

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 ТА КОНТРОЛЬ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ**
НА РИБОПЕРЕРОБНОМУ ЗАВОДІ

Виконав:

здобувач вищої освіти _____ Столяренко Денис Павлович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник:

_____ зав.каф., к.т.н., доцент, Омельченко О.В. _____
(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

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Столяренко Денис Павлович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Проектування та контроль холодильних систем на рибопереробному заводі»

Керівник роботи к.т.н., доцент, Омельченко О.В.
(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 для заморожування рибної сировини.
3. Проектування холодильної установки на рибопереробному заводі.
4. Аналіз результатів досліджень.

5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

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

Обладнання для заморожування сировини.

Схема холодильної установки для 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 для заморожування рибної сировини	16.02.2026-10.03.2026
3	Проектування холодильної установки на рибопереробному заводі	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)

Столяренко Д.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Омельченко О.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 48 сторінок. Робота містить 11 рисунків, 4 таблиці. Список використаних джерел складається з 31 найменування.

Об'єкт роботи – холодильна установка для заморожування риби.

Предмет роботи – процес заморожування.

Мета роботи – проектування та контроль холодильних систем на рибопереробному заводі.

У роботі зазначено, що риба є дуже швидкопсувними продуктами харчування, тому якість швидко погіршується, якщо їх зберігати за неналежних умов. Термін придатності продукту можна подовжити такими процесами, як сушіння, засолювання, охолодження та глибоке заморожування. Останній метод добре зберігає текстуру та смакові якості протягом тривалого часу.

На основі аналізу, було зазначено, що основними елементами холодильного обладнання є компресор, конденсатор, розширювальний пристрій та випарник. Означені елементи утворюють контур по якому циркулює холодильний агент, метою якого є транспортування тепла. Здійснено добір обладнання для здійснення процесу охолодження.

У процесі проектування морозильної камери враховано, що пластинчатий морозильник має дві визначені області: одна – механічна область, яка охоплює всю структуру, приводи та трансмісію руху, а інша – це область охолодження, яка включає функції, необхідні для забезпечення автономного циклу охолодження. Мінімальна відстань між пластинами становить 50,8 мм, максимальна відстань між пластинами 74,0 мм – відстань буде більшою за загальну товщину рибного блоку, що дорівнює 63,6 мм. Для механічної системи запропоновано:

- заміна механічних гвинтових приводів на гідроциліндри, що забезпечить плавний, рівномірний тиск по всій площині плит, що критично важливе для правильної форми сировини без деформацій та пошкоджень структури риби;

- встановлення датчиків тиску, що дозволить автоматично регулювати зусилля притиску залежно від товщини та виду риби, запобігаючи руйнуванню тушок.

Для охоложувальної системи обрано вертикальний фазовий сепаратор, рідина під тиском подається відцентровим насосом, а пара стискається гвинтовим компресором. Конденсатором буде пластинчастий теплообмінник з охолодженням холодною водою. Розширення здійснюватиметься за допомогою голкового клапана, тому випарник буде затопленим, а всмоктуючий акумулятор – горизонтальним резервуаром. Запропоновано для системи контролю здійснити розміщення датчиків у різних частинах циклу охолодження: двох датчиків тиску, одного датчика температури та двох датчиків рівня, шість соленоїдні клапани розташовуватимуться по всій системі з метою забезпечення відведення гарячого газу, коли буде потрібна операція розморожування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: заморожування, випарник, компресор, конденсатор, холодильна установка, пластинчатий морозильник, риба.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ РИБНОЇ СИРОВИНИ	7
1.1 Процес заморожування продуктів харчування	7
1.2 Обладнання для заморожування сировини	11
1.3 Основні компоненти холодильної установки	17
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ НА РИБОПЕРЕРОБНОМУ ЗАВОДІ	24
2.1 Елементи керування холодильною установкою	24
2.2 Удосконалення пластинчатого морозильника для риби	32
2.2.1 Проєктування механічної системи	32
2.2.2 Проєктування охолоджувальної системи	36
РОДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	42
3.1 Система керування холодильним обладнанням	42
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47
ДОДАТКИ	49

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування та контроль холодильних систем на рибопереробному заводі			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.	Столяренко									5	1	
Перевір.	Омельченко							ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО				
Н. Контр.	Омельченко											
Затверд.	Омельченко											

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що риба є дуже швидкопсувними продуктами харчування, тому якість швидко погіршується, якщо їх зберігати за неналежних умов. Це може спричинити небажані ферментативні процеси, ріст мікроорганізмів і, зрештою, призвести до продукту, що не відповідає нормам, з небажаним смаком та текстурою. Термін придатності продукту можна подовжити такими процесами, як сушіння, засолювання, охолодження та глибоке заморожування. Останній метод добре зберігає текстуру та смакові якості протягом тривалого часу.

Мета та задачі дослідження. Проектування та контроль холодильних систем на рибопереробному заводі.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що основними елементами холодильного обладнання є компресор, конденсатор, розширювальний пристрій та випарник. Означені елементи утворюють контур по якому циркулює холодильний агент, метою якого є транспортування тепла. Здійснено добір обладнання для здійснення процесу охолодження.

У процесі проектування морозильної камери враховано, що пластинчатий морозильник має дві визначені області: одна – механічна область, яка охоплює всю структуру обладнання, а інша – область охолодження, яка включає функції, необхідні для забезпечення автономного циклу охолодження. Мінімальна відстань між пластинами становить 50,8 мм, максимальна відстань між пластинами 74,0 мм – відстань буде більшою за загальну товщину рибного блоку, що дорівнює 63,6 мм. Для механічної системи запропоновано:

- заміна механічних гвинтових приводів на гідроциліндри, забезпечить плавний, рівномірний тиск по всій площині плит, що критично важливе для правильної форми сировини без деформацій та пошкоджень структури риби;

- встановлення датчиків тиску, дозволить автоматично регулювати зусилля притиску залежно від товщини та виду риби, запобігаючи руйнуванню тушок.

Для охоложувальної системи обрано вертикальний фазовий сепаратор, рідина під тиском подається відцентровим насосом, а пара стискається гвинтовим компресором. Конденсатором буде пластинчастий теплообмінник з охолодженням холодною водою. Розширення здійснюватиметься за допомогою голкового клапана, тому випарник буде затопленим, а всмоктуючий акумулятор – горизонтальним резервуаром. Запропоновано для системи контролю здійснити розміщення датчиків у різних частинах циклу охолодження: двох датчиків тиску, одного датчика температури та двох датчиків рівня, шість соленоїдні клапани розташовуватимуться по всій системі з метою забезпечення відведення гарячого газу, коли буде потрібна операція розморожування.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Столяренко</i>			Проектування та контроль холодильних систем на рибопереробному заводі	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>				ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО	
<i>Затверд.</i>		<i>Омельченко</i>				6	1

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ РИБНОЇ СИРОВИНИ

1.1 Процес заморожування продуктів харчування

Риба є дуже швидкопсувними продуктами харчування, тому якість швидко погіршується, якщо їх зберігати за неналежних умов, що може спричинити небажані ферментативні процеси, ріст мікроорганізмів і, зрештою, призвести до продукту, що не відповідає нормам, з небажаним смаком та текстурою. Термін придатності продукту можна продовжити такими процесами, як сушіння, засолювання, охолодження та глибоке заморожування. Останній метод добре зберігає текстуру та смакові якості протягом тривалого часу [1-4].

Заморожування є одним із найпоширеніших процесів, що використовуються для збереження продуктів харчування. Відомо, що зниження температури зменшує активність мікроорганізмів та ферментів, таким чином запобігаючи псуванню продуктів. Заморожування використовується для того, щоб зберігати продукти протягом тривалішого часу, ніж це дозволяє охолодження, оскільки в цьому процесі більша частина води, що міститься у продукті, переходить у твердий стан. Заморожені продукти повинні зберігатися в таких умовах до моменту їх споживання, причому їхня харчова цінність залежить від типу продукту та часу заморожування. Склади для зберігання повинні бути спроектовані та побудовані таким чином, щоб запобігти порушенню холодового ланцюга і забезпечити, що продукт зберігається при температурі, за якої він був заморожений.

Заморожування зазвичай використовується для охолодження продуктів до температури -10°C , таким чином досягається збереження початкової якості та цілісності продукту для подальшого споживання. Щоб досягти цього ефекту, значна частина води, що міститься в продуктах, повинна перетворитися на лід і зберігати цей стан протягом усього часу зберігання, щоб за можливості уникнути фізичних, хімічних та мікробіологічних змін, інакше це призведе до погіршення продукту. У існуючій промисловій та комерційній практиці використовуються два діапазони температур для зберігання та розповсюдження продукту, як у замороженому так і в ультразамороженому вигляді. Термін «ультразаморожений» означає, що температура підтримується на рівні -18°C або нижче. Під час процесу заморожування продукти проходять через різні етапи [1-4]:

– попереднє заморожування – час протягом якого продукт при своїй початковій температурі піддається заморожуванню з моменту початку кристалізації води (кріоскопічна температура);

– заморожування – час протягом якого продукт заморожується практично

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування та контроль холодильних систем на рибопереробному заводі			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.	Столяренко									7	17	
Перевір.	Омельченко							ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО				
Н. Контр.	Омельченко											
Затверд.	Омельченко											

при постійній температурі, виділена теплота використовується для перетворення води продукту на лід (прихована теплота);

– зниження температури зберігання – період протягом якого зменшується температура від тієї температури при якій більшість води перетворилася на лід, до бажаної кінцевої температури.

Тривалість заморожування – це час, що охоплює період від початку попереднього заморожування до досягнення бажаної кінцевої температури. Тривалість цього часу залежить від наступних факторів: початкова та кінцева температура, кількість тепла, яку потрібно видалити та розміри (товщина) і форма продукту. Крім зазначених факторів, слід враховувати параметри теплопередачі. Швидкість заморожування пов'язана з швидкістю з якою фронт льоду переміщується через продукт. Швидкість більша ближче до поверхні, ніж у центрі. Якість замороженого продукту залежить від швидкості його заморозки. Цю швидкість визначають як мінімальну відстань між поверхнею та критичною точкою, поділену на час, за який критична точка переходить від 0°C до -15°C [1-4]:

- повільна: < 1 см/год, наприклад, домашній морозильник при 18°C;
- середня: 1-5 см/год у тунелі холодного повітря зі швидкістю 20 км/год при -40°C;
- швидка: > 5 см/год при зануренні в рідкий азот.

Заморожування є відмінним способом зберегти практично незмінними протягом тривалого часу оригінальні характеристики швидкопсувних продуктів. Таке зберігання відбувається завдяки зниженню температури, оскільки це уповільнює біохімічні реакції та пригнічує мікробну активність. Вода є головним компонентом майже всіх продуктів харчування. Під час заморожування ініціація кристалізації льоду та ріст кристалів викликають численні фізичні, біохімічні та мікробіологічні зміни. Зміни в процесі заморожування та зберігання помітні у фізико-хімічній сфері, проте майже непомітні у кінцевому споживчому продукті [2, 4]. Для того, щоб максимально ефективно використати заморожування і зменшити небажані реакції, важливо точно визначити попередню обробку перед заморожуванням. Велике значення має якість сировини. Щоб забезпечити, що продукт, який пропонується споживачу, є найкращим, потрібно ретельно підбирати фізичні, фізико-хімічні та біохімічні аспекти обробки, яку слід застосувати до продукту. Фізичні аспекти заморожування [4]:

1. Утворення льоду. Під час процесу заморожування відбуваються перетворення в продукті, такі як утворення льоду через наявність розбавлених водних розчинів; це відбудеться, коли продукт, охолоджений нижче 0°C, досягне криоскопічної температури, що також є характеристичною температурою плавлення. Температура початку заморожування залежить від молярної концентрації розчинених речовин, а не від вмісту води. Наприклад, фрукти з великим вмістом води мають температуру замерзання від -2 до -3°C, тоді як м'ясо має температуру замерзання -1°C, що пояснюється великою концентрацією цукрів та кислот у фруктах, тоді як у м'ясі концентрація нижча.

2. Кристалізація льоду. Коли вода починає замерзати, відбувається

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кристалізація льоду, яка виникає після переохолодження, а замерзання супроводжується підвищенням температури, близьким до кріоскопічної. Коли вода почала замерзати, кристалізація буде залежати від швидкості охолодження або заморожування. Для того щоб кристалізація пройшла легше, необхідна наявність якоїсь частинки або нерозчинної солі, яка виступатиме ядром кристалізації. Чим нижча температура, тим легше відбувається явище, формується більша кількість кристалічних агрегатів і, відповідно, розмір кристалів менший. Навпаки, при температурі, близькій до точки плавлення, нуклеація відбувається повільно, кристалічних ядер мало і, відповідно, утворюються відносно великі кристали.

Швидке заморожування утворює дрібні, більш-менш округлі кристали, тоді як повільне заморожування призводить до утворення більших, подовжених або голкоподібних кристалів. Таке повільне заморожування спричиняє руйнування волокон і клітинних стінок, через що їжа втрачає частину своїх властивостей. У твердих продуктах або продуктах із високою в'язкістю розмір кристалів варіюється в залежності від зони продукту. У периферійних зонах кристали утворюються швидко і мають невеликий розмір, тоді як у центрі теплообмін утруднений, і кристали зростають повільніше, досягаючи більшого розміру [2, 4]. При зниженні температури досягається точка, в якій залишкова вода разом з розчиненими речовинами, що концентрувалися, замерзає разом у точці насичення, яка називається евтектична точка; ця точка багаторазово нижча за ту, яку можуть досягати багато комерційних морозильників. Це дозволяє залишатися невеликим кількостям незамерзлої води, що дає можливість виживати деяким мікроорганізмам, хоча їхній ріст і розмноження неможливі.

3. Зміни розмірів. Заморожування також спричиняє збільшення об'єму води на 8–10%, а у продуктах харчування приблизно на 6%, що пояснює зміну розмірів продукту під час процесу, оскільки супроводжується його розширенням. Через це явище продукти з високим вмістом води розширюються більше, ніж ті, у яких цей вміст менший, що може призводити до тріщин або розламів. Важливо враховувати це під час виготовлення упаковки, якщо вона може бути дуже щільною, а також при розробці обладнання.

4. Теплота, що виділяється під час заморожування. Кількість тепла, видаленого під час заморожування, значною мірою залежить від заморожуваної води. Означена кількість обумовлена трьома факторами [1-4]:

- зміною ентальпії охолодження від початкової температури до точки замерзання;
- латентною теплотою замерзання та зміна ентальпії охолодження від точки замерзання до кінцевої температури.

5. Час заморожування. Реальна тривалість часів заморожування залежить від факторів, пов'язаних із продуктом, що заморожується та обладнанням, яке використовується:

- розміри та форма продукту (товщина);
- початкова та кінцева температура;
- температура холодоагенту;

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- коефіцієнт тепловіддачі поверхні продукту;
- зміна ентальпії;
- теплопровідність продукту.

6. Процес заморожування завершується, коли більша частина води в продукті, придатна до замерзання, перетворюється на лід у термічному центрі продукту. Якщо продукт витягнути з морозильника до цього моменту, у його центрі може відбутися дуже повільне заморожування, що призведе до втрати якості, тому бажано продовжувати охолодження до досягнення рівноважної температури -18°C . Швидкість та тип змін харчових продуктів перед їх заморожуванням залежать від умов на момент збору або забою та від способу їх подальшої обробки. Чим вища температура під час обробки, тим швидше відбуваються хімічні або ферментативні зміни. Температура при якій зберігаються продукти, та інші умови навколишнього середовища визначають тип мікроорганізмів, які в них розвиваються, та зміни, яких вони зазнають. Умови, в яких знаходиться продукт під час заморожування, визначають його потенційну якість після заморожування.

