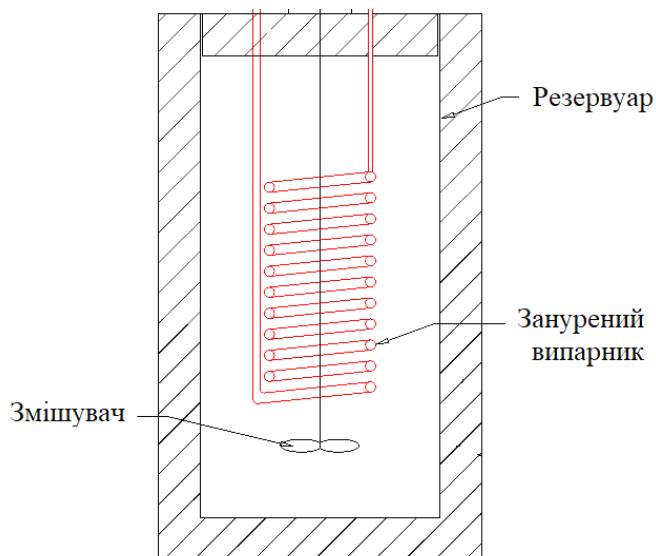


Рисунок 2.2 – Затоплений випарник

Мідний змійовик поміщено в кільце з нержавіючої сталі, яке контактує з продуктом. Температура випаровування холодоагенту встановлюється нижче 0°C. На рисунку показано схему цієї альтернативи (рис. 2.3).

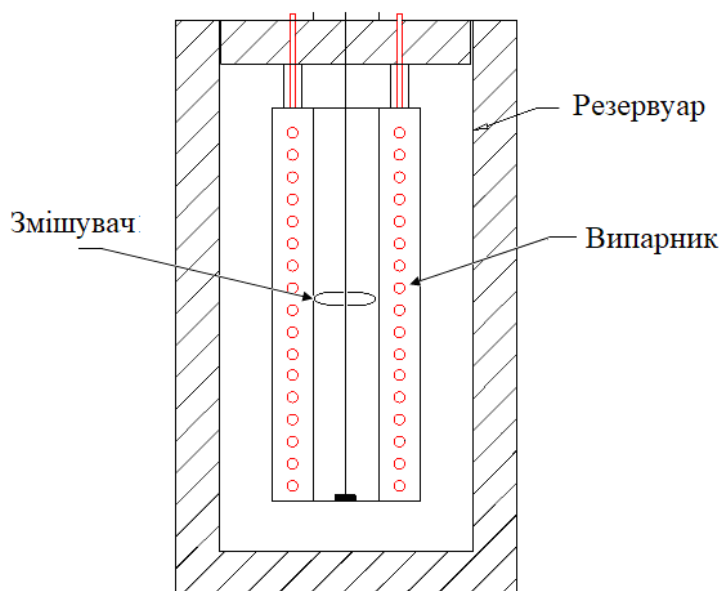


Рисунок 2.3 – Удосконалений випарювальний блок

Переваги системи:

- легкість будівництва завдяки великій гнучкості певних типів мідних труб;

– всередині мідної труби немає значних падінь тиску завдяки її гладкій поверхні та меншій кількості різких змін поперечного перерізу спіралі, порівняно з нержавіючою сталлю;

– передача тепла залишається значною до моменту, коли температура продукту наближається до температури зберігання, оскільки існує помітний температурний градієнт;

– розташування кільця перетворюється на витяжну трубку для системи перемішування, покращуючи перемішування та забезпечуючи відмінне оходження продукту.

Недоліки системи:

– середня вартість будівництва порівняно з альтернативою;

– складність прямого доступу до мідної труби під час профілактичного обслуговування.

