

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



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**На тему: «Проект розподільчого холодильника місткістю 800 тон торгівельної
мережі «Близенько», м. Івано-Франківськ»**

Здобувача: Мержієвського С.А.

4-го курсу групи ХМ-741

Керівник: доц. Желіба Ю.О.

Консультанти: доц. Жихарева Н.В.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 28.05.2026 р. _____ протокол № _____ 10 _____

Завідувач кафедри ХУіКП _____ Михайло Хмельнюк

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики
Кафедра: Холодильних установок і кондиціонування повітря
Ступінь вищої освіти: Бакалавр
Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»
Освітня програма: «Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри: д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.

16 березня 2026 р.

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

Мержієвського Сергія Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Проект розподільчого холодильника місткістю 800 тон торгівельної мережі «Близенько», м. Івано-Франківськ

Затверджена наказом ОНТУ від № 499-03 від 26.09.25 р.

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 22.06.26 р.

3. Вихідні дані роботи: Холодильна установка розподільчого холодильника місткістю 800 тон у м. Івано-Франківськ

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

Постановка завдань проекту; Визначення розмірів охолоджувальних приміщень холодильника; Вибір і розрахунок теплоізоляційної конструкції камер; Розрахунок теплоприпливів; Тепловий розрахунок холодильної системи; Розрахунок повітроохолоджувача; Підбір компресорів, системи конденсації агента і допоміжного устаткування; Розрахунок магістральних трубопроводів; Охорона праці

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

План холодильника; Розрізи по камерам холодильника; Принципова схема холодильної установки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Доц. Жихарєва Н.В.		

7. Дата видачі завдання: 25.01.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Постановка завдань проєкту.	01.02.- 15.02.2026 р.	виконано
2	Визначення розмірів охолоджувальних приміщень холодильника. Вибір і розрахунок теплоізоляційної конструкції камер.	16.02.- 28.02.2026 р.	виконано
3	Розрахунок теплоприпливів; Тепловий розрахунок холодильної системи	1.03.- 31.03.2026 р.	виконано
4	Розрахунок повітроохолоджувача; Підбір компресорів, системи конденсації агента і допоміжного устаткування; Розрахунок магістральних трубопроводів	01.04.- 15.04.2026 р.	виконано
5	Охорона праці	16.04.- 30.04.2026 р.	виконано
6	Розробка креслень проєкту	1.05.-25.05.2026 р.	виконано

Здобувач-дипломник _____ Мержієвський С.А.

Керівник роботи _____ доц. Желіба Ю.О.

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

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник _____ Мержієвський Сергій Анатолійович

Анотація

к кваліфікаційної роботі бакалавра на тему

«Проект розподільчого холодильника місткістю 800 тон торгівельної мережі «Близенько», м. Івано-Франківськ»

Кваліфікаційна робота включає розрахунково-пояснювальну записку, графічну частину та презентаційні матеріали.

Метою роботи є розробка проекту розподільчого холодильника місткістю 800 тон торгівельної мережі «Близенько», яка розташована у м. Івано-Франківськ.

У даній роботі детально розглянуто сучасні підходи до проектування розподільчих холодильників, що застосовуються у системах короткотривалого зберігання харчової продукції. Проведено аналіз особливостей функціонування холодильного ланцюга, в якому розподільчий холодильник виступає важливою технологічною ланкою, що забезпечує підтримання необхідних температурних режимів під час зберігання та транспортування продукції.

Виконано розробку будівельної частини об'єкта та обґрунтовано вибір теплоізоляційних конструкцій з урахуванням умов експлуатації. Для кожної камери зберігання відповідно до технологічних вимог визначено та розраховано теплопритоки, що виникають у процесі охолодження, доохолодження і подальшого зберігання продуктів.

На основі отриманих результатів проведено теплотехнічний і холодильний розрахунок установки, здійснено вибір системи охолодження та холодильного агента. Також виконано теоретичний розрахунок повітроохолоджувача і підбір основного та допоміжного обладнання.

Отримані результати можуть бути використані під час створення нових або модернізації існуючих розподільчих холодильників різного призначення.

Ключові слова: холодильник, теплотехнічний розрахунок, конденсатор, випарник.