Сировина, призначена для заморожування, повинна бути розташована та підготовлена перед тим, як піддаватися цій операції. Якість продукту, що заморожується, має надзвичайне значення, оскільки після заморожування вона не покращується. Фрукти та овочі відбирають, виходячи з їхньої стиглості та придатності для заморожування; попередньо їх миють, подрібнюють, нарізають або піддають іншим обробкам, залежно від потреби. Більшість овочів бланшують, а фрукти зазвичай пакують у сироп. Більшість продуктів упаковують перед заморожуванням, проте є деякі, наприклад, полуниця, яку заморожують перед пакуванням. Фрукти та овочі, призначені для заморожування, повинні пройти наступні етапи [1-4]:

- класифікація має на меті впорядкувати сировину відповідно до певних критеріїв якості;
- калібрування полягає у відборі сировини відповідно до певних розмірів, встановлених меж;
- очищення – у цій операції видаляються з сировини неїстівні або менш цінні рослинні частини, а також органічні забруднення (нешкідливі сторонні предмети);
- промивання – це операції, під час яких з поверхні фруктів видаляють мінеральні забруднення, а також забруднення ґрунтом, що можуть спричиняти сильне мікробне зараження.
- бланшування овочів проводиться гарячою водою або парою, при цьому тривалість цього процесу залежить від виду продукту. Коротка термічна обробка проводиться для: інактивації більшості рослинних ферментів, які інакше могли б ущільнити продукт, змінити його колір, зав'язати його, втратити аромат, розм'якшити або зменшити його харчову цінність; зменшення (іноді до 99%) кількості мікроорганізмів у продукті; підкреслення зеленого кольору деяких овочів, таких як горох, броколі та шпинат; розм'якшення листових овочів, таких як шпинат, що полегшує їх пакування; видалення повітря, затриманого в тканинах.

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

М'ясо, риба та морепродукти відбираються з урахуванням їхньої якості та намагаються обробляти їх так, щоб мінімізувати ферментативні та мікробні зміни. Подальша доля тваринних продуктів може бути дуже різноманітною; продукти для передачі на промислові підприємства, продукти для продажу, виробництво харчових продуктів у промислових масштабах тощо. Серед цих продуктів доцільно встановити класифікацію:

- напівфабрикати: після розморожування проходять термічну обробку;
- заморожені та охолоджені продукти, готові до столу: після термічної обробки зберігаються охолодженими або замороженими.

1.2 Обладнання для заморожування сировини

Процес заморожування повинен проводитися таким чином, щоб мінімізувати фізичні, біохімічні та мікробіологічні зміни продуктів, враховуючи тип заморожувального обладнання та його потужність, природу продукту (провідність, твердість, форму, початкову температуру) та обсяг виробництва. У більшості продуктів найкращою системою для цього є швидке проходження харчового продукту через діапазон температур максимальної кристалізації льоду, який зазвичай знаходиться між -1°C і -5°C у тепловому центрі продукту.

Система охолодження відповідає механічній установці, яка використовує термодинамічні властивості охолоджувача для перенесення теплової енергії у вигляді тепла між двома або більше джерелами. Існують різні типи систем охолодження ті, що використовуються в промисловості, і їх обирають залежно від характеристик установки та використовуваного холодоагенту. Оскільки використовуватиметься холодоагент R717, слід розрізняти: системи охолодження з насосним циркулюванням та системи охолодження гравітаційного типу. У системі охолодження з насосом, так і в системі гравітаційного охолодження, компресор засмоктує сухий газ із паро-рідинного сепаратора і стискає його до температури конденсації. Після завершення цього процесу він виштовхує газ до конденсатора, де холодоагент конденсується, одночасно віддаючи тепло через систему охолодження [4, 12]. З конденсатора рідкий холодоагент надходить до розширювального клапана при температурі конденсації. Клапан розширює аміак до температури випаровування, після чого він проходить до сепаратора, який відповідає за розділення рідини і газу. Після відділення газ знову всмоктується компресором, таким чином цикл починається заново, тоді як рідина всмоктується насосом (у системі з насосом) або стікає під дією гравітації через те, що резервуар розташований на певній висоті (у гравітаційній системі). Далі холодоагент направляється до випарника, де відбувається теплообмін. Холодоагент виходить з цього етапу у вигляді пари і подається до сепаратора, де замкнено контур.

Заморожування – це процес зниження температури сировини нижче його точки замерзання і, як наслідок, переходу його з рідкої форми у твердий стан. Риба містить приблизно 75% води, але розчинені солі знижують точку замерзання нижче 0°C . Типовий інтервал температур заморожування риби

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знаходиться між -1 та -2°C . Температура риби залишатиметься більш-менш постійною на рівні точки замерзання, поки більшість клітинної води не замерзне. Це відбувається у так званій критичній зоні, яка є діапазоном температур від -1 до -5°C . Зі збільшенням кількості води, яка переходить у лід, концентрація солі у залишковій воді зростає, поки вся вода не замерзне. Проте, точка замерзання постійно знижується зі збільшенням концентрації солі та навіть при -25°C ще близько 5% води залишається у рідкому стані. Час, проведений у критичній зоні, впливає на якість розмороженої риби, тому зазвичай заморожену рибу класифікують залежно від часу перебування у критичній зоні. Швидке заморожування призводить до утворення багатьох дрібних кристалів льоду. Якщо ж процес заморожування повільний, кристалів буде небагато і вони будуть великими, що може спричинити руйнування стінок м'язових клітин, що призводить до втрати рідини та зміни текстури розмороженого продукту [4]:

- різке заморожування: час у критичній зоні більше ніж 2 години. Риба залишається на підносах/полицях у приміщенні з температурою повітря -18 градусів;

- швидке заморожування: час перебування у критичній зоні менше ніж 2 години. Заморожування можна здійснювати як непрямим методом (пластинчасті морозильники), так і прямим (занурення у або обприскування відповідною охолоджувальною рідиною). Останній метод може призвести до високого поглинання NaCl ;

- ультрашвидке заморожування: риба занурюється в рідкий азот або вуглекислий газ, або обприскується ними.

Встановлена температура при зберіганні замороженої риби становить між -20°C та -25°C . Цей температурний діапазон створює температурний запас у 2°C – 7°C , який необхідний для забезпечення якості продукту після завантаження вантажівок та нормального обігу у незаморожених приміщеннях після виходу із охолоджувального складу. Метод перевірки цих температур і який тип температури слід враховувати не уточнюється. Проте законодавчі вимоги передбачають, що холодильне сховище повинно бути здатним підтримувати продукт при максимальній температурі -18°C , що свідчить про те, що температура повітря повинна бути нижчою за температуру сухого термометра -18°C [5]. Процес заморожування не вважатиметься завершеним, доки в тепловому центрі продукту не буде досягнута температура -18°C або нижча після термічної стабілізації. Продукт, який виходить з морозильного апарату, не повинен піддаватися впливу високої вологості або високих температур, і його слід якнайшвидше перемістити до холодильної камери. Те саме стосується продукції, яка пакується для роздрібного продажу після процесу швидкого заморожування. Морозильне обладнання має бути спроектоване так, щоб відповідати трьом етапам процесу заморожування. Обладнання можна класифікувати залежно від засобу передачі тепла.

1. Безпосередні морозильники (металеві). У цих системах харчові продукти стикаються з металевою плитою або стрічкою, через яку здійснюється теплопередача шляхом теплопровідності (контакт між твердими тілами).

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

Обладнання забезпечує короткий час заморожування за умови, що продукт є хорошим провідником тепла і його товщина не перевищує допустиму (менше 50-60 мм). Вкрай важливо, щоб під час всього процесу заморожування підтримувався тісний контакт між продуктом і поверхнею морозильника. Важливо, щоб пакети були добре заповнені, якщо використовуються металеві піддони, вони повинні бути дуже рівними. Необхідно підтримувати тісний контакт протягом заморожування, оскільки тиск плит або ременів утримує їх пакети у їхній первісній формі, це застосовується тому, що через процес заморожування продукт може збільшити свій об'єм до 9 %. Розрізняють три типи морозильних камер з прямим контактом: пластинчасті, стрічкові та ротаційні барабанні.

2. Пластинчасті морозильники. Горизонтальний пластинчастий морозильник містить від 15 до 20 пластин. Продукт розміщується на підносах або в металевих касетах. Морозильник використовується головним чином для продуктів у блоках вагою 10 та 15 кг. Система містить ряд охолоджуваних вертикальних пластин [12-14]. Між кожною пластиною утворюється відсік, схожий на відкриту шухлядку, у якому розміщується продукт (рис. 1.1). Морозильник використовується для заморожування риби, відходів риби або м'яса. Гідравлічний механізм для пластинчастого морозильника включає: морозильні пластини, систему підвішування, нижні упори, поршень гідравлічного механізму, циліндр гідравлічного механізму, продукт для заморожування, розділові упори.

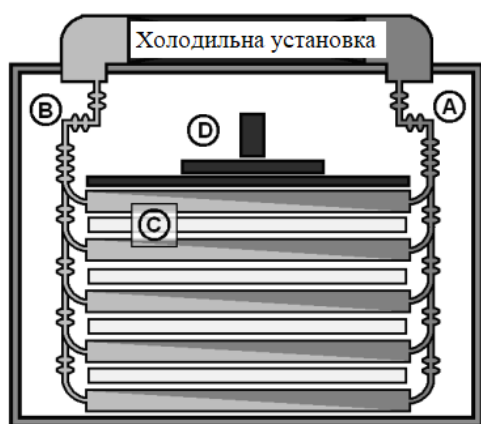


Рисунок 1.1 – Пластинчастий морозильник

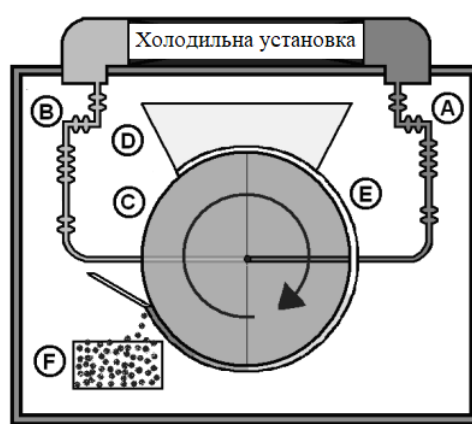


Рисунок 1.2 – Барабанна морозильна камера

3. Контактні стрічкові або ремінні морозильники. Система використовується для заморожування тонких шарів рідких або пастоподібних продуктів, приготовленого м'яса та рибних філе. Продукти розміщують на простому конвеєрі з нержавіючої сталі або фіксують між двома конвеєрами. Нижній конвеєр виготовлений з хвилястої сталі, а верхній з гладкої сталеві стрічки. Обидві стрічки розташовані дуже близько одна до одної (приблизно на 2–3 мм) і проходять всю зону заморожування паралельно, з продуктом між ними. У зоні заморожування на внутрішню поверхню обох стрічок розпилюється розчин гліколю при -35°C . Гліколь охолоджується в випарниках і

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

циркулює повторно. Продукт транспортують з лінії обробки до розташованого бака, на точку подачі. Верхній конвеєр трохи відхиляється вперед відносно нижнього, і спеціальний розподільчий механізм подає продукт на вільну поверхню хвилястої стрічки [4, 12-14]. Нижня стрічка, яка приймає продукт, контактує з верхньою стрічкою, яка вирівнює шар продукту, потім обидві стрічки з продуктом між ними проходять через зону заморожування. Привідний барабан верхньої стрічки розташований трохи попереду ніж у нижньої стрічки. Бруски продукту відокремлюються від хвилястої стрічки і рухаються горизонтально у поєднанні з верхньою стрічкою. Коли верхній конвеєр обертається навколо свого барабана, бруски падають і розрізаються на гранули.

4. Барабанний ротаційний морозильник. Морозильник складається з обертового барабана, розташованого в ізолюваному корпусі, коливного завантажувального горла, скребкового пристрою та вивантажувального транспортера. Внутрішня поверхня барабана охолоджується вторинним охолоджувачем або прямим випаровуванням аміаку чи фреону. Охолоджувальна рідина потрапляє всередину барабана через порожнистий ведучий вал (рис. 1.2). Барабан приводиться в рух двигуном, швидкість обертання якого регулюється за бажанням, таким чином, час заморожування можна адаптувати до продукту [12-14]. Рідкий або напіврідкий продукт рівномірно розкладається по всій довжині верхньої поверхні барабана за допомогою коливного шийки. Шар негайно замерзає і прилягає до барабана. Після одного повного оберту шар замерзає при -18°C і збираюча лапка відокремлює його від поверхні барабана у вигляді пластівців. Вони падають на транспортний конвеєр і потім фасуються у підготовлені контейнери. Проте така форма кінцевого продукту не підходить для подальшого використання і не рекомендована для тривалого зберігання через знебарвлення продукту, втрату аромату та вітамінів, а також малу вагу на одиницю об'єму контейнерів.

5. Морозильники з примусовою подачею повітря. У верхній частині розташована коливна насадка для розподілу продукту. Повітря є найпоширенішою системою заморожування. Слід чітко розуміти, що камеру для зберігання заморожених продуктів не слід розглядати як заморожування. Швидкості заморожування, які досягаються в камері, дуже малі, тому якість одержуваної продукції завжди буде низькою. Заморожування повітрям у хороших умовах проводиться на спеціально розробленому для цієї мети обладнанні, такому як тунелі заморожування, конвеєрні морозильники та флюїдизовані ліжка [4]. У всіх випадках використовуються випарники, через які циркулює охолоджуюче середовище, повітря проходить через випарники, охолоджується і таким чином проходить через продукт, відбувається процес заморожування. Оскільки нещодавно було зазначено, що у такого типу камер швидкість заморожування дуже повільна, з цієї причини для певних продуктів отримується нижча якість. У разі, якщо камера була зроблена для зберігання, холодильна потужність недостатня для охолодження продуктів. Якщо продукт не покритий, іній накопичується на випарниках, зменшуючи потужність.

6. Морозильні тунелі – це камери, обладнані випарниками та вентиляторами, через які холодне повітря проходить крізь продукти, що

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

розміщені на підносах, решітках, встановлених на стаціонарних полицях, або на візках, що рухаються тунелем окремо або серією (рис. 1.3). Теплопередача залежить від розмірів і форми продукту, теплопровідності продукту та коефіцієнта теплопередачі. Тунель є дуже гнучкою системою заморожування, яка підходить для продуктів будь-яких розмірів і форм, упакованих або ні, проте бажано використовувати упаковані продукти [4, 12-14]. У неупакованих продуктах є тенденція прилипати до підносів, що спричиняє втрату маси та часу під час демонтажу та очищення. Цикл заморожування залежить від типу морозильного тунелю, розміру продукту, класу упаковки та температури випаровування, і коливається від 2 годин для окремих порцій, 12-18 годин для заморожування чвертей та половинних туш і 24-40 годин для птиці в ящиках чи контейнерах. Споживання енергії на одиницю тут високе. Крім того, потрібна дуже низька температура випаровування холодоагенту, між -45 та -40°C , що призводить до додаткових витрат енергії.