Діаметр зміювика випарної установки був встановлений рівним діаметру трубопроводу всмоктуваного газу, який було розраховано раніше $D = 3/8$ дюйма. Розміри кільця приблизні таким чином, щоб його поверхня не була дуже обмеженою та щоб отримати приблизний об'єм 5 літрів [12].

$$V = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \times L$$

$$V = \frac{\pi}{4} \times (0.19m^2 - 0.15m^2) \times .46m$$

$$V = 0.0049m^3 \approx 5$$

Площа кільця

$$A = \frac{886 \text{ W}}{75 \text{ W/m}^2 \text{ K} \times 24.96^\circ \text{C}}$$

$$A = 0.473 \text{ m}^2$$

Довжина площі кільця [12]

$$L = \frac{0.473 \text{ m}^2}{\pi \times (0.19m + 0.15m)}$$

$$L = 0.443m \approx 0.45m = 45 \text{ cm}$$

Довжина кожного витка

$$L = \pi \times 0.17 \text{ m}$$

$$L = 0.534 \text{ m}$$

Кількість витків [12]

$$N = \frac{18}{0.834}$$

$$N = 33.7 \approx 34$$

4. Система змішування. Змішувачі перемішують рідину таким чином, щоб вона набувала циркуляційного руху. У нашому випадку метою змішування є покращення теплопередачі. Змішувачі можуть бути вертикальними або горизонтальними, стаціонарними або знімними. Мішалки будуть стаціонарними, оскільки немає необхідності їх розбирати. Установка та змішувач повинні працювати одночасно, щоб запобігти утворенню льоду та несправності системи. Обрано гвинтовий пропелер, оскільки цей тип підходить для простого руху та застосувань. Використовується електричний двигун для створення руху, змішувач розташовується всередині у вертикальному центральному положенні, що забезпечує чистий осьовий потік (рис. 2.3).

Здійснено порівняння циклів холодильної установки для вибору найбільш відповідного циклу для холодильної системи. Двоступеневий холодильний цикл з затопленими випарниками та відкритим проміжним охолоджувачем визнано найбільш ефективним рішенням. Холодильна система складається з двох одноступеневих компресорів, конденсатора, трьох розширювальних клапанів, двох випарників, відкритого проміжного охолоджувача (інтеркулер для зниження температури перегрітої пари холодоагенту між ступенями стиснення). Обидві установки – камера швидкого заморожування та тунель з розсолом – не працюватимуть одночасно, але використовуватимуть спільні компресори, відкритий проміжний охолоджувач та конденсатор. Температури випарників у камері швидкого заморожування та в тунелі з розсолом складають відповідно -45°C та -25°C . Обидві паралельні гілки з'єднані за допомогою клапанів. Клапани служать для вибору, яка установка буде постачатися охолодженням аміаком і, відповідно, яка установка буде в роботі.

Обрано випарники для двох холодильних установок. Випарники камери швидкого заморожування є стандартними виробами. Тим не менш, стандартні вентилятори замінені на більш потужні, щоб подолати високий перепад тиску, спричинений розташуванням риби в морозильній камері. Автоматичне газове розморожування випарників має запобігати утворенню товстого шару інею та, відповідно, погіршенню теплообміну у випарниках. Для розсольного тунелю запропоновано мідний змійовик, який поміщено в кільце з нержавіючої сталі, що контактує з розчином. Змішувачі перемішують рідину таким чином, щоб вона набувала циркуляційного руху. Установка та змішувач повинні працювати одночасно, щоб запобігти утворенню льоду та несправності системи. Обрано гвинтовий змішувач, оскільки цей тип підходить для простого руху та застосувань. Використовується електричний двигун для створення руху, змішувач розташовується всередині у вертикальному центральному положенні та забезпечує чистий осьовий потік.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Компоненти холодильної системи

Система охолодження – це теплова машина, мета якої є вилучити тепло з джерела при низькій температурі та передати його іншому джерелу при вищій температурі. Для цього необхідний внесок у роботу, оскільки тепло спонтанно спрямовується від гарячого джерела до холодного, а не навпаки, згідно з другим законом термодинаміки. Енергопостачання для роботи машини здійснюється механічним стисненням холодоагентного газу, який відповідає за передачу тепла від одного джерела тепла до іншого. Механічне стиснення здійснюється шляхом приводу компресора електродвигуном. Чотири основні компоненти холодильної установки – це механічний компресор, конденсатор, розширювальний клапан і випарник, а також інші пристрої безпеки та керування. Зі свого боку, холодоагентна рідина, що циркулює через систему холодоагенту, поглинає енергію, яку дає компресор і це змушує його рухатися через контур.