Abstract
for the Bachelor's Qualification Thesis on the topic
“Project of an 800-Ton Distribution Refrigerated Warehouse for the ‘Blyzenko’
Retail Chain, Ivano-Frankivsk”

The qualification thesis includes an explanatory calculation report, graphical materials, and presentation materials.

The aim of the thesis is to develop a project for an 800-ton distribution refrigerated warehouse for the “Blyzenko” retail chain located in Ivano-Frankivsk.

This thesis thoroughly examines modern approaches to the design of distribution refrigerated warehouses used in short-term food storage systems. An analysis of the refrigeration chain operation has been carried out, where the distribution refrigerated warehouse acts as an important technological link that ensures the maintenance of the required temperature conditions during storage and transportation of products.

The building design of the facility has been developed, and the selection of thermal insulation structures has been substantiated taking into account the operating conditions. For each storage chamber, according to technological requirements, heat gains arising during the cooling, additional cooling, and subsequent storage of products have been determined and calculated.

Based on the obtained results, thermal engineering and refrigeration calculations of the system were carried out, and the cooling system as well as the refrigerant were selected. A theoretical calculation of the air cooler was also performed, together with the selection of the main and auxiliary equipment.

The obtained results can be used in the development of new distribution refrigerated warehouses or in the modernization of existing facilities for various purposes.

Key words: refrigerator, heating equipment, condenser, evaporator.

ЗМІСТ

стор.

1	Постановка завдань проекту	7
2	Визначення розмірів охолоджувальних приміщень холодильника.....	20
3	Вибір і розрахунок теплоізоляційної конструкції камер	23
4	Розрахунок теплоприпливів	34
5	Тепловий розрахунок холодильної системи.....	45
6	Розрахунок повітроохолоджувача	59
7	Підбір компресорів, системи конденсації агента і допоміжного устаткування. Розрахунок магістральних трубопроводів.....	52
8	Охорона праці	63
	Список використаної літератури	

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Мержієвський			Пояснювальна записка			Літ.	Аркуш		Аркушів		
Перевір.		Желіба Ю.О.								6		84	
Реценз.								ОНТУ ХМ-741					
Н. Контр.		Желіба Ю.О.											

1 Постановка завдань проекту

Метою даної роботи є проектування розподільного холодильника, загальною орієнтовною місткістю 800 тон, який буде розташований у Івано-Франківській області.

Холодильний ланцюг є одним із найважливіших елементів сучасної системи забезпечення населення якісними харчовими продуктами. Його основне призначення полягає у підтриманні необхідних температурних умов на всіх етапах руху продукції — від моменту виробництва або первинної холодильної обробки до кінцевого споживання. Безперервність холодильного ланцюга дозволяє зберегти харчову цінність, смакові властивості, зовнішній вигляд та безпечність продуктів протягом усього терміну реалізації.

Особливо важливу роль у структурі холодильного ланцюга відіграє розподільчий холодильник. Саме він є центральною ланкою між виробником та торговельними мережами. У розподільчому холодильнику продукція накопичується, сортується, тимчасово зберігається та підготовлюється до подальшого транспортування. Від ефективності роботи такого холодильника значною мірою залежить стабільність постачання харчових продуктів до магазинів, супермаркетів та інших об'єктів реалізації.

Схема холодильного ланцюга, яка представлена на рисунку, демонструє послідовність руху продукції від етапу попереднього охолодження або холодильної обробки до кінцевого зберігання у побутовому холодильнику споживача. Усі етапи ланцюга є взаємопов'язаними та повинні функціонувати без порушення температурного режиму.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СХЕМА ХОЛОДИЛЬНОГО ЛАНЦЮГА ДЛЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Від попереднього охолодження / холодильної обробки до побутового споживача



Попереднє охолодження та холодильна обробка продукції

Першим етапом холодового ланцюга є попереднє охолодження або холодильна обробка харчових продуктів. На цьому етапі відбувається швидке зниження температури продукції після її виробництва, переробки або збору врожаю. Основною метою є зменшення інтенсивності біохімічних процесів, уповільнення розвитку мікроорганізмів та збереження початкової якості продуктів.