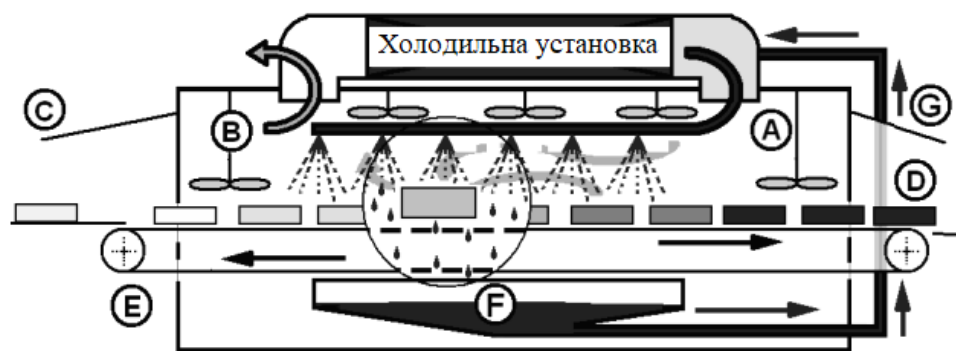


Рисунок 1.3 – Кріогенний морозильний тунель

7. Конвеєрні морозильники. Вони можуть бути з однією стрічкою, двома стрічками або спіральними стрічками з обертовим барабаном. Зазвичай стрічка виготовлена з металевого плетіння, яке рухається всередині камери, і для введення та виведення продуктів необхідні відповідні пристрої. Існують також стрічки, що виходять з морозилки, дозволяючи розміщувати продукти безпосередньо у виробничому приміщенні. Зазвичай повітря подається вертикально та проштовхується через шар продуктів [4, 12]. Якщо потік повітря недостатній, здатність до заморожування може значно знизитися, а недостатнє завантаження може призвести до зменшення швидкості менша кількість повітря над продуктом і подовжений час заморожування або недостатньо низька кінцева температура продукту. Конвеєрні морозильники в основному використовуються для неупакованих продуктів. Морозильний апарат зі спіральною стрічкою. Основною частиною такого типу морозильника є транспортна стрічка, яка намотується на спіральний барабан.

8. Контактні стрічкові морозильники. У цих морозильниках можна заморожувати плоскі та невеликі продукти, такі як рибні філе, гамбургери, креветки тощо. Вони складаються зі стрічки з нержавіючої сталі, яка рухається вздовж певної кількості модулів-танків з нержавіючої сталі, обладнаних розпилювальними форсунками (рис. 1.4). Зона заморожування розміщена в ізольованому приміщенні. У танки подається охолоджений розсіл, заповнюючи

їх до країв, так що стрічка плаває на рідкому шарі охолоджуючого розчину, який постійно перемішується зануреними струменями спрею [7, 8]. Продукт розміщується вручну в один шар, використовуючи якомога більшу поверхню стрічки. Розсіл стікає під дією сили тяжіння через край танків у збірний резервуар, звідки він через трубопровід подається до форсунок. Коли сталеву стрічку згинають на випускній шківі, заморожений продукт відокремлюється скребком і транспортується до секції пакування. Зворотний шлях стрічки проходить поза ізольованим приміщенням для негайного розморожування та миття. Обладнання системи заморожування містить такі компоненти: резервуар із розсолем, сталева стрічка з нержавіючої сталі, повітряні охолоджувачі, подавальний механізм форсунок для розпилення розсолу, продукт.

9. Заморожувачі з псевдозрідженим шаром. Коли шар частинок, розміщений на перфорованій поверхні, піднімається газом, при досягненні газом певної швидкості частинки починають відокремлюватися одна від одної (псевдозрідження) і шар поводить себе як рідина (рис. 1.5). Обладнання містить наступні компоненти: ізоляційне покриття, вібраційний транспортер, псевдозріджений шар, вентилятори, вихідний канал замороженого продукту, обмежувач для регулювання висоти шару, транспортер сировини, випарник, фільтр для гліколевої суміші, ємність для замороженого продукту, сервісний місток, панель керування. Метод має кілька переваг [4]:

- продукт заморожується окремо;
- якщо навантаження зменшується, це не впливає на розподіл повітря;
- пристрій з глибоким псевдозрідженим шаром може обробляти дуже вологі продукти.

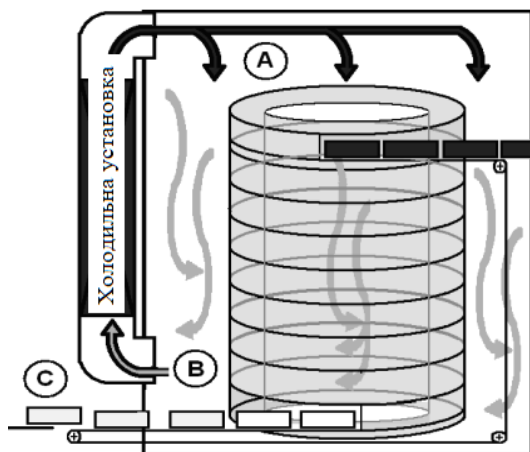


Рисунок 1.4 – Стрічкова морозильна камера

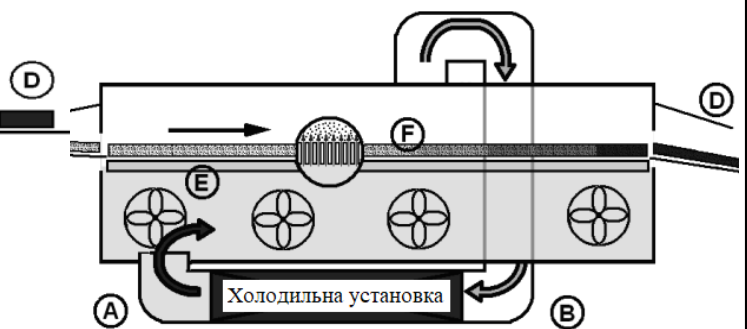


Рисунок 1.5 – Морозильна камера з псевдозрідженим шаром

10. Імерсійні морозильники. В установках цього типу працюють за принципом розпилення або занурення продукту, що заморожується, у холодний розсіл. Завдяки оптимальним умовам, за яких відбувається теплообмін між охолоджувальним середовищем і продуктом, що заморожується, досягаються відносно короткі терміни заморожування, однак ці установки мають наступні недоліки: заморожений продукт протягом тривалого часу втрачає свій вигляд і

набуває солоного смаку; сіль руйнує установки; дотримуватися гігієнічних вимог процесу заморожування дуже важко; не дозволяється використовувати інші розчини (гліколь, метанол). Цей метод прямого занурення продукту, запакованого чи ні, у холодоагент застосовується для продуктів, як це відбувається при заморожуванні риби в розсолі або фруктів, таких як смородина та полуниця, у спеціальних сиропях. Обладнання складається наступних компонентів: вхід для свіжої птиці, обприскувальний пристрій, ізольована кришка сховища, транспортер вивантаження, барабан для розвантаження, обприскування поверхневого шару замороженої птиці водяним душем, сховище для збору, повернення рідини до холодильника, подача холодної рідини.

11. Морозильники з випаровуванням рідини або твердого тіла.

Морозильники на рідкому азоті. Рідкий азот (-196°C) розпилюється на конвеєрну стрічку для заморожування продукту, після чого він у газоподібному стані використовується для поверхневого попереднього охолодження продукту перед його виведенням в атмосферу. Азот використовується в тунелях, шафах, спіральних морозильниках малого та середнього обсягу. За допомогою рідкого азоту також можна отримати швидке заморожування, занурюючи продукт безпосередньо в рідкий азот, за умови дотримання всіх заходів обережності, оскільки надто швидке заморожування може спричинити поверхневі тріщини. Деякі фрукти та овочі, риба, креветки та гриби нині заморожуються за допомогою рідкого азоту. Заморожувачі вуглекислого газу. Те саме застосовується і до рідкого азоту, з тією різницею, що CO_2 за атмосферних умов проявляється лише в газоподібному або твердому стані. У твердому стані його можна безпосередньо контактувати з продуктом, який заморожується. Морозильники на основі рідких галогенованих вуглеводнів. Вони відомі як R12, R14, R22 тощо [4]. Ці речовини використовуються в замкнених контурах. Продукт транспортується по конвеєру до ванни з кріогеном, утворений пар конденсується. Продукт залишається з невеликою частиною кріогену, більша частина випаровується в холодильному складі. З виробничої лінії продукт падає на конвеєрну стрічку, яка доставляє його до тунелю морозильника, і після попереднього охолодження він переміщується з уже замерзлим поверхневим шаром на горизонтальний транспортер. Заморожений поверхневий шар запобігає утворенню грудок і прилипанню продукту до решітки транспортера. На горизонтальному конвеєрі відбувається основний процес заморожування. Сопла, розташовані над ним, розпилюють рідкий фреон на рухомий продукт, забезпечуючи його повне заморожування і він виходить з тунелю. Ці приміщення служать особливо для заморожування делікатних продуктів, таких як полуниця, малина, креветки тощо.

1.3 Основні компоненти холодильної установки

Основними елементами холодильного обладнання є компресор, конденсатор, розширювальний пристрій та випарник. Ці чотири елементи утворюють контур по якому циркулює холодильний агент, метою якого є

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

транспортування тепла. Холодильний агент, який знаходиться стиснутим у конденсаторі, розширюється у розширювальному клапані. У випарнику холодильний агент кипить при відповідній температурі випаровування, поглинаючи тепло з охолоджуваного середовища. Потім пари холодильного агента всмоктуються компресором і стискаються до тиску випаровування. У конденсаторі знову поглинається певна кількість тепла, внаслідок чого холодильний агент конденсується. Процес повторюється знову.

Компресор – це машина, яка підвищує тиск газу, пари або суміші газів і парів. Конструкція поршневого компресора схожа на сучасний автомобільний двигун, із поршнем, який приводиться в дію колінчастим валом і здійснює поперемінні ходи всмоктування та стиснення в циліндрі, обладнаному впускними та випускними клапанами. Поршневий, зворотно-поступальний компресор – це машина позитивного переміщення, яка підвищує тиск певного об'єму газу шляхом зменшення його початкового об'єму, завдяки чому він підходить для малих об'ємів переміщення і є дуже ефективним при високому конденсаційному тиску та великих коефіцієнтах стиснення. Процес стиснення може здійснюватися на одній стадії (однофазне стиснення) або розділятися на кілька стадій з проміжним охолодженням газу (багатоступеневе стиснення). Багатоступеневе стиснення вимагає дорожчої машини, ніж однофазне, але використовується частіше через менше споживання енергії, менше підвищення температури газу в циліндрі та менший діаметр циліндра [4, 10, 12]. Це найпоширеніший тип компресора на даний момент. Він підходить для стиснення при низькому, середньому або високому тиску. Щоб отримати повітря під високим тиском, необхідно мати кілька компресорних ступенів. Всмоктуване повітря піддається попередньому стисненню першим поршнем, потім охолоджується, а після цього стискається наступним поршнем. Об'єм другої камери стиснення менший. Під час роботи з стиснення утворюється певна кількість тепла, яке необхідно відводити системою охолодження. Мембранний компресор. Мембрана відокремлює поршень від робочої камери; повітря не контактує з рухомими частинами. Тому у будь-якому випадку стиснуте повітря буде безмасляним. Компресори переважно використовуються в харчовій, фармацевтичній та хімічній промисловості. Ротаційний поршневий компресор складається з поршня, який здійснює обертально-поступальний рух. Повітря стискається внаслідок постійного зменшення об'єму в герметичному просторі.

Ротаційний компресор складається з ексцентрика, який обертається всередині порожнини таким чином, що одночасно всмоктує та стискає газ. Має схожий вигляд з герметичним поршневим компресором, але на відміну від нього ротаційний компресор менший і менш гучний, ще одна відмінність полягає в тому, що високий тиск викидається всередину корпусу, тому він дуже гарячий. Вони більш ефективні, ніж поршневі компресори, оскільки мають менше рухомих частин. Використовуються майже виключно в кондиціонерах і потребують наявності всмоктуючого резервуара. Гвинтові компресори в основному вони складаються з пари роторів, які мають постійно зачеплені

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

гвинтові лопаті. Вони утворені двома гвинтами, які одночасно всмоктують і стискають газ таким чином, що простір між двома гвинтами зменшується, стискаючи газ [4, 9-12]. Цей тип компресорів використовується при об'ємі всмоктування від 300 м³, зазвичай вони відкриті і приводяться в дію двигунами. Олія знаходиться в області високого тиску, масляний контур запускається раніше компресора, щоб підвищити температуру. Олія подається до підшипників, ущільнень та інших рухомих частин. Тип компресора найкраще регулюється (лінійно від 10% до 100%), регулювання здійснюється за допомогою поршня ємності, який відкриває або закриває простір між двома гвинтами. (Привід цього поршня здійснюється за допомогою олії). Спіральний компресор складається з двох спіралей, однієї нерухомої та іншої рухомої, так що рухома спіраль закривається над нерухомою. Рухома спіраль всмоктує газ і стискає його проти іншої спіралі. Як і ротаційний компресор, спіральний постійно стискає і всмоктує газ. Принцип роботи [4]:

- всмоктування – перша орбіта при переміщенні внутрішньої спіралі утворюються два газових мішки, які таким чином охоплюють холодильний агент;

- стиск – друга орбіта, де рух спіралі направляє газ до центральної частини, обсяг зменшується і гази стискаються;

- вивільнення – третя орбіта, де стислий газ виводиться через випускний отвір, розташований у центрі нерухомої спіралі.

Принцип роботи центробіжного компресора такий самий, як у центробіжного насоса. Його основна відмінність полягає в тому, що повітря або газ, що обробляється в компресорі, є стисливим, тоді як рідини, з якими працює насос, практично нестислі. Центробіжні компресори можуть створювати тиск у своєму просторі, який залежить від природи та умов газу, що обробляється, і практично не залежить від навантаження на процес. Більшість відцентрових компресорів працюють на швидкостях 3500 обертів на хвилину або вище, і одним із обмежувальних факторів є втома робочого колеса. Робочі колеса відцентрових компресорів зазвичай приводяться в рух електродвигунами або паровими чи газовими турбінами, з передачею швидкості або без неї. У відцентровому компресорі навантаження незалежне від того, яким середовищем він працює.

Основна функція конденсатора полягає в тому, щоб бути теплообмінником, і полягати в досягненні зміни фази (газ у рідину) робочої речовини, такої як холодоагент у випадку холодильних контурів. Конденсатори, які охолоджуються повітрям навколишнього середовища. Зазвичай повітряний конденсатор складається з спіралі з ребрами, через які пропускається повітря, щоб холодоагент конденсувався всередині трубок. Конденсатори можуть бути двох типів: статичні або з примусовою тягою [9-12]:

- статичні зазвичай мають гладкі труби, використовується природна циркуляція повітря, тому швидкість повітря низька, і накопичується багато забруднень. Зазвичай вони досить довгі і використовуються лише в побуті;

- з примусовою тягою використовують вентилятори для збільшення швидкості повітря, тому можна зменшити площу труб. Зовні вони досить схожі

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на випарник. Коли встановлені разом із компресором, конденсатор має забирати повітря з протилежного боку від компресора, щоб уникнути всмоктування вже нагрітого повітря.

Конденсатори з водяним охолодженням – це ті, що використовують воду як конденсуюче середовище, щоб забезпечити правильну роботу та обмежити споживання води, оптимальні температури води на виході з конденсатора щодо вхідної температури повинні бути [4]:

- вхідна температура до 15°C на виході температура має бути на 10°C вища за вхідну;

- вхідна температура від 16°C на виході температура має бути на 9°C вища за вхідну;

- вхідна температура від 21°C на виході температура має бути на 8°C вища за вхідну.

Горизонтальний конденсатор – гарячий холодоагент надходить від компресора, потрапляє у верхню частину конденсатора, проходячи в оболонку. Холодоагент конденсується на зовнішній стороні труб і падає на дно оболонки. Вертикальний конденсатор як горизонтальний конденсатор, відрізняється лише положенням установки. Вода в цьому конденсаторі потрапляє зверху і стікає під дією сили тяжіння по трубках. Змійовиковий конденсатор містить гвинтоподібний змійовик замість прямих трубок, по якому всередині оболонки циркулює вода. Занурювальний конденсатор – це комплекти конденсатор-емність, зібрані в одному елементі. Усередині оболонки, яка слугує резервуаром для сконденсованого холодоагенту, розташовується змійовик, по якому циркулює охолоджуюча вода. При контакті з трубою, через яку протікає вода, стислий пар віддає своє тепло і конденсується.