1. Випарники. Випарник – це теплообмінник, який має необхідну потужність для досягнення бажаної температури у приміщенні, що охолоджується. Основне завдання випарника – забезпечити передачу тепла від середовища, що охолоджується, до холодильного агента. Рідкий холодоагент для того, щоб випаруватися, потребує поглинання тепла і, відповідно, створює холод. У холодильній установці випарник розташований між розширювальним клапаном та всмоктуванням компресора. Його проектування та розрахунок у холодильній установці мають складнощі, такі як вибір типу, розташування або зниження коефіцієнта теплопередачі через утворення льоду.

Основні характеристики, які повинен відповідати випарник такі [16, 17]:

- велика поверхня випарника у контакті з холодоагентом;
- пар повинен виходити сухим насиченим до компресора;
- мінімальна втрата тиску, але зі швидкістю, достатньою для забезпечення хорошої теплопередачі;
- повинні бути герметичними;
- стійкий до корозії;
- легке очищення та розморожування.

Випарники камери швидкого заморожування є стандартними виробами. Тим не менш, стандартні вентилятори замінені на більш потужні, щоб подолати високий перепад тиску, спричинений розташуванням риби в морозильній камері. Автоматичне газове розморожування випарників має запобігати утворенню товстого шару інею та, відповідно, погіршенню теплообміну у випарниках. Для розсольного тунелю запропоновано мідний змішувик, який

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування холодильної установки для заморожування риби		
Розроб.	Вдовіченко						
Перевір.	Цвіркун						
Н. Контр.	Омельченко						
Затверд.	Омельченко						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						40	5
					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		

поміщено в кільце з нержавіючої сталі, що контактує з розчином. Змішувачі переміщують рідину таким чином, щоб вона набувала циркуляційного руху. Установка та змішувач повинні працювати одночасно, щоб запобігти утворенню льоду та несправності системи. Обрано гвинтовий змішувач, оскільки цей тип підходить для простого руху та застосувань. Використовується електричний двигун для створення руху, змішувач розташовується всередині у вертикальному центральному положенні та забезпечує чистий осьовий потік.

2. Компресори. Компресор є активним елементом холодильного контуру. Він виконує дві функції: знижує тиск в випарнику до того рівня, щоб холодоагент випаровувався при встановленій температурі та підтримує цей тиск, видаляючи пари та підвищуючи температуру конденсованого середовища. Робота компресора полягає у всмоктуванні парів холодоагенту, їх компресії та викиді у конденсатор. Найпоширеніші типи компресорів, що використовуються у холодильних системах: поршневі, ротаційні, гвинтові або спіральні, центробіжні. Перші три – це позитивне переміщення, тобто в них рідина охолоджуючої рідини піддається справжньому механічному стисненню через елементи, які здійснюють стиснення шляхом об'ємного відновлення. Усі компресори такого типу, щоб підвищити тиск газу, пропускають певну його кількість у певному об'ємі, а потім зменшують об'єм камери [16, 22]. Зменшення об'єму газу призводить до підвищення його тиску. Відцентрові компресори мають кінетичний витіснення, оскільки вони здійснюють стиск відцентровою силою, що діє на холодоагентну рідину обертанням ролика, що обертається на великій швидкості. Найпоширенішими компресорами в галузі холодильної техніки є поршневі та гвинтові компресори. Інші типи компресорів не доступні для цього проекту через обмежене застосування. Охолоджувальна ємність і потужність компресора – дві з найважливіших характеристик експлуатації. Ці дві характеристики компресора, що працюють на постійній швидкості, в основному контролюються тисками впуску та випуску.