Для різних видів продукції використовуються різні способи охолодження. Наприклад, для фруктів та овочів часто застосовується повітряне охолодження або гідроохолодження. М'ясна продукція проходить процес охолодження у спеціальних камерах, де температура підтримується на рівні від 0 до +4 °C. Для риби та морепродуктів може використовуватись охолодження льодом або у холодильних камерах із примусовою циркуляцією повітря.

У випадку заморожених продуктів застосовується процес швидкого заморожування, під час якого температура продукту знижується нижче криоскопічної. Швидке заморожування дозволяє утворити дрібні кристали льоду, що мінімізує пошкодження клітинної структури продукту та забезпечує краще збереження його властивостей після розморожування.

Саме на цьому етапі закладається якість майбутнього зберігання. Якщо продукція не була достатньо швидко охолоджена після виробництва або збору, навіть подальше дотримання температурного режиму не зможе повністю компенсувати втрату якості.

Для здійснення попереднього охолодження використовують холодильні установки, до складу яких входять компресори, конденсатори, випарники, повітроохолоджувачі та автоматичні системи керування. Вибір обладнання залежить від виду продукції, продуктивності підприємства та необхідного температурного режиму.

Транспортування продукції до розподільчого холодильника

Після попереднього охолодження продукція направляється до розподільчого холодильника. Транспортування здійснюється спеціалізованим холодильним транспортом — автомобільними рефрижераторами, холодильними контейнерами або залізничними вагонами-рефрижераторами.

Основним завданням цього етапу є підтримання температури продукції на стабільному рівні під час перевезення. Навіть короткочасне порушення температурного режиму може призвести до активізації мікробіологічних процесів, втрати маси продукції або скорочення терміну її зберігання.

Рефрижераторний транспорт обладнується автономними холодильними установками, які підтримують задану температуру незалежно від зовнішніх кліматичних умов. Для охолоджених продуктів температура зазвичай підтримується у межах від 0 до +4 °С, а для заморожених — близько -18 °С.

Особливу увагу приділяють правильному розміщенню продукції у кузові транспортного засобу. Між вантажем повинні залишатися канали для

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

циркуляції холодного повітря. Недостатня циркуляція може призвести до локального підвищення температури та нерівномірного охолодження.

Важливим фактором є також тривалість транспортування. Чим менше часу продукція перебуває у дорозі, тим вища ймовірність збереження її якості. Саме тому розподільчі холодильники часто розташовують поблизу великих транспортних вузлів, автомагістралей або центрів споживання продукції.

Розподільчий холодильник як центральна ланка холодильного ланцюга

Розподільчий холодильник є ключовим елементом усієї системи холодопостачання харчових продуктів. Його основна функція полягає у прийманні продукції від виробників, забезпеченні її короткотривалого або середньотривалого зберігання, сортуванні та підготовці до подальшого розподілу.

Такі холодильники зазвичай мають значну місткість та включають декілька функціональних зон:

- приймальні приміщення;
- експедиційні камери;
- камери охолодженого зберігання;
- морозильні камери;
- сортувальні приміщення;
- зони комплектування замовлень.

Температурний режим у камерах залежить від виду продукції. Для охолоджених товарів підтримується температура від 0 до +4 °С, а для заморожених — близько -18 °С або нижче.

У розподільчих холодильниках часто використовуються сучасні автоматизовані системи моніторингу температури та вологості. Це дозволяє контролювати параметри мікроклімату у режимі реального часу та оперативно реагувати на будь-які відхилення.

Особливу роль відіграє система повітророзподілу. Вона повинна забезпечувати рівномірне охолодження продукції у всьому об'ємі камери.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для цього застосовують стельові повітроохолоджувачі, каналні системи або системи активного вентилявання.

Розподільчий холодильник також забезпечує логістичну функцію. Саме тут формуються партії продукції для різних торговельних мереж, здійснюється тимчасове накопичення товарів та організовується їх подальше транспортування.

Сучасні розподільчі холодильники будуються із застосуванням сендвіч-панелей з ефективною теплоізоляцією. Це дозволяє зменшити теплопритоки та скоротити витрати електроенергії на виробництво холоду.