Подвійний трубний конденсатор – це змійовик, який утворений двома концентричними трубами: всередині циркулює вода, а зовні – холодоагент. Його роблять протитечією, щоб краще відбирати тепло у холодоагента. Разом зі змійовиком встановлюють клапан для контролю тиску води відповідно до високого тиску установки, так щоб вода не циркулювала, коли установка вимкнена [4, 10, 12]. Це невеликі конденсатори, які використовуються як підсилювач. Багатотрубний конденсатор – це резервуар, оснащений кількома трубами, вмонтованими в дно резервуару. Кришка конденсатора виготовлена таким чином, щоб вода циркулювала знизу вгору через вмонтовані труби. Конденсований у резервуарі холодоагент подається до випускного клапана через колектор. Вода циркулює по внутрішніх трубах і конденсує холодоагент, що міститься в посудині. Вони мають запобіжну плавку пробку та клапан для видалення неконденсованих газів.

Випарний конденсатор потребує мінімальної кількості води порівняно з іншими. Він складається з теплообмінної спіралі по якій циркулює холодоагент; ця спіраль зволожується водою через форсунки таким чином, що при пропусканні потоку повітря вода, яка змочує трубки, випаровується, виділяючи тепло. Вентилятори, розташовані в верхній частині, всмоктують свіжий повітря, який насичується водяною парою при контакті з водою, тому невелика частина її випаровується. Вода, що потрапляє до колектора після

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нагрівання у спіралі, повертається до форсунок за допомогою насоса. Потужність залежить від вологості та температури зовнішнього повітря. Вертикальний багатотрубний конденсатор такий же, як багатотрубний конденсатор, але встановлений вертикально. Вода циркулює по трубах вертикально вниз [18, 19]. По тій самій трубі рухаються вода та повітря зустрічним потоком, вода омиває стінку труби, а повітря проходить по центру труби, яка контактує з холодоагентом. Холодоагент у пароподібному стані проникає в резервуар, конденсується і стікає вниз. Потік повітря, створюваний у вертикальних трубах, активно підтримує охолоджуючий ефект, викликаючи випаровування води.

Термостатичний розширювальний клапан або терморозширювальний клапан – це вимірювальний пристрій, призначений для регулювання потоку рідкого холодильного агента до випарника у тій же пропорції, в якій рідкий холодильний агент у випарнику випаровується. Термостатичні розширювальні клапани з внутрішнім вирівнювачем застосовується у малих системах, де не враховується падіння тиску через випарник, тиск випарника, який використовується для дії під діафрагмою, є тиском на вході. Для цього використовуються клапани, які мають оброблений внутрішній канал, що з'єднує сторону клапана з низьким тиском із нижньою частиною діафрагми. Цей канал відомий як «внутрішній вирівнювач». У деяких типах клапанів тиск випарника також подається під діафрагму через канали штовхаючих штоків, окрім внутрішнього вирівнювача.

Термостатичні розширювальні клапани з зовнішнім вирівнювачем. Як зазначалося раніше, коли відбувається падіння тиску через випарник, тиск, який повинен діяти під діафрагмою є тиском на виході з випарника; тому клапан з внутрішнім вирівнювачем працював би неефективно. Клапани, що використовуються в таких випадках, мають «зовнішній вирівнювач». У такого типу клапанів вирівнювач не з'єднує діафрагму з входом випарника, а цей канал виводиться з корпусу клапана через з'єднання. Крім того, необхідно встановити ущільнення навколо штовхаючих стержнів, щоб повністю ізолювати нижню частину діафрагми від тиску на вході до випарника. Після встановлення клапана це з'єднання підключається до всмоктуючої лінії за допомогою капілярної трубки, щоб тиск, що діє під діафрагмою, відповідав тиску на виході з випарника [4, 9-12]. Для компенсації надмірного падіння тиску через випарник термостатичний розширювальний клапан має бути типу з зовнішнім вирівнювачем, з лінією вирівнювача, підключеною або до випарника у точці за найбільшим падінням тиску, або до всмоктувальної лінії поруч із віддаленим ковпачком з боку компресора. Якщо використовується термостатичний розширювальний клапан типу з зовнішнім вирівнювачем, з лінією вирівнювача, підключеною до всмоктувальної лінії, то справжній тиск на виході випарника буде діяти під діафрагмою клапана. Робочі тиски на діафрагмі клапана тепер не залежать від будь-якого ефекту падіння тиску через випарник, і клапан реагуватиме на перегрівання холодоагенту, що виходить з випарника.

Одним із найпоширеніших застосувань, як у комерційному, так і в промисловому охолодженні, є лінія випуску (гарячий газ), між

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

масловідокремлювачем і конденсатором, з метою запобігання поверненню холодоагенту до масловідокремлювача та його конденсації під час зупинок циклів або різких змін тиску, особливо в місцях із низькою температурою навколишнього середовища. За конструкцією зворотні клапани можуть бути дисковими, кульковими або поршневыми. Вони також працюють по-різному: деякі використовують магніт або пружину для утримання клапана на сидлі. Інші встановлюються таким чином, що вага самого клапана утримує його на сидлі. Матеріали корпусу клапана можуть бути литою бронзою, кованою латунню та чавуном. Кришки можуть бути з кованої латуні; шток виготовлений з обробленої сталі або латуні, або з чавуну. Ці кришки кріпляться до корпусу клапана або за допомогою гвинтів або мають різьбове з'єднання.

Відкриті та напівгерметичні компресори зазвичай оснащуються обслуговувальними клапанами. Ці клапани прикручуються до корпусу компресора, один на всмоктуванні, а інший на виході. Залежно від розміру компресора, вони можуть мати два або чотири гвинти. Деякі герметичні компресори також використовують обслуговувальні клапани, але вони не прикручуються, а приварюються до всмоктувальної та вихідної труб компресора [9-12]. Обслуговуючі клапани для компресора мають подвійне сидло, виготовлені таким чином, що шток ущільнюється проти сидла, незалежно від того, повністю закритий він або повністю відкритий. У системах з галогенованими холодоагентами існують поширені одно- та двоходові обслуговуючі клапани. Двоходові клапани мають два порти: один може бути відкритим, поки інший закритий, або обидва можуть бути відкритими. Випарник у холодильній системі – це теплообмінник, в якому тепло переходить від речовини, що охолоджується, до киплячого холодоагенту. Мета холодильної системи – поглинати тепло з повітря, води чи будь-якої іншої речовини. Існують різні способи класифікації випарників. Їх можна класифікувати як з «примусовою циркуляцією» або з «природною циркуляцією», залежно від того, чи вентилятор або насос змушує охолоджувану рідину рухатися до теплообмінних поверхонь, чи рідина циркулює природно через різницю щільності між гарячою та холодною рідиною.

Ще одне розрізнення, яке також можна зробити, це між затопленим або сухим випарником. Вважається, що випарник є затопленим, коли охолоджуюча рідина покриває всі поверхні теплообміну, і він називається сухим, коли частина поверхонь випарника використовується для підігріву охолоджувача. У затоплених випарниках теплообмін відбувається рівномірно, у сухих – це суміш газу та розпиленої рідини [4]. Коли рідина надходить у випарник через розширювальний елемент, частина з неї випаровується (30%) для самоохолодження, а решта забирає тепло з зовнішнього середовища та випаровується по мірі проходження через випарник. Тиск і температура залишаються постійними, поки по випарнику циркулює рідина; у момент, коли все випарується, якщо охолоджувач продовжує забирати тепло ззовні, ми отримуємо перегрітий газ або перегрів. Після виходу охолоджувача з випарника всмоктувальну трубу ізолюють, щоб уникнути подальшого перегріву.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Випарник з трубчастим змійовиком складається з трубчастого змійовика (схожого на змійовик конденсатора), у якому випаровується холодоагент. Використовується в ємностях для рідин та як система охолодження в камерах низьких температур. Випарник з ребрами подібний до трубчастого, але з приєднаними ребрами для збільшення площі поверхні. Цей випарник використовується переважно для охолодження повітря. Листовий випарник на відміну від конденсатора з ребрами, листовий конденсатор має окремі листи. Надання листам відповідної форми забезпечує рівномірну передачу тепла, хорошу циркуляцію повітря та легке відтавання. Пластинчасті випарники – з метою збільшення площі випаровування до трубопроводів охолоджувача прикріплюють пластини [4, 9-12]. Випарник із прямих трубок використовується для охолодження рідин і працює у зануреному стані. Випарник складається з двох основних трубок, верхньої та нижньої, з'єднаних вертикальними трубками. Між двома основними трубками знаходяться товстіші трубки, які призначені для повернення рідкого холодоагенту, який захоплюється парою.

На основі вище зазначеного можна вважати, що риба є дуже швидкопсувними продуктами харчування, тому якість швидко погіршується, якщо їх зберігати за неналежних умов. Це може спричинити небажані ферментативні процеси, ріст мікроорганізмів і, зрештою, призвести до продукту, що не відповідає нормам, з небажаним смаком та текстурою. Якість рибного продукту залежить від первісної якості, яку не можна перевищити, способу збереження та тривалості від моменту смерті риби. Термін придатності продукту можна подовжити такими процесами, як сушка, засолювання, охолодження та глибоке заморожування. Останні методи добре зберігає текстуру та смакові якості протягом тривалого часу.

Зазначено, що заморожування є одним із найпоширеніших процесів, що використовуються для збереження продуктів харчування. Відомо, що зниження температури зменшує активність мікроорганізмів та ферментів, таким чином запобігаючи псуванню продуктів. Заморожування використовується для того, щоб зберігати продукти протягом тривалішого часу, ніж це дозволяє охолодження, оскільки в цьому процесі більша частина води, що міститься у продукті, переходить у твердий стан. Морозильне обладнання має бути спроектоване так, щоб відповідати трьом етапам процесу заморожування. Розрізняють три типи морозильних камер з прямим контактом: пластинчасті, стрічкові та ротаційні барабанні.

Основними елементами холодильного обладнання є компресор, конденсатор, розширювальний пристрій та випарник. Ці чотири елементи утворюють контур по якому циркулює холодильний агент, метою якого є транспортування тепла. Холодильний агент, який знаходиться стиснутим у конденсаторі, розширюється у розширювальному клапані. У випарнику холодильний агент кипить при відповідній температурі випаровування, поглинаючи тепло з охолоджуваного середовища. Потім пари холодильного агента всмоктуються компресором і стискаються до тиску випаровування. У конденсаторі знову поглинається певна кількість тепла, внаслідок чого холодильний агент конденсується. Процес повторюється знову.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ НА РИБОПЕРЕРОБНОМУ ЗАВОДІ

2.1 Елементи керування холодильною установкою

Важливою частиною проєктування холодильної системи є вибір компонентів холодильного обладнання. Основними елементами холодильного обладнання є компресор, конденсатор, розширювальний пристрій та випарник. Ці чотири елементи утворюють контур по якому циркулює холодильний агент, метою якого є транспортування тепла. Холодильний агент, який знаходиться стиснутим у конденсаторі, розширюється у розширювальному клапані. У випарнику холодильний агент кипить при відповідній температурі випаровування, поглинаючи тепло з охолоджуваного середовища. Потім пари холодильного агента всмоктуються компресором і стискаються до тиску випаровування. У конденсаторі знову поглинається певна кількість тепла, внаслідок чого холодильний агент конденсується. Процес повторюється знову.

У системі прямого охолодження випарник знаходиться в холодильній камері, а тепло передає повітря. Якщо рух повітря природний, говорять про нерухоме охолодження. Якщо повітря переміщається вентиляторами, охолодження називають рухомим. У системі непрямого охолодження, в випарнику спочатку охолоджують холодоносії (соляний розчин або воду), який обмінює тепло з повітрям у камері, забезпечуючи необхідне охолодження. Холодоагент всмоктується компресором 1, потім надходить у конденсатор 6, проходячи через масловідділювач 4 [4, 5, 21]. З конденсатора холодоагент проходить через індикатор рідини, після чого потрапляє у резервуар для рідини 7. Після проходження через осушувальний фільтр 8 та теплообмінник 9 холодоагент, стиснутий до конденсаційного тиску, розширюється у розширювальному клапані 11, потім надходить у випарник 13. Випарований холодоагент надходить у теплообмінник 9, після чого знову всмоктується компресором 1 через фільтр 17. Рідинний сепаратор 16 запобігає потраплянню частинок рідкого холодоагенту до компресора. Випарник 9 обладнаний вентилятором 14, який забезпечує циркуляцію повітря в холодильній камері (рис. 2.1).

Компресор – це машина, яка підвищує тиск газу, пари або суміші газів і парів. Тиск робочого середовища підвищується шляхом зменшення його питомого об'єму під час проходження через компресор. Компресор має дві функції в циклі охолодження, по-перше, він всмоктує холодоагент у вигляді пари та зменшує тиск у випарнику до рівня, при якому можна підтримувати бажану температуру випарювання. По-друге, компресор підвищує тиск пари холодоагенту до достатньо високого рівня, щоб температура насичення була

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проекткування та контроль холодильних систем на рибопереробному заводі		
Розроб.	Столяренко						
Перевір.	Омельченко						
Н. Контр.	Омельченко						
Затверд.	Омельченко						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						24	18
					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		

вищою за температуру доступного охолоджуючого середовища для конденсації пари холодоагенту. Компресор і конденсатор деяких систем об'єднані в один блок, який називається «конденсаційний блок». Двигун, компресор і конденсатор можуть бути змонтовані на одній структурі.

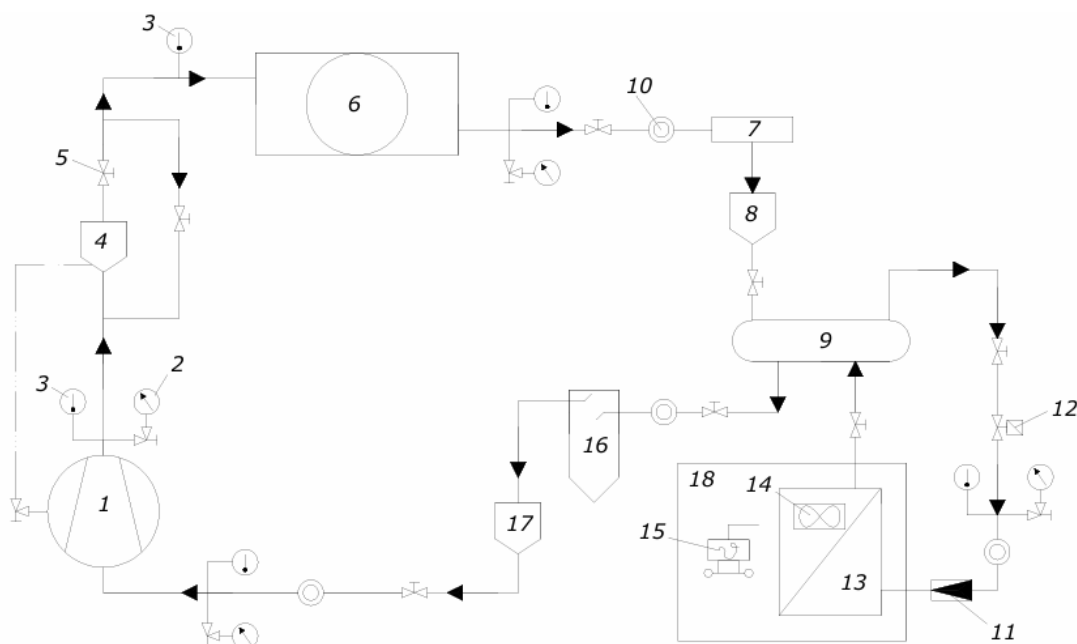


Рисунок 2.1 – Схема холодильної установки для заморожування риби

1 – компресор, 2 – манометр, 3 – термометр, 4 – маслоосаджувач, 7 – резервуар для рідини, 8 – осушувальний фільтр, 9 – теплообмінник, 10 – рівнемір, 13 – випарник, 14 – вентилятор, 15 – термостат, 16 – роздільник рідини, 5 – ручний клапан, 6 – конденсатор, 11 – розширювальний клапан, 12 – соленоїдний клапан, 17 – фільтр.