Оскільки холодильна установка працює при низькій температурі, доцільно та економічно використовувати двоступеневу систему стиснення, особливо на такій високопродуктивній установці, незважаючи на складність їх монтажу та експлуатації, оскільки енергоспоживання значно менше. Гвинтові компресори є вибором для більшості промислових холодильних систем. Всі гвинтові компресори мають конструкцію з постійним об'ємом.

Гвинтовий компресор є активним елементом охолоджувального контуру. Він має дві функції [10, 22]:

- по-перше, зменшувати тиск у випарнику до моменту випаровування рідкого холодоагенту до поточної температури та підтримувати тиск, витягуючи пару, що утворюється внаслідок випаровування холодоагенту;
- по-друге, стиснути пару шляхом підвищення її температури та тиску до рівня, при якому пара може конденсуватися при нормальній температурі конденсаційного середовища.

Для оцінки правильного розміру компресорів слід попередньо оцінити розмір випарників і конденсаторів. Загального правила поділу потужності

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

холодильного компресора встановити не можна. Однак очевидно, що слід дотримуватися критеріїв вартості. Щоб допомогти у виборі процесу, необхідно враховувати кілька загальних факторів: компресори мають бути взаємозамінними і бажано подібного типу, щоб зменшити запас запчастин; Холодильна установка має бути оснащена резервними машинами, які не використовуються для жодних інших цілей, окрім заміни несправних машин; Компресори оснащені регуляторами пропускної здатності та автоматичним регулюванням. Незважаючи на всі ці вимоги, витрати слід тримати якомога нижчими [10, 22]. Компресори, контрольно-вимірювальні прилади, конденсатори та їхні допоміжні елементи групуються в машинному відділенні. Розташування ретельно обирається, щоб мінімізувати прокладання труб до всіх секцій холодильної камери і не заважати можливому майбутньому розширенню холодильного обладнання. Слід стежити, щоб не перевищувати допустиме навантаження на підлогу. Положення компресора в машинному відділенні забезпечує легкий доступ для обслуговування, ремонту та можливої заміни. Оточення повинно бути прохолодним і сухим за будь-яких погодних умов і добре вентильованим. Машини повинні залишатися чистими і бути захищеними від пошкоджень.

Оскільки обраний цикл – це двоступеневий цикл з відкритим проміжним охолоджувачем, а проміжна температура змінюється залежно від того, яка установка працює. Оптимальна проміжна температура для роботи камери шокової заморозки становила $-7,5^{\circ}\text{C}$, а для льодової тунельної установки 4°C . Обидва компресори розраховані з урахуванням холодильної потужності та обсягу потоку тунелю шокової заморозки. Для камери шокової заморозки обрано компресор низького ступеня, який працює при температурі випарника від -45°C до проміжної температури $-7,5^{\circ}\text{C}$. Компресор високого ступеня працює між проміжною температурою та температурою конденсатора 35°C .

Камера швидкої заморозки:

- загальна холодопродуктивність: 302,7 кВт;
- прокачуваний об'єм: 2108,9 м³/год;
- температура випарника: -45°C ;
- проміжна температура: $-7,4^{\circ}\text{C}$;
- температура конденсатора: 35°C ;

Розсольний тунель:

- загальна холодопродуктивність: 660,4 кВт;
- прокачуваний об'єм: 1742,1 м³/год;
- температура випарника: -25°C ;
- проміжна температура: 4°C ;
- температура конденсатора: 35°C .

Коли компресори з'єднані послідовно пара між ступенями слід охолоджувати, щоб довести його до насиченого стану перед переходом до наступного ступеня стиснення. Проміжне охолодження зазвичай мінімізує обсяг газу, що переміщується компресорами, зменшує необхідну роботу та збільшує коефіцієнт корисної дії ККД циклу. Якщо температура холодоагенту між ступенями перевищує температуру навколишнього середовища, можна

використовувати простий проміжний охолоджувач, який відводить тепло від холодоагенту [10, 17]. Якщо температура нижча за температуру навколишнього середовища, що зазвичай буває, для охолодження пари потрібно використовувати сам холодоагент, що здійснюється за допомогою флеш-проміжного охолоджувача. Поширеною практикою є робота проміжного охолоджувача приблизно при геометричному середньому тисків випаровування та конденсації. Ця робоча точка забезпечує той самий тисковий коефіцієнт і майже однакові об'ємні ККД для двох компресорів.