Транспортування до торговельних мереж

Після зберігання у розподільчому холодильнику продукція направляється до торговельних мереж. Доставка здійснюється рефрижераторним транспортом із суворим дотриманням температурного режиму.

На цьому етапі важливо забезпечити безперервність холодильного ланцюга. Під час завантаження та розвантаження необхідно мінімізувати час відкривання дверей транспортного засобу, щоб уникнути надходження теплого зовнішнього повітря.

Транспортні маршрути плануються таким чином, щоб забезпечити максимально швидку доставку продукції до магазинів та супермаркетів. У великих містах розподільчі холодильники можуть обслуговувати десятки або навіть сотні торговельних об'єктів.

Для контролю температури у сучасних рефрижераторах використовуються електронні системи реєстрації параметрів. Вони дозволяють фіксувати температурний режим протягом усього перевезення та підтверджувати дотримання умов зберігання продукції.

Зберігання та реалізація продукції у торговельних мережах

Після доставки продукція надходить до магазинів, супермаркетів та інших об'єктів торгівлі. Тут вона зберігається у холодильних вітринах, шафах, морозильних бонетах або холодильних камерах.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основним завданням цього етапу є підтримання необхідної температури під час демонстрації та реалізації продукції споживачам. Холодильне обладнання торговельних мереж повинно забезпечувати стабільний температурний режим навіть при частому відкриванні дверей або інтенсивному потоці покупців.

Для охолоджених продуктів температура зазвичай становить від 0 до +6 °С, а для заморожених — не вище -18 °С. Порушення температурного режиму у торговельному обладнанні може призвести до псування товарів та скорочення терміну їх придатності.

Важливе значення має правильне розміщення продукції у вітринах. Товари не повинні перекривати потоки холодного повітря. Також необхідно уникати перевантаження холодильного обладнання.

У сучасних супермаркетах широко використовуються централізовані системи холодопостачання, що дозволяють забезпечити ефективну роботу великої кількості холодильних приладів одночасно.

Транспортування продукції до споживача

Після придбання продукції споживачем холодильний ланцюг не завершується. Дуже важливим є етап доставки продуктів додому. Особливо це стосується охолоджених та заморожених товарів.

У теплу пору року навіть короткочасне перебування продукції при високій температурі може негативно вплинути на її якість. Саме тому рекомендується використовувати термосумки або спеціальні ізоtermічні пакети для транспортування заморожених продуктів.

Час доставки продуктів від магазину до домашнього холодильника повинен бути мінімальним. Насамперед це стосується м'яса, риби, молочних продуктів та напівфабрикатів.

Побутове зберігання продукції

Останньою ланкою холодильного ланцюга є побутовий холодильник споживача. Саме тут продукція зберігається до моменту її використання.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для різних продуктів у побутовому холодильнику необхідно підтримувати відповідні температурні режими. У холодильному відділенні температура зазвичай становить від +2 до +6 °С, а у морозильній камері — близько -18 °С.

Важливо правильно розміщувати продукти у холодильнику. Сире м'ясо та риба повинні зберігатися окремо від готових до споживання продуктів. Не рекомендується перевантажувати холодильник, оскільки це погіршує циркуляцію холодного повітря.

Сучасні побутові холодильники обладнуються системами автоматичного розморожування, вентиляторами циркуляції повітря та електронними системами керування температурою. Це дозволяє забезпечити стабільні умови зберігання продуктів.

Значення безперервності холодильного ланцюга

Ефективність усього холодильного ланцюга залежить від безперервності підтримання температурного режиму. Якщо хоча б на одному з етапів відбувається порушення умов зберігання, це може призвести до погіршення якості продукції.

Безперервний холодильний ланцюг забезпечує:

- збереження харчової цінності продуктів;
- подовження терміну придатності;
- зниження втрат продукції;
- забезпечення мікробіологічної безпечності;
- покращення логістики постачання;
- стабільність якості продукції для споживача.

Особливо важливим це є для швидкопсувних продуктів — м'яса, риби, молочної продукції, фруктів, овочів та заморожених напівфабрикатів.

Таким чином, холодильний ланцюг є складною багатоступеневою системою, яка забезпечує збереження якості та безпечності харчових продуктів на всіх етапах їх руху від виробника до споживача. Центральною ланкою цього процесу виступає розподільчий холодильник, який виконує

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функції накопичення, сортування, зберігання та логістичного розподілу продукції.