Конденсаційний тиск змінюється залежно від температури точки роси зовнішнього повітря. Конденсаційний тиск або тиск викиду змінюється за допомогою гвинтового компресора зі змінним ступенем стиснення. Ще однією причиною використання гвинтового компресора замість поршневого є переваги першого щодо ізентропічної ефективності. Гвинтові компресори мають середню ізентропічну ефективність на 7% вищу за своїх аналогів. Датчик зовнішньої температури передає інформацію контролеру системи, який, у свою чергу, керує напрямним клапаном компресора, змінюючи ступінь стиснення та, відповідно, тиск викиду. Вибір методу керування ступенем стиснення стояв між приводом змінної частоти та напрямним клапаном [5, 15-16]. Розмір та послідовність роботи компресорів Кількість компресорів визначається на основі профілів навантаження, отриманих з результатів моделювання. Для циклу R717 максимальне миттєве холодильне навантаження протягом звичайного року становить 1250 кВт при масовому потоці 1,15 кг/с. Для вибору розмірів компресорів, які працюватимуть оптимально, їх було підібрано відповідно до найбільш часто необхідних холодильних ефектів.

Для цього термодинамічного циклу був обраний гвинтовий компресор. Під час роботи такого типу компресорів гвинти завжди повинні бути занурені в олію, щоб забезпечити їх належне змащування. Проте не слід дозволяти його потрапляння до інших компонентів циклу, оскільки це може спочатку викликати значне падіння тиску в випарнику та конденсаторі, або в кінцевому результаті – повну їх закупорку. За таких обставин потрібен елемент для відділення масла. Його слід встановити на лінії нагнітання компресора. Також слід враховувати, що масло, яке виходить з компресора і пізніше буде відокремлене від холодоагенту, має ту ж температуру, що й сам холодоагент 66,2°C. Відповідно до рекомендацій виробника Bitzer, максимальна температура подачі масла до компресора повинна становити 100°C, тому в цьому випадку не буде необхідності враховувати охолоджувач масла.

Основна функція конденсатора полягає в тому, щоб бути теплообмінником, і полягати в досягненні зміни фази (газ у рідину) робочої речовини, такої як холодоагент у випадку холодильних контурів. Конденсатор передає середовищу охолодження (повітрю або воді) тепло, яке міститься в парах, що виходять з компресора [17, 18]. Конденсатор повинен мати достатній об'єм, щоб у ньому могло розміститися стиснене холодоагент, що потрапляє в нього під час конденсації, і повинен мати необхідну поверхню для випромінювання, щоб забезпечити швидку передачу латентного тепла цього холодоагенту до охолоджувального середовища (води або повітря). Потужність конденсатора – це кількість тепла, яку конденсатор здатний виділити холодоагенту. Ймовірно, найбільш значуща класифікація цього типу теплообмінника стосується середовища, з яким взаємодіє газ для конденсації, що призводить до класичного поділу на три типи конденсаторів.

Для розрахунку теплової потреби тепло поділяється на три етапи:

- відчутна зміна перегрітого пару до насиченого пару;
- латентна зміна насиченого пару в насичену рідину;
- відчутна зміна насиченої рідини до стисненої рідини [20]

$$Q_{1c} = m \cdot (h_3 - h_g)$$

де h_g – це ентальпія насиченої пари холодоагенту при температурі конденсації 15°C.

$$Q_{1c} = 0.194 \cdot (425.8 - 376.0)$$

$$Q_{1c} = 9.7 \text{ kW}$$

При прихованій зміні тепло можна обчислити [20]

$$Q_{2c} = m \cdot (h_g - h_f)$$

де h_f – це ентальпія насиченої рідини при температурі конденсації 15°C.

$$Q_{2c} = 0.194 \cdot (376.0 - 222.1)$$

$$Q_{2c} = 29.9 \text{ kW}$$

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перехід від насиченої рідини до стислої рідини [20]

$$Q_{3c} = m \cdot (h_f - h_4)$$

$$Q_{3c} = 0.194 \cdot (222.1 - 220.6)$$

$$Q_{2c} = 0.3 \text{ kW}$$

Склавши теплові потоки, отримують теплову потребу конденсатора

$$Q_c = Q_{1c} + Q_{2c} + Q_{3c}$$

$$Q_c = 39.8 \text{ kW}$$

Вторинним охолоджуючим середовищем конденсатора буде холодна вода при 5°C.

Обчислено площу потоку та еквівалентний діаметр [20]

$$S_f = b \cdot \Delta$$

Еквівалентний діаметр

$$D_e = \frac{2 \cdot b \cdot \Delta}{b + \Delta}$$

Таблиця 2.1 – Дані отримані при розрахунку

Параметри	Значення	Одиниця виміру
Площа потоку, S_f	2.16×10^{-4}	m^2
Еквівалентний діаметр, D_e	4.58	mm

Блок розширення та клапани застосовуються для контролю над надходженням в випарник холодоагенту в рідкому стані з конденсатора, зниженні тиску рідкого холодоагенту, а також у розділенні частини високого та низького тиску. Таким чином, випарник постійно й рівномірно забезпечується необхідним холодоагентом. Охолоджувальна рідина потрапляє в капілярну трубку і, проходячи через неї втрачає тиск через тертя та прискорення холодоагенту, причому частина рідини перетворюється на пару [28-30]. Численні комбінації діаметра та довжини використовуються для досягнення бажаного ефекту. Проте, як тільки капілярна трубка обрана та встановлена, вона більше не може самостійно регулюватися при зміні тиску на виході, тиску всмоктування та нагнітання. Компресор і пристрій розширення повинні досягати таких умов всмоктування та випуску, які дозволяють компресору всмоктувати з випарника той же витрата холодоагенту, що і пристрій розширення подає у випарник.

Розширювальний клапан – це вимірювальний пристрій, призначений для регулювання потоку рідкого холодильного агента до випарника у тій же пропорції, в якій рідкий холодильний агент у випарнику випаровується, що досягається шляхом підтримання попередньо визначеного перегріву на виході з випарника (всмоктуюча лінія), що забезпечує повне випаровування рідкого холодильного агента у випарнику та повернення до компресора тільки газоподібного холодильного агента. Кількість газоподібного холодильного агента, що виходить з випарника, можна регулювати, оскільки термостатичний розширювальний клапан реагує: температуру газу, що виходить з випарника та тиск у випарнику [28-30]. Основні функції клапана полягають у наступному: зниження тиску та температури холодоагенту, подача рідини під низьким тиском до випарника відповідно до навантаження, і підтримання постійного перегріву на виході з випарника. Через те, що в назві цього пристрою міститься слово «термо», існує хибне уявлення, що він використовується для безпосереднього контролю температури, і багато техніків помилково намагаються регулювати температуру холодильника, змінюючи налаштування клапана. Термостатичні розширювальні клапани складаються з: корпусу, вхідного та вихідного з'єднань, розширювального отвору, голки та сидіння. Рідкий холодоагент потрапляє у термостатичний розширювальний клапан під високим тиском і температурою. Пройшовши через отвір, його тиск значно і миттєво знижується, а отже, й температура, тому між входом і виходом клапана відбувається падіння тиску, що дозволяє холодоагенту випаровуватися при дуже низькій температурі, наскільки це можливо для поглинання тепла.

Термічний розширювальний клапан має три функції [4]:

- знижує тиск рідкого холодоагенту, що надходить у випарник, щоб він випаровувався при низькій температурі;
- контролює кількість холодоагенту, що надходить у випарник, щоб по всій його поверхні випаровувався рідкий агент;
- контролює перегрів газу на виході з випарника.

У системах охолодження, окрім автоматичних регулюючих клапанів, керованих тиском, температурою або електрично, також використовуються ручні клапани, які мають необмежену різноманітність типів і форм і виготовляються з різних матеріалів. Клапани бувають повністю закритими або повністю відкритими. Корпуси клапанів можуть бути з чавуну, ковані або оброблені з прутка. Для виготовлення ручних клапанів для охолодження використовуються такі матеріали: сталь, бронза, латунь і мідь. У системі охолодження можна встановлювати будь-яку кількість ручних клапанів, стільки, скільки дозволяє розмір системи або падіння тиску [4-5]. Деякі з характеристик, які потрібні ручним клапанам, включають: надійність, низьке падіння тиску, герметичний дизайн, матеріали, сумісні з холодоагентом і оливою. У системах охолодження ручні клапани встановлюють у ключових точках, і вони служать не лише для регулювання потоку рідини, але й для ізоляції будь-якого компонента або частини системи для її обслуговування, не перериваючи роботу інших компонентів чи аксесуарів. Конструкція клапана повинна бути такою, щоб його ущільнювальні поверхні не деформувалися і не

зміщувалися під впливом змін температури, тиску та навантаження на трубу до якої він підключений. Ущільнювальні поверхні повинні мати таку конструкцію та матеріали, щоб клапан залишався щільно закритим протягом розумного терміну експлуатації.

Було вирішено працювати з ручним розширювальним клапаном типу голки, оскільки теплове навантаження морозильної камери має залишатися постійним. Було обрано клапан Danfoss моделі REG через його широке поширення у холодильних установках. Його вибір було здійснено відповідно до процедури, зазначеної у каталозі. Для вибору такого типу клапанів необхідно розрахувати коефіцієнт потоку [20]

$$k_v = \frac{m}{\sqrt{\rho_4 \cdot (p_4 - p_5) \cdot 1000}}$$

Щільність у стані 4 буде прийнята як щільність насиченої рідини при 14°C. Масовий потік буде виражений у кг/год

$$k_v = \frac{699.5}{\sqrt{1097.5 \cdot (9.56 - 1.49) \cdot 1000}}$$

$$k_v = 0.235 \text{ m}^3/\text{h}$$

Обладнання необхідне для здійснення процесу охолодження наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Обладнання процесу охолодження

Обладнання	Марка обладнання	Модель
Компресор гвинтовий	Bitzer	HSN5353-25-40P
Конденсатор	Alfa Laval	AlfaNova 76
Розширювальний клапан	Danfoss	REG
Конденсатний насос	Lederle	CAM 1/3
Редукційний клапан тиску	Danfoss	REG
Масловідділювач	Bitzer	OA 1954

Існують також різні пристрої та обладнання, які забезпечують належну роботу та контроль параметрів процесу в циклі охолодження. Далі наведено деякі з них:

1. Вентилятори та насоси. Компресори є найважливішими компонентами щодо енергоефективності системи через їх великі навантаження. Насоси та вентилятори все ще мають значне енергоспоживання, і для оптимізації всієї системи вони є важливою частиною. Повітряні охолоджувачі для зберігання складаються з трьох вентиляторних установок, по одній у кожній кімнаті для зберігання, кожна з трьома вентиляторами [5]. Окремі вентилятори будуть включатися та вимикатися циклічно для обробки великих коливань навантаження, але також є можливість регулювання швидкості вентилятора для менших коливань. Така сама послідовність буде використовуватися для

конденсаційних вентиляторів. Тиск насосів змінюватиметься залежно від масового потоку, так само, як і їх ефективність.

Вибір конденсатного насоса. Для повернення конденсату, що утворюється у фазовому сепараторі, назад у накопичувальний резервуар, було забороновано використовувати відцентровий насос. Було обрано герметичний насос з кількома робочими колесами марки Lederle типу САМ 1/3, оскільки його конструкція призначена для перекачування насичених рідин у холодильних контурах (насос обертатиметься приблизно на 3500 об/хв). Тиск надходження в акумулюючу ємність повинен відповідати тиску випаровування системи, тому було вирішено встановити знижувальний клапан типу REG на лінії зворотного конденсату.

2. Система розморожування необхідна, коли використовуються випарники, що працюють при температурах нижче точки замерзання води за атмосферного тиску, з метою видалення льоду, який може утворюватися на їхній поверхні та може створювати обмеження під час передачі тепла. Нижче наведено та описано деякі типи систем розморозки [4, 5, 20]:

- розморожування за допомогою електричних нагрівачів: встановлюються на поверхні випарників і за рахунок ефекту Джоуля забезпечують теплову енергію, необхідну для танення льоду, що утворився на них;

- розморожування за допомогою рідкої води: тепла вода розпилюється на поверхню випарника для видалення утвореного льоду;

- розморожування шляхом циркуляції гарячого газу: у цій системі тепло, необхідне для розморожування, забезпечується тим самим холодоагентом у стані перегрітого пару, що надходить до випарника через систему клапанів.

З метою забезпечення належного функціонування випарника необхідно передбачити систему розморожування для усунення можливого льоду, що утворюється через низькі температури роботи. Для цих цілей було розроблено систему розморожування, що використовує гаряче газове викидання з компресора, яке має бути обмежене тиском до 500 кПа, як буде показано в механічному проєкті пластин. Вона складається з системи труб і автоматичних клапанів типу соленоїд, якими керує система ПЛК. Як можна побачити, він складається з масиву з 6 соленоїдних клапанів. ПЛК повинен розрізняти два режими роботи, і залежно від цього змінюватиметься стан клапанів. Розморожування випарної спіралі у морозильному сховищі здійснюється за допомогою гарячого газу [5, 20]. Конденсаційний тиск гарячого газу дає температуру конденсації 5°C. Стиснення здійснюється з використанням гвинтового компресора, призначеного для розморожування. Максимальний сумарний витрата холодогену для розморожування як плиткових морозильників так і випарників становить 0,6 кг/с, що дає тепловий потік близько 200 кВт. Розморожування в морозильному сховищі повинно починатися, коли товщина шару льоду на трубках досягає 2 мм, а час роботи – 10 хвилин. Швидкість утворення шару льоду оцінюється на основі припущення, що вся волога, що потрапляє в сховище, осідає на випарних спіралях. Комбінація цієї товщини шару льоду, температури конденсації для

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

розморожування та часу роботи забезпечує приблизно 43% ефективність розморожування, тобто частку загальної доданої теплової енергії, використаної для плавлення льоду. Близько 27% доданої теплової енергії розсіюється у приміщенні, а решта використовується для нагрівання трубок випарника або залишається у вигляді невикористаного холодоагенту. Розморожування плиткових морозильників використовує ту ж ефективність розморожування, що й у сховищі.

3. Клапани. Прохідні клапани контролюють потік рідини та тиск. Прохідні клапани, встановлені в системі, повинні бути повністю відкриті або повністю закриті. Їх використовують для ізоляції компонентів у системі. Прохідні клапани, які найчастіше використовуються в холодильних системах, є типу «глобус». Існують два типи глобусних клапанів: з ущільненням і без ущільнення. Прохідні клапани повинні мати конструкцію, що запобігає будь-якій витокі холодоагенту. Оскільки холодоагенти важко утримувати, клапани з ущільненням зазвичай обладнані ущільнювальними пробками. Деякі з цих пробок спроектовані так, що при їх знятті вони служать інструментом для відкривання або закриття клапана [28-30]. Зворотні клапани використовуються в холодильних системах для запобігання зворотного потоку холодоагенту (у рідкому або газоподібному стані) та масла. Ці клапани дозволяють протікати холодоагенту та маслу лише в одному напрямку. Їх застосування дуже різноманітне. Деякі типи зворотних клапанів використовуються на всмоктуючих лініях для запобігання поверненню холодоагенту або масла до випарника чи інших пристроїв, де вони могли б конденсуватися або накопичуватися під час циклів зупинки. Часто їх використовують у системах численних випарників, підключених до одного конденсаційного агрегату, при цьому випарники працюють за різними температурами.