3. Розширювальний клапан. Термостатичний розширювальний клапан – це пристрій розширення, який є ключовим компонентом у системах холодильної системи, здатний створювати необхідний перепад тиску між конденсатором і випарником у системі. По суті, його місія у пристрої прямого (або сухого) розширення обмежується двома функціями: контролювати потік холодоагенту в рідкому стані, що потрапляє у випарник, та підтримувати постійний перегрів на виході випарника [16, 17]. Для виконання цього завдання встановлена лампа датчика температури, яка відповідає за закриття або відкриття клапана, щоб зменшити або збільшити потрапляння холодоагенту та його випаровування всередину випарника, що означає підвищення або зниження температури навколишнього середовища відповідно. Цей пристрій підвищує ефективність систем охолодження, регулюючи масовий потік холодоагенту відповідно до теплового навантаження. Холодоагент, який потрапляє у випарник прямого розширення, робить це у стані рідинно-парової суміші, оскільки при виході з клапана відбувається раптове падіння тиску внаслідок «прямого розширення» холодоагенту, що спричиняє часткову зміну стану рідини на виході випарника.

4. Конденсатор. Конденсатор – це теплообмінник у якому конденсація холодоагенту в паровому стані відбувається на виході компресора. Конденсатор повинен мати змогу витягувати та розсіювати тепло, поглинуте випарником, плюс тепло, еквівалентне роботі компресії. Вивільнення цього тепла проходить через три фази. Перший полягає в охолодженні газів від температури розряду компресора до температури конденсації [16, 17]. Ця фаза дуже швидка через велику різницю температур між охолоджуючою рідиною та самим конденсатором. Зазвичай він діє на першу чверть конденсатора. Друга фаза полягає у передачі прихованої теплоти конденсації. Це найповільніший і найважливіший етап, саме тоді рідина змінює свій стан. Остання фаза – це охолодження рідини від температури конденсації до бажаної (субохолоджена рідина). Це охолодження відбувається в останній чверті конденсатора. Кінцева температура рідини залежатиме від існуючого теплового стрибка.

Різні найбільш поширені типи конденсаторів класифікуються залежно від способу відведення тепла та використаного зовнішнього робочого середовища.

- конденсатори з повітряним охолодженням;
- конденсатори з водяним охолодженням.

Коли камера шокового заморожування працює, потужності першого конденсатора (HTCN 090.254-680) достатньо для видалення тепла. Коли працює тунель для розсолу, обидва конденсатори працюватимуть одночасно. Загальна потужність обох конденсаторів становить 1383,6 кВт.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зазначено, що система охолодження – це теплова машина, мета якої є вилучити тепло з джерела при низькій температурі та передати його іншому джерелу при вищій температурі. Енергопостачання для роботи машини здійснюється механічним стисненням холодоагентного газу, який відповідає за передачу тепла від одного джерела тепла до іншого. Механічне стиснення здійснюється шляхом приводу компресора електродвигуном. Чотири основні компоненти холодильної установки – це механічний компресор, конденсатор, розширювальний клапан і випарник, а також інші пристрої безпеки та керування. Зі свого боку, холодоагентна рідина, що циркулює через систему холодоагенту, поглинає енергію, яку дає компресор і це змушує його рухатися через контур. Холодильна система складається з двох одноступеневих компресорів, конденсатора, трьох розширювальних клапанів, двох випарників, відкритого проміжного охолоджувача (інтеркулер для зниження температури перегрітої пари холодоагенту між ступеннями стиснення).