У системах охолодження техніки обслуговування повинні добре знати ручні сервісні вентиля. Ці вентиля дозволяють герметизувати частини системи під час підключення манометрів, заправки або зливу холодоагенту чи олії, створення вакууму тощо. Існують різні типи сервісних вентилів. Такі вентиля можуть мати маховики на своїх штоках, але більшість із них вимагає ключа для повороту. Штоки вентилів виготовляються зі сталі або латуні, тоді як корпус – з латуні або кованого заліза. Зазвичай вони мають пакувальний тип. Потрібно враховувати компоненти електроенергії, датчики та необхідне приладдя для того, щоб можна було жити та керувати спроектованими тепловими та механічними системами. Під електричною системою розуміють обладнання та аксесуари, необхідні для постачання електроенергії машинам, що приводяться в рух електродвигунами [5, 20]:

Елементи проведення струму: йдеться про елементи, які передають електроенергію (кабелі) від джерела до споживача. Вони, у свою чергу, повинні бути захищені від зовнішнього середовища та належним чином закріплені.

Елементи захисту:

– магнітно-тепловий автомат захисту двигуна: захищає електродвигун від високих транзисторних струмів, причому струм захисту регулюється;

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- магнітний контактор: перериває струм для захисту двигунів;
- тепломагнітний вимикач: елемент захисту, який здатний переривати потік струму при заданій напрузі.

Регулятор швидкості – це пристрої, які дозволяють регулювати швидкість двигуна змінного струму шляхом зміни частоти живлення. Електричний щит – це обладнання, на якому будуть фізично змонтовані електричні та контрольні компоненти.

В холодильному обладнанні використовуються датчики для моніторингу та передачі даних до головного контролера, контролюються параметри процесу, такі як: тиск конденсації та випаровування, температури та рівень. Датчики тиску: можна виділити такі типи:

- механічні – це первинні елементи прямого вимірювання, вони перетворюють тиск у силу, що спричиняє рух відповідного елемента, яким може бути спіральний елемент або манжет;
- електромеханічні – працюють за принципом, схожим на механічний, з тією різницею, що виконавчий елемент реагує на електричний сигнал, можуть бути ємнісними, резистивними, магнітними або пізоелектричними.

Датчики температури вимірюють різні фізичні явища, що відбуваються під час зміни температури і які можуть бути використані для її вимірювання, можна назвати такі:

- зміна об'єму або стану тіл;
- зміна опору провідника або напівпровідника створена на з'єднанні двох різних металів (термопари);
- інтенсивність випромінювання, що його випромінює тіло (пірометри).

Датчики рівня: існують електромеханічні датчики та датчики з поплавком. Перші мають перевагу через їх надійність та тривалий термін служби.

Програмований логічний контролер, який керуватиме електромеханічними виконавчими пристроями (електродвигунами, електромагнітними клапанами тощо) відповідно до сигналів, що він отримує від описаних сенсорів.

2.2 Удосконалення пластинчатого морозильника для риби

2.2.1 Проектування механічної системи.

Для проектування морозильної камери буде охоплено три аспекти: механічну систему, охолоджувальну систему, яка виконуватиме внутрішній цикл охолодження та система керування. Було враховано, що машина має дві визначені області: одна – це механічна область, яка охоплює всю структуру, приводи та трансмісію руху, інша – це область охолодження, яка включає функції, необхідні для забезпечення автономного циклу охолодження. Можливі варіанти механічної системи для пластинчатого морозильника наведені в таблиці 2.3.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Варіанти механічної системи для пластинчатого морозильника [20]

Варіанти	Опис
1	Розглядається набір вертикальних пластин, що приводяться в рух пневматичними поршнями; рух між пластинами здійснюватиметься за допомогою штифтів з напрямними.
2	Розглядається набір горизонтальних пластин, що приводяться в рух гідравлічними поршнями; рух між пластинами буде здійснюватися за допомогою штифтів з вушками.
3	Розглядається набір вертикальних пластин, привод яких здійснюється мотор-редуктором з рейкою для перетворення обертового руху в лінійний.
4	Вважається, що це набір горизонтальних пластин, керованих гідравлічними поршнями, рух між пластинами здійснюватиметься за допомогою ножичного механізму

Було обрано систему, яка містить набір горизонтальних пластин, що приводяться в рух гідравлічними поршнями, рух між пластинами буде здійснюватися за допомогою штифтів з вушками (рис. 2.2).

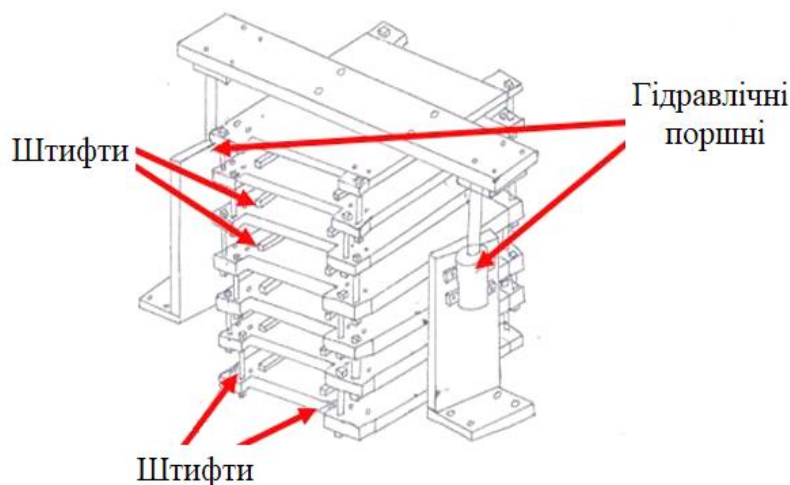


Рисунок 2.2 – Механічна система пластинчатого морозильника для риби

Процес роботи пластинчатого морозильника:

- спочатку набір пластин буде у нейтральному положенні.
- коли машина розпочне процес, плити відкриватимуться за допомогою гідравлічного поршня та механізму, який з'єднує всі плити до відкриття 100 мм між плитами.
- після повного завантаження машини продуктом плити закриються, забезпечуючи тиск між плитами та продуктом не менше 10 кПа. На цьому етапі

почнеться заморожування продукту.

– після завершення процесу заморожування пластини відкриються, після чого їх буде вилучено вручну.

– коли вся машина вже буде звільнена від продукту її знеструмлять, залишивши пластини в неробочому положенні.

На кожній станції буде розміщено 8 блоків риби, що відповідає 60 кг.

1. Проектування гідравлічної системи. У концепції оптимального рішення було визначено, що механізм для піднімання та опускання плит повинен здійснюватися за допомогою гідравлічних циліндрів. Однак існують різні варіанти їхнього розташування в машині. Для даного проєкту було обрано розташування двох гідравлічних циліндрів з такими характеристиками [20]:

– циліндри з поршневим штоком, розташовані в нижній частині вузла плит, штоки рухатимуться з метою відкривання та закривання плит;

– обидва циліндри розташовані на одній із центральних осей плити, щоб уникнути зміщень;

– під час опускання плит робочою зоною буде площа поршня мінус площа штока, тоді як під час підйому буде використовуватися вся площа поршня.

Вибір дуже великого діаметра поршня призвів би до високих витрат на матеріали, тоді як вибір дуже малого змусив би працювати за високих тисків, що призводило б до швидшого зносу елементів. Тому обрано діаметр поршня 63 мм, щоб збалансувати вищезгадані аспекти. Хід поршня можна розрахувати враховуючи наступне:

– мінімальна відстань між пластинами повинна становити 50,8 мм, що буде зафіксовано двома кутниками, розташованими на кожній пластині;

– буде забезпечено максимальну відстань між пластинами 74,0 мм – відстань буде більшою за загальну товщину рибного блоку 63,6 мм.

Маючи 10 станцій з пластинами, необхідний хід буде розрахований за наступним виразом [20]

$$L_2 = 10 \times (74.0 - 50.8)$$

$$L_2 = 232 \text{ mm}$$

Фактична довжина [20]

$$L = L_1 + L_2$$

$$L = 323 \text{ mm}$$

2. Проектування плит для пластинчатого морозильника. Внутрішня частина теплообмінної пластини включає 14 труб діаметром $\frac{1}{2}$ ". Ці труби згруповані у два ряди, тобто кожен ряд складається з 7 труб, з'єднаних між собою. Крім того, труби, через розмір колін 180° , які їх з'єднують, розташовані на відстані 3" (76,2 мм). Труби утворюють конструкцію з двох плит із фрезерованими каналами для їх розміщення. Кожна плита має товщину 12 мм, отже, вся конструкція має товщину 24 мм. Розміри теплообмінної пластини

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

становлять 1200 x 1200 x 24 мм. Теплова модель теплопередачі включає три опори для загального теплового потоку:

- конвекція з фазовим переходом всередині труб;
- теплопровідність через стінку труби;
- теплопровідність через переріз фрезерованих плит.

Щоб розрахувати час заморожування були прийняті два значення:

- температура середовища заморожування прийнята як $-34,6^{\circ}\text{C}$;
- загальний коефіцієнт передачі тепла через пластину прийнятий як 662

$\text{Вт/м}^2\text{C}$.

Теплове навантаження буде розподілено рівномірно на кожну пластину, тому тепло, передане через пластину [20]

$$Q_P = \frac{Q_T}{N}$$

$$Q_P = 2200 \text{ W}$$

Різниця температур на пластині [20]

$$\Delta T = Q_P \times (R_{\text{conv}} + R_{\text{cond}})$$

Температуру середовища заморожування

$$T_m = T + Q_P \times (R_{\text{conv}} + R_{\text{cond}})$$

$$T_m = -38 + 2200 \times (1.44 \times 10^{-3} + 8.48 \times 10^{-5})$$

$$T_m = -34.6^{\circ}\text{C}$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі через плиту [20]

$$Q_P = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$U = \frac{Q_P}{A \cdot \Delta T}$$

$$U = \frac{2200}{(1.02 \times 0.97) \times (-34.6 + 38)}$$

$$U = 662 \text{ W/m}^2\text{C}$$

3. Проєктування електричної системи. Після вибору та визначення розмірів компонентів механічної системи необхідно спроектувати електричну систему, яка забезпечить керування електродвигунами. Також слід обрати сенсори, передавачі та контролери, які будуть управляти логікою цих систем. 3

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

метою розробки силового кола машини необхідно визначити навантаження, які воно повинно живити. Для вибору компонентів буде розглядатися трифазна напруга 440 В змінного струму. Слід враховувати, що двигун компресора повинен мати регулятор частоти обертання з метою регулювання потоку всмоктуваного холодоагенту і, відповідно, теплового навантаження. З іншого боку, спостерігається, що інші два двигуни малої потужності, тому для обох буде розглянутий прямий пуск.

2.2.2 Проектування охолоджувальної системи.

Охолодження – це процес створення холоду, насправді видалення тепла. Щоб створити холод, тепло переноситься з одного місця в інше. Таким чином, місце, з якого відбирається тепло, охолоджується. Так само, як можна використовувати різницю температур для створення тепла, для створення різниці тепла потрібна енергія. Миттєво отримати штучний холод можна за допомогою методів стискання та абсорбції.

Холодильний цикл – це процес, який, як випливає з назви, використовується для охолодження технологічного потоку. Холодильні цикли та теплові насоси – це пов'язані процеси з протилежним напрямом потоків енергії, які разом називаються циклами парової компресії. Основна ідея цього виду процесу полягає у взятті тепла з одного резервуару та передачі його в інший. Холодоагент обирається таким чином, щоб проходити фазову зміну при передачі тепла в систему або з системи [6, 21-27]. Внаслідок цього тиск можна регулювати для корекції температури робочої рідини, тим самим контролюючи напрям потоку енергії. На рисунку 2.3 показана ілюстрація базового холодильного циклу. Точки відповідають чотирьом основним станам у базовому одноступеневому холодильному циклі. Поширеним інструментом для візуалізації циклів парової компресії є діаграма тиск-ентальпія (p - h), що показує фазову діаграму робочої рідини залежно від ентальпії та тиску (рис. 2.4).

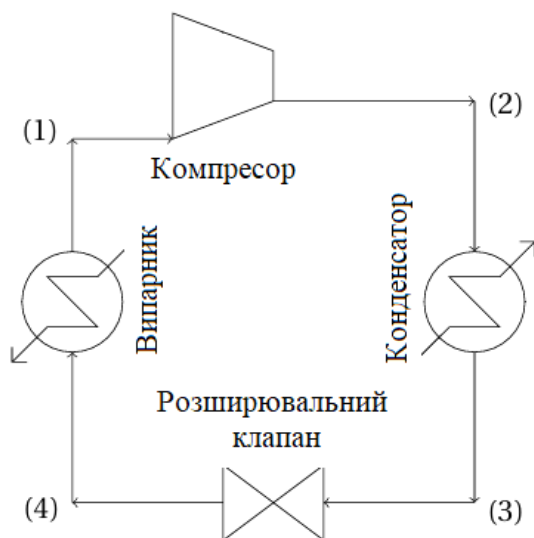


Рисунок 2.3 – Холодильний цикл

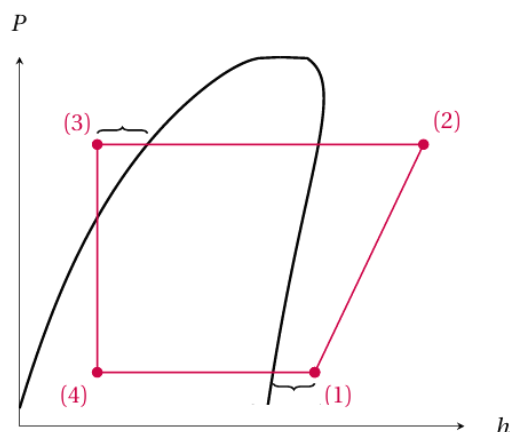


Рисунок 2.4 – Діаграма тиск-ентальпія для холодильного цикла

Охолодження за допомогою компресії. Звичайним методом охолодження, і найбільш поширеним, є метод за допомогою компресії. За допомогою механічної енергії стискається холодоагент. Під час конденсації цей газ виділяє латентне тепло, яке раніше, під час випаровування, він поглинув при нижчій температурі. Для підтримки цього циклу використовується механічна енергія. Між стороною тиску компресора та розширювальним клапаном існує найвищий тиск, тому цю частину установки називають зоною високого тиску. Тиск від розширювального клапана до зони всмоктування компресора є випарним або зоною низького тиску. Тому розширювальний клапан є органом, що розділяє зони високого та низького тиску. Простий холодильний цикл включає чотири основні процеси: стискання, конденсацію, розширення та випаровування.

1. Компресор всмоктує холодоагент у вигляді газу при низькому тиску та низькій температурі і переміщує його, стискаючи до зони високого тиску, де холодоагент є газом при високому тиску та високій температурі.

2. Проходячи через конденсатор, тепло від холодоагенту розсіюється у навколишнє середовище. Холодоагент зводиться в рідину і залишається під високим тиском.

3. Звідти він проходить через регулюючий пристрій тиску, який розділяє зони високого та низького тиску шляхом зменшення перерізу проходу знижуючи тиск, температура насичення холодоагенту знижується, що дозволяє йому поглинати тепло.

4. Вже на стороні низького тиску холодоагент потрапляє в випарник, де поглинає тепло з навколишнього середовища та випаровується. Звідти він знову потрапляє в компресор, закриваючи цикл.

На першій стадії робоча рідина, наприклад, аміак, у високому тиску та рідкій формі проходить від конденсатора через розширювальний клапан. Після клапана тиск зменшується, і тому температура аміаку знижується. На другій стадії аміак передається в випарник. Його температура вища за температуру аміаку, і тепло передається від стінок випарника до аміаку. Передане тепло підвищує температуру аміаку до його точки кипіння та перевищує теплоту випаровування [6, 21-27]. Таким чином, аміак переходить у газоподібний стан, і випарник охолоджується. Далі аміак передається на наступну стадію, де його тиск підвищується за допомогою компресора шляхом додання роботи. Підвищення тиску призводить до підвищення температури. На четвертій стадії аміак високого тиску та високої температури повертається у рідку фазу в конденсаторі. Тепло передається від гарячого аміаку до стінок конденсатора з нижчою температурою. Тепло передається від середовища випарника до середовища конденсатора. Ефективність системи парокомпресійного охолодження часто вимірюється за допомогою коефіцієнт продуктивності та розраховується шляхом ділення холодильного ефекту на роботу компресора.

На етапі стиснення (1→2) підвищується тиск газоподібного холодоагенту. Стискання може бути ізентропічним або поліотропним. Ізентропічне стиснення означає, що ентропія робочої речовини залишається сталою під час стиснення, тобто немає втрат тепла у навколишнє середовище. Оскільки всі реальні

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процеси мають теплові втрати і, отже, є незворотними, ізентропічне стиснення використовується лише для розрахунку ідеального процесу. Після стиснення газ ізобарично конденсується в рідину в конденсаторі (2→3). Під час конденсації тиск залишається постійним. Зазвичай у конденсаторі використовують повітря або воду як охолоджувач, але спеціальні холодильні цикли можуть вимагати охолоджувач із нижчою температурою. У реальному процесі в конденсаторі може відбуватися певне падіння тиску, але зазвичай це нехтують як первинне припущення [6, 21-27]. Речовина, що охолоджується, проходить ізоентальпійне розширення через клапан (3→4). Тиск знижується, внаслідок чого рідина переходить у двофазову область на діаграмі фаз. Робоча речовина досягає найнижчої температури після розширення. Теоретично на цьому етапі можна використовувати турбіну для отримання роботи. На практиці такий дизайн не поширений через труднощі, пов'язані з розширенням рідкого потоку з конденсатора. Останнім етапом холодильного циклу є випаровування робочої рідини для повернення її у газоподібний стан. Теплота випаровування забирається з гарячого резервуара, який потрібно охолодити.

Перегрівання є практичною необхідністю для запобігання потрапляння рідини в компресор. Це явище відоме як забивання і може спричинити серйозні пошкодження компресора. Недоліком перегрівання робочого тіла є те, що весь цикл зміщується праворуч на фазовій діаграмі, що спрямовує компресор у область з більш пологими ізентропами, що призводить до більшого енергоспоживання. Збільшене енергоспоживання в компресорі має бути компенсоване збільшенням площі теплообміну в випарниках. Тому перегрівання слід тримати на мінімальному рівні.

Багатоступеневі цикли стиснення. Якщо різниця температур між конденсатором та випарником дуже велика, виникає можливість розглянути холодильний цикл з двома або більше стадіями стиску. Це робиться для того, щоб уникнути великих тискових співвідношень у системі одноетапного стиску, які викликають небажані умови експлуатації [21-27]. Особливо для реальних компресорів з ефективністю менше одиниці, занадто велике тискове співвідношення призводить до значних енергетичних втрат порівняно з оборотним процесом. Рішенням цієї проблеми є стискання пари у кілька етапів із проміжним охолодженням. Проміжне охолодження використовується для максимально можливого зниження перегріву. Це вигідно, оскільки дозволяє уникнути плоских ізентроп, тим самим підвищуючи ефективність і знижуючи загальне енергоспоживання компресорів.

Двоступенева конструкція може бути покращена ще більше, якщо врахувати, що пар утворюється в розширювальному клапані. Пара не може сприяти охолодженню, тому розширення та подальша компресія цієї парової фракції є марною тратою енергії. Дозволяючи розширенню відбуватися у флеш-барбані, так щоб пар можна було зібрати і подати безпосередньо між двома компресорами, цього можна уникнути. Насичений пар також діє як охолоджувач для перегрітого пару, що виходить із першого компресора, тому перегрівання зменшується перед входом у другий компресор [6, 21-27]. Холодоагент, що виходить із першого компресора, не обов'язково має

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надходити до флаш-танка. Альтернативно, пар із флаш-танка зміщується з витісненим холодоагентом із першого компресора і безпосередньо подається до другого компресора. Перевага використання конструкції з бульбашкою полягає в тому, що перегрів зводиться до мінімуму, за рахунок охолоджувальної здатності в випарниках. Якщо охолоджувальне навантаження розподілено на різних температурних рівнях, тепло також можна відбирати на проміжному рівні тиску, що можна досягти шляхом встановлення теплообмінника у флаш-драмі, наприклад, р-h діаграма залишиться без змін, але фракція пару збільшиться. Це означає, що менше рідини буде доступно для охолодження у випарнику низької температури. Розподіл холодоагенту між двома випарниками має визначатися на основі навантажень на кожному температурному рівні.

Охолодження за допомогою абсорбції. Альтернативним методом охолодження є абсорбційне охолодження. Проте цей метод зазвичай застосовується лише тоді, коли є джерело залишкового або дешевшого тепла, завдяки чому виробництво холоду стає набагато економічнішим і екологічнішим, хоча його ефективність значно нижча. У таких системах енергія подається насамперед у вигляді теплової. Холодоагент не стискається механічно, а поглинається рідким розчинником у екзотермічному процесі та піднімається до вищого рівня тиску за допомогою простої насоси [6]. Енергія, необхідна для підвищення тиску рідини за допомогою насоса, незначна порівняно з енергією, необхідною для стиснення газу в компресорі. При вищому тиску холодоагент випаровується з рідкого розчинника у ендотермічному процесі, тобто за допомогою тепла. У цьому випадку процес охолодження такий же, як у системі охолодження за допомогою компресії. Саме тому систему абсорбції та десорбції також називають термічним компресором.

У цій системі охолодження, так само як і в системі компресії, використовується властивість певних речовин поглинати тепло при переході з рідкого стану в газоподібний. У разі абсорбційних циклів вони фізично ґрунтуються на здатності деяких речовин, таких як вода та деякі солі, наприклад бромід літію, поглинати тепло при розчиненні в рідкій фазі парів інших речовин, таких як аміак та вода відповідно [21-27]. Детальніше, холодильний агент випаровується в теплообміннику, який називається випарником, що охолоджує вторинну рідину, після чого отриманий пар відновлюється шляхом розчинення в сольовому розчині або введенням у рідку масу. Решта компонентів і теплообмінників, що утворюють абсорбційну холодильну установку, використовуються для транспортування поглиненого пару та регенерації відповідної рідини, щоб випаровування відбувалося безперервно.

Охолоджувальна система охоплює всю теплову систему обладнання, тобто функції: розділення фаз, підвищення тиску рідини, стиснення пари, конденсація, розширення та акумуляція. Варіанти охолоджувальної системи для пластинчатого морозильника наведено в таблиці 2.4.

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

Таблиця 2.4 – Варіанти охолоджувальної системи для пластинчатого морозильника [20]

Варіанти	Опис
1	Рідина охолоджується за допомогою гідропневматичного резервуара, а пар стискається поршневим компресором. Конденсатор буде представленим трубним блоком з повітряним охолодженням. Розширення відбуватиметься за допомогою капілярної трубки, тому випарник буде сухий, а всмоктуючий акумулятор – вертикальним резервуаром.
2	Має вертикальний фазовий сепаратор, рідина під тиском подається відцентровим насосом, а пар стискається гвинтовим компресором. Конденсатором буде пластинчастий теплообмінник з охолодженням холодною водою. Розширення здійснюватиметься за допомогою голкового клапана, тому випарник буде затопленим, а всмоктуючий акумулятор – горизонтальним резервуаром.
3	Рідина охолоджується за допомогою гідропневматичного бака, а пар стискається гвинтовим компресором. Конденсатор буде двотрубним теплообмінником, охолодженим холодною водою. Розширення відбуватиметься через термостатичний розширювальний клапан, тому випарник буде сухим, а всмоктувальний акумулятор – вертикальним резервуаром.
4	Має горизонтальний фазовіддільник, рідину охолоджують центробіжним насосом, а пару стискає спіральний компресор. Конденсатор буде теплообмінником охолодженням гліколевим розчином. Розширення здійснюватиметься за допомогою поплавкового клапана, тому випарник буде заповнений рідиною, а всмоктуючий акумулятор буде горизонтальним резервуаром.

Для охолоджувальної системи обрано вертикальний фазовий сепаратор, рідина під тиском подається відцентровим насосом, а пар стискається гвинтовим компресором. Конденсатором буде пластинчастий теплообмінник з охолодженням холодною водою. Розширення здійснюватиметься за допомогою голкового клапана, тому випарник буде затопленим, а всмоктуючий акумулятор – горизонтальним резервуаром.

Для проектування циклу охолодження слід чітко визначити температури конденсації та випаровування холодоагенту. Що стосується температури випаровування, було встановлено, що потрібна температура середовища (поверхні пластини) становить $-34,6^{\circ}\text{C}$, тому буде взята до уваги температура випаровування -38°C [5]. Щодо температури конденсації то вона обмежується охолоджуючим середовищем, яке буде використовуватися, у даному випадку

холодною водою. В якості контрольного значення береться вода, яка виходить з промислового чиллера при 5°C, так само для правильного розрахунку розмірів конденсатора враховується температурний перепад 10°C між охолоджуючим середовищем та кінцевою температурою робочої рідини. Таким чином, температура конденсації обмежується 15°C:

- випарник буде затопленим із коефіцієнтом циркуляції 2,5;
- на всмоктуванні компресора буде забезпечено максимальний перегрів 8°C;
- температура вихідного потоку компресора буде 66°C;
- у конденсаторі буде забезпечено підохолодження на 1°C;
- ємності, такі як зарядний бак та сепаратор фаз, будуть вважатися адіабатичними.

На основі вище зазначеного можна вважати, що важливою частиною проєктування холодильної системи є вибір компонентів холодильного обладнання. Основними елементами холодильного обладнання є компресор, конденсатор, розширювальний пристрій та випарник. Елементи утворюють контур по якому циркулює холодильний агент, метою якого є транспортування тепла. Здійснено добір обладнання для здійснення процесу охолодження.

У процесі проєктування морозильної камери враховано, що пластинчастий морозильник має дві визначені області: одна – це механічна область, яка охоплює всю структуру, приводи та трансмісію руху, інша – це область охолодження, яка включає функції, необхідні для забезпечення автономного циклу охолодження.

Удосконалено горизонтальний пластинчастий морозильник, який приводиться в дію через гідравлічний механізм. Для механічної системи обрано систему, яка містить набір горизонтальних пластин, що приводяться в рух гідравлічними поршнями, рух між пластинами буде здійснюватися за допомогою штифтів з вушками. З обраним розташуванням поршнів буде забезпечено контактний тиск між блоками та плитами 12,0 кПа, що знаходиться в межах заданого діапазону. Мінімальна відстань між пластинами становить 50,8 мм, максимальна відстань між пластинами 74,0 мм – відстань буде більшою за загальну товщину рибного блоку, що дорівнює 64 мм.

Для охолоджувальної системи обрано вертикальний фазовий сепаратор, рідина під тиском подається відцентровим насосом, а пар стискається гвинтовим компресором. Конденсатором буде пластинчастий теплообмінник з охолодженням холодною водою. Розширення здійснюватиметься за допомогою голкового клапана, тому випарник буде затопленим, а всмоктуючий акумулятор – горизонтальним резервуаром. Система охолодження використовує холодоген R-404a і здатна заморожувати до температури -26°C у центрі 600 кг скумбрії за 2,36 години, з загальними розмірами 3,5 x 3,5 x 2,7 м. Обраним охолоджувачем був R-404a через його низький рівень озоноруйнівного потенціалу, низький ризик для здоров'я людини та прийнятні термофізичні властивості при низьких температурах. Необхідні ресурси для роботи морозильної камери: 13600 кг/год холодної води при 5°C та 22,0 кВт електричної енергії при трифазній промисловій напрузі 440 В змінного струму.

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

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Система керування холодильним обладнанням

Автоматизація процесів стає все більш важливою у виробництві та функціонуванні промислових машин. У кожному промисловому процесі потрібні елементи керування для його автоматизації. Вони в основному поділяються на три типи: сенсорні елементи, контролери та виконавчі пристрої.

Датчики – це компоненти або пристрої, здатні виявляти фізичні або хімічні величини, які називаються змінними інструментування і які перетворюються на вимірювані сигнали або змінні. Змінними параметрами можуть бути: температура, вологість, тиск. Перетворювач – це пристрій, який відповідає за перетворення сигналів датчиків у інший тип сигналу, який найчастіше є електричним і значення вихідного сигналу якого нормалізовані. Датчики також є перетворювачами і їх слід вибирати відповідно до цілей впроваджуваного процесу. Датчики або перетворювачі повинні пройти процес калібрування через який встановлюється зв'язок між вимірюваною змінною та вихідним сигналом, який надходитиме на контролер для відповідної обробки відповідно до проектних параметрів. Існують два типи перетворювачів [31]:

- аналогові перетворювачі, які видають сигнал безперервного типу, зазвичай це сигнали напруги або електричного струму. Ці сигнали, щоб їх використовувати в автоматизації, повинні бути відкалібровані або масштабовані відповідно до інженерних значень;

- цифрові перетворювачі передають цифровий сигнал у вигляді імпульсів, які можна рахувати, вони зчитуються як одиниці або нулі. Цифрові перетворювачі мають перевагу більшої сумісності з комп'ютерами, логічними контролерами та іншими автоматизованими пристроями.

Піраміда автоматизації [31]:

Рівень інструментування на ньому розташовані обладнання та пристрої, які безпосередньо взаємодіють з процесом або машиною. На цьому рівні знаходяться виконавчі механізми, такі як мотори, компресори, клапани, датчики та перетворювачі, а також датчики рівня, тиску та положення.

Рівень керування – розташоване обладнання або елементи, які управляють виконавчими пристроями та датчиками, це можуть бути ПЛК, логічні плати, частотні перетворювачі тощо. Загалом це програмовані пристрої, які налаштовані для адаптації та персоналізації роботи процесу або машини.

Рівень контролю – контролюються елементи управління, що здійснюється за допомогою систем моніторингу, таких як (лінії людина-машина), які можуть бути промисловими екранами або комп'ютерами.

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування та контроль холодильних систем на рибопереробному заводі		
Розроб.	<i>Столяренко</i>						
Перевір.	<i>Омельченко</i>						
Н. Контр.	<i>Омельченко</i>						
Затверд.	<i>Омельченко</i>						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						42	3
					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		

Автоматизація розподілена за рівнями відповідно до її розташування, атрибутів та впливу, таким чином встановлено чотири рівні (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Піраміда автоматизації [31]

Рівень управління також складається з комп'ютерів. На цьому рівні не має значення стан і контроль технологічних процесів на заводі. Важлива інформація, пов'язана з виробництвом та управлінням ним. Кількість використаної сировини, чисте виробництво, облік зберігання тощо. На цьому рівні також можна зв'язати завод із зовнішніми системами контролю та моніторингу.