Випарники камери швидкого заморожування є стандартними виробами. Тим не менш, стандартні вентилятори замінені на більш потужні, щоб подолати високий перепад тиску, спричинений розташуванням риби в морозильній камері. Автоматичне газове розморожування випарників має запобігати утворенню товстого шару інею та, відповідно, погіршенню теплообміну у випарниках. Для розсольного тунелю запропоновано мідний змішувач, який поміщено в кільце з нержавіючої сталі, що контактує з розчином. Змішувачі переміщують рідину таким чином, щоб вона набувала циркуляційного руху. Установка та змішувач повинні працювати одночасно, щоб запобігти утворенню льоду та несправності системи. Обрано гвинтовий змішувач, оскільки цей тип підходить для простого руху та застосувань. Використовується електричний двигун для створення руху, змішувач розташовується всередині у вертикальному центральному положенні та забезпечує чистий осьовий потік.

Оскільки обраний цикл – це двоступеневий цикл з відкритим проміжним охолоджувачем, а проміжна температура змінюється залежно від того, яка установка працює. Оптимальна проміжна температура для роботи камери шокової заморозки становила $-7,5^{\circ}\text{C}$, а для льодової тунельної установки 4°C . Обидва компресори розраховані з урахуванням холодильної потужності та обсягу потоку тунелю шокової заморозки. Для камери шокової заморозки обрано компресор низького ступеня, який працює при температурі випарника від -45°C до проміжної температури $-7,5^{\circ}\text{C}$. Компресор високого ступеня працює між проміжною температурою та температурою конденсатора 35°C . Коли компресори з'єднані послідовно пара між ступеннями слід охолоджувати, щоб довести його до насиченого стану перед переходом до наступного ступеня стиснення. Проміжне охолодження зазвичай мінімізує обсяг газу, що переміщується компресорами, зменшує необхідну роботу та збільшує коефіцієнт корисної дії ККД циклу. Коли камера шокового заморожування працює, потужності першого конденсатора достатньо для видалення тепла. Коли працює тунель для розсолу, обидва конденсатори працюватимуть одночасно. Загальна потужність обох конденсаторів становить 1383,6 кВт.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена проектуванню холодильної установки для заморожування риби. У роботі зазначено, що використання низьких температур у харчовій промисловості для охолодження або заморожування дозволяє подовжити термін придатності сировини, як у свіжих, так і в оброблених продуктів протягом відносно тривалого часу, зберігаючи їх поживні та органолептичні властивості. Застосування концепцій тепла та масопереносу до сировини історично здійснювалося найчастіше через заморожування харчових продуктів. Тому інженери повинні знати ці принципи, щоб оцінити, спроектувати та обрати правильний процес і обладнання для заморожування, визначаючи вимоги до потужності холодильної системи.

У першому розділі здійснено аналіз обладнання холодильної установки для заморожування риби. Зазначено, що методи здійснення заморожування продуктів можна поділити на три великі групи: контактні та повітряною течією. Основна відмінність між обома полягає в механізмі передачі тепла, що переважає під час процесу заморожування. У той час як у морозильних камерах із повітряним потоком механізм є по суті конвекційним, примусовим або природним, у контактних морозильниках заморожування відбувається в основному шляхом теплопровідності. Також заморожування шляхом занурення у рідину або пряме занурювальне заморожування здійснюється, коли продукт заморожується, занурюючись у заморожувальну рідину або обприскуючись нею, причому рідина залишається в рідкому стані протягом усього процесу.

Здійснено огляд випарників, як одного із компонентів, необхідних для створення холоду та забезпечення умов роботи холодильної установки. Правильний вибір випарника забезпечить його ефективну роботу у виробництві холоду всередині камери заморожування, що гарантує правильне збереження продуктів харчування. Мета випарника – видаляти тепло з продуктів за допомогою рідкого холодоагенту. В камерах швидкого заморожування використовується випарники прямого розширення випаровування хладагенту, яке відбувається під час його проходження через випарник, перебуваючи при цьому в змішаному стані в проміжній точці. В процесі заморожування методом занурення використовуються затоплені випарники. У цьому типі випарників масовий потік рідини значно перевищує потік пари, що утворюється у випарнику.