Для проєктування морозильної камери охоплено три аспекти: механічну систему, охолоджувальну систему, яка виконуватиме внутрішній цикл охолодження та система керування. Було враховано, що машина має дві визначені області: одна – це механічна область, яка охоплює всю структуру, приводи та трансмісію руху, інша – це область охолодження, яка включає функції, необхідні для забезпечення автономного циклу охолодження. Для цього завдання буде розглянуто розміщення наступних датчиків та інструментів у різних частинах циклу охолодження:

Датчик тиску буду розмішувати пресостат як на вході, так і на виході компресора з метою того, щоб оператор машини міг бачити робочі тиски системи. У разі виявлення будь-якого відхилення від проєктних тисків, машину слід блокувати. Додатково слід додати режим відтаювання, оскільки в цьому випадку тиск на виході компресора повинен бути обмежений до 500 кПа. Датчик температури буде розташовано на виході з конденсатора з метою контролю підохолодження системи (розраховано на 1°C нижче температури конденсації) [20]. Цей параметр є критичним, оскільки, якщо не буде досягнута ентальпія на вході в випарник, цикл не працюватиме відповідно до проєктних умов. Датчики рівня будуть розташовані як у сепараторі фаз так і в акумулюючому баку. У сепараторі фаз для забезпечення мінімального рівня, необхідного для того, щоб конденсатний насос не працював з кавітацією. Соленоїдні клапани (у кількості шістьох) розташовуватимуться по всій системі з метою забезпечення відведення гарячого газу, коли буде потрібна операція

розморожування.

Контролер буде розташований на електричному щиті та керуватиме різними режимами роботи або відмови машини за допомогою сигналів, що надходять від датчиків та стану виконавчих механізмів. Необхідно мінімум 11 дискретних входів/виходів (2 датчики тиску, 1 температурний, 2 рівня та 6 електромагнітних клапанів) і 1 аналоговий вхід/вихід (частотний перетворювач для двигуна компресора).

Програмована логічна система керування, яка базується на процесорі, відрізняється від комп'ютера тим, що має характеристики, які дозволяють використовувати її в промисловій автоматизації. Вони замінюють старі системи керування на реле чи пневматиці, оскільки, на відміну від них, дозволяють керувати дискретними елементами, такими як логічні функції, послідовності, лічильники, таймери, підрахунки та математична логіка, що корисні при керуванні машинами та процесами [31]. Її застосування в промисловості різноманітне, воно може охоплювати від контролю температури в кімнаті до процесів, таких як очистка води, контроль генераторів і компресорів, високовольтні електричні системи, системи опалення та охолодження.

Для охолоджувальної системи обрано вертикальний фазовий сепаратор, рідина під тиском подається відцентровим насосом, а пар стискається гвинтовим компресором. Конденсатором буде пластинчастий теплообмінник з охолодженням холодною водою. Розширення здійснюватиметься за допомогою голкового клапана, тому випарник буде затопленим, а всмоктуючий акумулятор – горизонтальним резервуаром. Для механічної системи обрано систему, яка містить набір горизонтальних пластин, що приводяться в рух гідравлічними поршнями, рух між пластинами буде здійснюватися за допомогою штифтів з вушками.

Запропоновано для морозильної камери дві зони, які чітко відокремлені теплоізоляцією (рис. 3.2). Одна – «холодна» зона, яка буде місцем роботи пластин і елементів низької температури, інша – «гаряча» зона, де працюватимуть інші пристрої холодильного циклу, електричний щит та гідравлічна схема. В «холодній» зоні працюватиме вся система низьких температур: плити, фазовий сепаратор, баки для завантаження, насос. Додатково працюватимуть гідравлічні циліндри, тому масло для їх роботи повинно бути таким, що витримує низькі температури, наприклад, до -60°C .

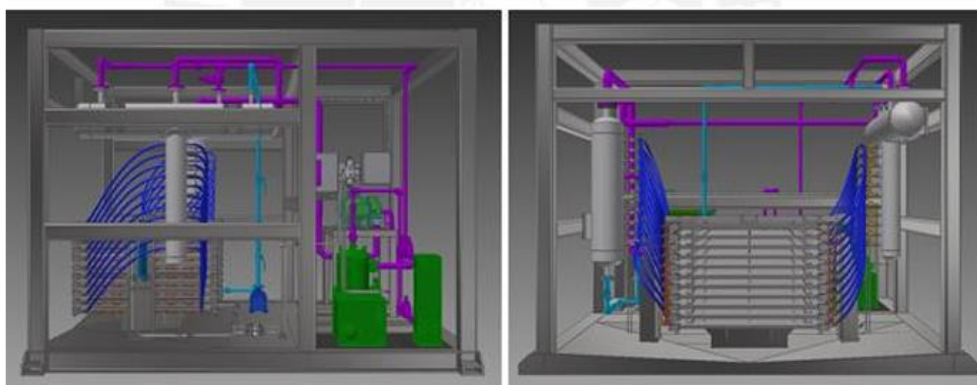


Рисунок 3.2 – Внутрішній вигляд «холодної» зони

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена проектуванню та контролю холодильних систем на рибопереробному заводі. У роботі зазначено, що риба є дуже швидкопсувними продуктами харчування, тому якість швидко погіршується, якщо їх зберігати за неналежних умов. Це може спричинити небажані ферментативні процеси, ріст мікроорганізмів і, зрештою, призвести до продукту, що не відповідає нормам, з небажаним смаком та текстурою. Термін придатності продукту можна подовжити такими процесами, як сушіння, засолювання, охолодження та глибоке заморожування. Останній метод добре зберігає текстуру та смакові якості протягом тривалого часу.

У першому розділі здійснено аналіз обладнання для заморожування рибної сировини. Зазначено, що заморожування є одним із найпоширеніших процесів, що використовуються для збереження продуктів харчування. Зниження температури зменшує активність мікроорганізмів та ферментів, таким чином запобігаючи псуванню продуктів. Заморожування використовується для того, щоб зберігати продукти протягом тривалішого часу, ніж це дозволяє охолодження, оскільки в цьому процесі більша частина води, що міститься у продукті, переходить у твердий стан. Морозильне обладнання має бути спроектоване так, щоб відповідати трьом етапам процесу заморожування. Розрізняють три типи морозильних камер з прямим контактом: пластинчасті, стрічкові та ротаційні барабанні.

Аналіз наукових джерел дав змогу обґрунтувати, що основними елементами холодильного обладнання є компресор, конденсатор, розширювальний пристрій та випарник. Означені елементи утворюють контур по якому циркулює холодильний агент, метою якого є транспортування тепла. Холодильний агент, який знаходиться стиснутим у конденсаторі, розширюється у розширювальному клапані. У випарнику холодильний агент кипить при відповідній температурі випаровування, поглинаючи тепло з охолоджуваного середовища. Потім пари холодильного агента всмоктуються компресором і стискаються до тиску випаровування. У конденсаторі знову поглинається певна кількість тепла, внаслідок чого холодильний агент конденсується. Процес повторюється знову.

Другий розділ присвячено добору основних компонентів холодильної установки та керування холодильною системою. Здійснено добір обладнання для здійснення процесу охолодження. У процесі проектування морозильної камери враховано, що пластинчатий морозильник має дві визначені області: одна – це механічна область, яка охоплює всю структуру, приводи та трансмісію руху, інша – це область охолодження, яка включає функції, необхідні для забезпечення автономного циклу охолодження.

Удосконалено горизонтальний пластинчастий морозильник, який

					ННІЕТ КНУ.142.ЕМБ-22.2026.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування та контроль холодильних систем на рибопереробному заводі		
Розроб.	Столяренко						
Перевір.	Омельченко						
Н. Контр.	Омельченко						
Затверд.	Омельченко						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						45	2
					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		

приводиться в дію через гідравлічний механізм. Для механічної системи обрано систему, яка містить набір горизонтальних пластин, що приводяться в рух гідравлічними поршнями, рух між пластинами буде здійснюватися за допомогою штифтів з вушками. З обраним розташуванням поршнів буде забезпечено контактний тиск між блоками та плитами 12,0 кПа, що знаходиться в межах заданого діапазону. Мінімальна відстань між пластинами становить 50,8 мм, максимальна відстань між пластинами 74,0 мм – відстань буде більшою за загальну товщину рибного блоку, що дорівнює 64 мм.

Для охоложувальної системи обрано вертикальний фазовий сепаратор, рідина під тиском подається відцентровим насосом, а пар стискається гвинтовим компресором. Конденсатором буде пластинчастий теплообмінник з охолодженням холодною водою. Розширення здійснюватиметься за допомогою голкового клапана, тому випарник буде затопленим, а всмоктуючий акумулятор – горизонтальним резервуаром. Система охолодження використовує холодоген R-404a і здатна заморожувати до температури -26°C у центрі 600 кг скумбрії за 2,36 години, з загальними розмірами 3,5 x 3,5 x 2,7 м. Обраним охолоджувачем був R-404a через його низький рівень озоноруйнівного потенціалу, низький ризик для здоров'я людини та прийнятні термофізичні властивості при низьких температурах. Необхідні ресурси для роботи морозильної камери: 13600 кг/год холодної води при 5°C та 22,0 кВт електричної енергії при трифазній промисловій напрузі 440 В змінного струму.

В третьому розділі зазначено, що автоматизація процесів стає все більш важливою у виробництві та функціонуванні промислових машин. У кожному промисловому процесі потрібні елементи керування для його автоматизації. Вони в основному поділяються на три типи: сенсорні елементи, контролери та виконавчі пристрої. Забороновано розміщення таких датчиків у різних частинах циклу охолодження:

Датчик тиску буде розміщений як на вході, так і на виході компресора з метою того, щоб оператор машини міг бачити робочі тиски системи. У разі виявлення будь-якого відхилення від проектних тисків, машину слід блокувати. Додатково слід додати режим відтаювання, оскільки в цьому випадку тиск на виході компресора повинен бути обмежений до 500 кПа. Датчик температури буде розташований на виході з конденсатора з метою контролю підохолодження системи (розраховано на 1°C нижче температури конденсації). Цей параметр є критичним, оскільки, якщо не буде досягнута ентальпія на вході в випарник, цикл не працюватиме відповідно до проектних умов. Датчики рівня будуть розташовані як у сепараторі фаз так і в акумулюючому баку. У сепараторі фаз для забезпечення мінімального рівня, необхідного для того, щоб конденсатний насос не працював з кавітацією. Соленоїдні клапани (у кількості шістьох) розташовуватимуться по всій системі з метою забезпечення відведення гарячого газу, коли буде потрібна операція розморожування.

Контролер буде розташований на електричному щиті та керуватиме різними режимами роботи або відмови машини за допомогою сигналів, що надходять від датчиків та стану виконавчих механізмів. 2 датчики тиску, 1 температурний, 2 рівня та 6 електромагнітних клапанів і 1 аналоговий вхід/вихід (частотний перетворювач для двигуна компресора).

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Замороження харчових продуктів. Режим доступу: <https://www.zahidholod.com.ua/tpost/4006jk4p21-zamorozhennya-harchovih-produktiv>.
2. Заморожування плодів і овочів контактним способом. Режим доступу: <https://iua.waykun.com/articles/zamorozhuvannja-plodiv-i-ovochiv-kontaktnim.p/hr>.
3. Замороження харчових продуктів. Режим доступу: <https://www.zahidholod.com.ua/tpost/4006jk4p21-zamorozhennya-harchovih-produktiv>.
4. Preparacion y almacenamiento de productos congelados. URL: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmficio.65p/doc/bmficio.65p.pdf>.
5. Conditions for design and control of refrigeration systems in fish processing plants. URL: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/238501/238501.pdf>.
6. Modelling and simulation of a two-stage refrigeration cycle. URL: <https://jaschke.folk.ntnu.no/Masters/MasterTheses/2015/Verheyleweghen/masterVerheyleweghen.pdf>.
7. Обґрунтування конструкції спіральної морозильної камери шокової заморозки для швидкого охолодження продуктів харчування. Режим доступу: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/7298/1/2.pdf>.
8. Спіральні швидкоморозильні апарати. Режим доступу: <https://primeholod.com.ua/uk/obladnannya/obladnannya-shokovoji-zamorozki/spiralni-skoromorozilni-aparati>.
9. Холодильні установки: підручник / І.Г. Чумак, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський. Одеса: Рефпринтінфо, 2006. 550 с.
10. Холодильні установки. Проектування / Чумак І.Г., Чепурненко В.П., Лагутін А.Ю., Лар'яновський С.Ю.. Одеса : Друк, 2008. 186 с.
11. Хмельнюк М.Г. Холодильні установки спеціального призначення. Одес. нац. акад. харч. технологій. Херсон : Вид. Грінь Д.С., 2013. 488 с.
12. Промислове холодильне обладнання. Види. Особливості. Характеристики. Режим доступу: <https://holodprom.com.ua/ua/promoslove-holodilne-obladnannya-vidi-osoblivosti>.
13. Холодильне технологічне обладнання для заморожування харчових продуктів. Експлуатація установок охолодження повітря і холодильного обладнання. Режим доступу: <https://tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/lekcyja-8.-holodylne-tehnolohichne-obladnannja-dlja-zamorozhuvannja-harchovyh-produktiv.pdf>.
14. Обладнання для заморожування. Режим доступу: <https://groupoffoodsystems.com.ua/zamorozhuvannya>.
15. Види компресорів холодильного обладнання. Переваги та недоліки. Режим доступу: <https://redmedua.com/uk/rnews/61-vidy-kompressorov-holodilynogo-oborudovaniya-dostoinstva-i-nedostatki/>.
16. Холодильні компресори: особливості та види. Режим доступу: <https://vdh.com.ua/ua/a470392-holodilnye-kompressory-osobennosti.html>.

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

17. Конденсатори для холодильних систем: основи, які потрібно знати. Режим доступу: <https://profportal.com.ua/blog/kondensatory-dlya-kholodylnykh-system-osnovy-yaki-potribno-znaty/>.

18. Типи холодильних конденсаторів. Режим доступу: <https://vektorlux.com/information/typy-kholodylnykh-kondensatoriv>.

19. Випарники холодильних машин. Режим доступу: <https://tourism-book.com/pbooks/book-22/ua/chapter-1149/>.

20. Diseño de un congelador de placas para pescado de capacidad 240 kg/h. URL: file:///C:/Users/admin/Downloads/Y%C3%89PEZ_MIGUEL_DISE%C3%91O_CONGELADOR%20.pdf.

21. Принципи роботи холодильної машини. Режим доступу: <https://teko-ua.com/ua/princzipyi-raboty-i-xolodilnoj-mashinyi.html>.

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

23. Схеми і цикли холодильних машин. <https://ua.jirukoso.com/articles/shemi-i-cikli-holodilnih-mashin.html>.

24. What is refrigeration cycle? URL: <https://www.mechstudies.com/what-is-refrigeration-cycle-basic-parts/>.

25. Reverse Carnot cycle: definition, formula, process, cycle. URL: <https://engineeringbro.com/reverse-carnot-cycle/>.

26. Термодинаміка та теплообмін. Цикли холодильних установок / В.В. Дубровська, В.І Шкляр. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021. 45 с.

27. Холодильні установки та способи отримання холоду. Компресори та насоси. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/10704349/page:7>.

28. Вентилі та клапани для холодильного обладнання. Режим доступу: <https://energoholod.com.ua/uk/komplektuyuschie/ventili-i-klapany/>.

29. Клапани. Режим доступу: <https://www.elektronika-sa.com.ua/uk/produkty/holodopostachannia/klapany>.

30. Valves in the Refrigeration System. URL: <https://www.haidinggroup.com/industry-news/valves-in-the-refrigeration-system-article-437/>.

31. Automatización de un sistema de refrigeración industrial mediante un PLC, interface hmi y control remoto desde dispositivos móviles. URL: <https://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2089/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2019-041.pdf>.