Другий розділ присвячено реалізації двоступеневого холодильного циклу в процесі заморожування риби. Здійснено порівняння циклів холодильної установки для вибору найбільш відповідного циклу для холодильної системи. Двоступеневий холодильний цикл з затопленими випарниками та відкритим проміжним охолоджувачем визнано найбільш ефективним рішенням. Холодильна система складається з двох одноступневих компресорів,

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Вдовіченко			Проектування холодильної установки для заморожування риби				Літ.		Арк.		Аркуші	
Перевір.		Цвіркун									45		5	
Н. Контр.		Омельченко							ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО					
Затверд.		Омельченко												

конденсатора, трьох розширювальних клапанів, двох випарників, відкритого проміжного охолоджувача (інтеркулер для зниження температури перегрітої пари холодоагенту між ступенями стиснення). Обидві установки – камера швидкого заморожування та тунель з розсолом – не працюватимуть одночасно, але використовуватимуть спільні компресори, відкритий проміжний охолоджувач та конденсатор. Температури випарників у камері швидкого заморожування та в тунелі з розсолом складають відповідно -45°C та -25°C . Обидві паралельні гілки з'єднані за допомогою клапанів. Клапани служать для вибору, яка установка буде постачатися охолодженим аміаком і, відповідно, яка установка буде в роботі. В камері швидкого заморожування здійснюється заморожування тунця та скумбрії, а при заморожуванні методом занурення сардину.

Обрано випарники для двох холодильних установок. Випарники камери швидкого заморожування є стандартними виробами. Тим не менш, стандартні вентилятори замінені на більш потужні, щоб подолати високий перепад тиску, спричинений розташуванням риби в морозильній камері. Автоматичне газове розморожування випарників має запобігати утворенню товстого шару інею та, відповідно, погіршенню теплообміну у випарниках. Для розсольного тунелю запропоновано мідний змішувач, який поміщено в кільце з нержавіючої сталі, що контактує з розчином. Змішувачі переміщують рідину таким чином, щоб вона набувала циркуляційного руху. Установка та змішувач повинні працювати одночасно, щоб запобігти утворенню льоду та несправності системи. Обрано гвинтовий змішувач, оскільки цей тип підходить для простого руху та застосувань. Використовується електричний двигун для створення руху, змішувач розташовується всередині у вертикальному центральному положенні та забезпечує чистий осьовий потік. Однією з основних переваг затопленої системи є високий коефіцієнт теплопередачі, оскільки кипляча рідина повністю оточує внутрішню поверхню випарника.

В третьому розділі обрано компоненти холодильної системи. Оскільки обраний цикл – це двоступеневий цикл з відкритим проміжним охолоджувачем, а проміжна температура змінюється залежно від того, яка установка працює. Оптимальна проміжна температура для роботи камери шокової заморозки становила $-7,5^{\circ}\text{C}$, а для льодової тунельної установки 4°C . Обидва компресори розраховані з урахуванням холодильної потужності та обсягу потоку тунелю шокової заморозки. Для камери шокової заморозки обрано компресор низького ступеня, який працює при температурі випарника від -45°C до проміжної температури $-7,5^{\circ}\text{C}$. Компресор високого ступеня працює між проміжною температурою та температурою конденсатора 35°C . Коли компресори з'єднані послідовно пара між ступенями слід охолоджувати, щоб довести його до насиченого стану перед переходом до наступного ступеня стиснення. Проміжне охолодження зазвичай мінімізує обсяг газу, що переміщується компресорами, зменшує необхідну роботу та збільшує коефіцієнт корисної дії ККД циклу. Коли камера шокового заморожування працює, потужності першого конденсатора достатньо для видалення тепла. Коли працює тунель для розсолу, обидва конденсатори працюватимуть одночасно. Загальна потужність обох конденсаторів становить 1383,6 кВт.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Заморожування плодів і овочів контактним способом. Режим доступу: <https://iua.waykun.com/articles/zamorozhuvannja-plodiv-i-ovochiv-kontaktnim.p/hp>.
2. Замороження харчових продуктів. Режим доступу: <https://www.zahidholod.com.ua/tpost/4006jk4p21-zamorozhennya-harchovih-produktv>.
3. Оптимізація технології заморожування плодоовочевої продукції: Монографія / В.Ф. Ялпачик, Н.П. Загорко, С.В. Кюрчев, В.Г. Тарасенко, Л.М. Кюрчева, С.Ф. Буденко, О.В. Григоренко, М.І. Стручаєв. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2018. 214 с.
4. Different types of freezing systems. URL: <https://zerolearning.in/wp-content/uploads/2024/01/Notes-Types-of-Freezing-systems-zerolearning.pdf>.
5. Refrigeration equipment. URL: https://xp20.ashrae.org/SupplementalFiles/PHVAC9/Refrigeration_Equipment.pdf.
6. Diseño de un congelador de placas para pescado de capacidad 240 kg/h. URL: <https://repositorio.pucp.edu.pe/items/d01ea6dc-82d1-464f-9503-e9b89755fe95/full>.
7. Класифікація та типи випарників холодильних машин. Режим доступу: <https://zaoknom.com.ua/tekhnolohii/klasyfikatsiia-ta-typy-vyparnykyv-kholodylnykh-mashyn/>.
8. Три різні типи випарників для холодильників. Режим доступу: <https://nenwell.com/uk/news/three-types-of-refrigerator-evaporators-and-their-performance/>.
9. Теплообмінна апаратура холодильного агрегату – конденсатор та випарник. Режим доступу: <https://system4.ua/uk/article/teploobmennaya-apparatura-holodilnogo-agregata---kondensator-i-isparitel>.
10. Refrigerating plant design. URL: <https://www.studocu.com/ph/document/technological-university-of-the-philippines/bachelor-of-science-in-mechanical-engineering/refrigerating-plant-design-thesis-rug01-001311694-electromechanical/136382644>.
11. Montaje de un evaporador para un cuarto de congelación. URL: <https://repositorio.pascualbravo.edu.co/server/api/core/bitstreams/f4755959-a119-41f3-8d50-48b212bfac32/content>.
12. Diseño y construcción de un equipo refrigerador de leche por inmersión del evaporador para la familia rodríguez sánchez, en el cantón gualaquiza. URL: <https://dspace.unl.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9e8bf822-2446-4bca-bc30-6e0e895079e7/content>.
13. Холодильні установки: підручник / І.Г. Чумак, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський. Одеса: Рефпринтінфо, 2006. 550 с.
14. Холодильні установки. Проектування / Чумак І.Г., Чепурненко В.П., Лагутін А.Ю., Лар'яновський С.Ю.. Одеса : Друк, 2008. 186 с.
15. Хмельнюк М.Г. Холодильні установки спеціального призначення. Одес. нац. акад. харч. технологій. Херсон : Вид. Грінь Д.С., 2013. 488 с.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

16. Diseño de cámara para la congelación y almacenamiento de pan. URL: <https://e-archivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/4df20996-7f39-41af-8850-ec39a1affb46/content>.

17. Промислові холодильні обладнання. Види. Особливості. Характеристики. Режим доступу: <https://holodprom.com.ua/ua/promoslove-holodilne-obladnannya-vidi-osoblivosti>.

18. Цикли холодильних машин. Режим доступу: https://stud.com.ua/136982/prirodoznavstvo/tsikli_holodilnih_mashin.

19. Холодильна техніка. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/129c97f0-b4dc-4984-9962-ca88d7419c20/content>.

20. Тітлов О.С., Горикін С.Ф. Холодильное оборудование предприятий пищевой промышленности: Львів: Новий світ, 2012. 228 с.

21. Мнацаканов Г.К. Холодильная техника и технология. Одесса: ОДАХ, 2008. 128 с.

22. Види компресорів холодильного обладнання. Переваги та недоліки. Режим доступу: <https://redmedua.com/uk/rnews/61-vidy-kompressorov-holodilnogo-oborudovaniya-dostoinstva-i-nedostatki>.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48