Ефективна робота розподільчих холодильників дозволяє забезпечити стабільне постачання продукції до торговельних мереж та підтримання безперервного холодильного ланцюга. Використання сучасних холодильних технологій, енергоефективного обладнання та автоматизованих систем контролю сприяє підвищенню якості харчових продуктів і зменшенню втрат при їх зберіганні та транспортуванні.

У сучасних умовах розвитку харчової промисловості та логістики значення холодильного ланцюга постійно зростає. Саме тому удосконалення систем холодопостачання, оптимізація роботи розподільчих холодильників та забезпечення безперервності температурного режиму залишаються важливими напрямками розвитку холодильних технологій.

Загальна характеристика розподільчих холодильників

Розподільчий холодильник — це спеціалізований складський комплекс, призначений для коротко- або середньострокового зберігання швидкопсувних продуктів із одночасним виконанням операцій сортування, комплектування та відвантаження.

Основними видами продукції, що зберігається у таких холодильниках, є:

- м'ясо та м'ясопродукти;
- риба та морепродукти;
- молочна продукція;
- овочі та фрукти;
- напівфабрикати.

Головною особливістю розподільчих холодильників є висока інтенсивність вантажопотоків і відносно невеликий термін зберігання продукції, що зазвичай становить від кількох діб до двох тижнів.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні параметри холодильників місткістю 1000 т

Холодильники місткістю близько 1000 тон мають такі характерні параметри:

- загальна місткість: 800–1200 т;
- площа забудови: приблизно 800–1200 м²;
- висота складських приміщень: 6–12 м;
- кількість камер: 4–8;
- тривалість зберігання: 5–15 діб.

Планування таких холодильників передбачає поділ на окремі функціональні зони, що забезпечує раціональну організацію технологічного процесу та мінімізацію теплових втрат.

Класифікація холодильників

Розподільчі холодильники класифікують за температурним режимом:

- середньотемпературні (від +15 до –5 °С) — для охолоджених продуктів;
- низькотемпературні (від –5 до –40 °С) — для замороженої продукції;
- мультитемпературні — поєднують різні режими в одному комплексі.

Найбільш поширеними є мультитемпературні холодильники, оскільки вони дозволяють одночасно зберігати різні види продукції.

Планувальна структура холодильника

Раціональна організація простору холодильника є одним із ключових факторів його ефективної роботи.

До складу холодильника входять такі основні зони:

- приймальна зона;
- камери охолодження;
- камери зберігання;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- експедиційна зона;
- допоміжні приміщення (машинне відділення, побутові кімнати).

Технологічний процес організовується таким чином, щоб потоки продукції не перетиналися, а переміщення відбувалося за найкоротшими маршрутами.

Конструктивні особливості

Сучасні холодильники будуються як ізотермічні споруди з високим рівнем теплоізоляції.

Основними конструктивними елементами є:

- несучий каркас (металевий або залізобетонний);
- огорожувальні конструкції (сендвіч-панелі);
- теплоізоляційний шар (пінополіуретан або мінеральна вата);
- герметичні двері та ворота.

Особлива увага приділяється герметичності будівлі, оскільки проникнення теплого повітря призводить до значних енергетичних втрат.

Холодильне обладнання

Основу холодильника становить холодильна установка, яка включає:

- компресори;
- конденсатори;
- випарники (повітроохолоджувачі);
- регулюючу арматуру;
- систему автоматизації.

Повітроохолоджувачі встановлюються безпосередньо у камерах і забезпечують рівномірний розподіл температури та вологості.

Для таких об'єктів часто застосовують аміачні або хладонові холодильні установки, а також сучасні системи на основі CO₂.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічні особливості експлуатації

Робота розподільчого холодильника характеризується:

- високою інтенсивністю вантажообігу;
- необхідністю швидкого охолодження продукції;
- постійним контролем температури і вологості;
- мінімізацією втрат холоду при відкриванні дверей.

Для підвищення ефективності використовуються:

- повітряні завіси;
- швидкісні ворота;
- автоматизовані системи управління.

Внутрішнє обладнання

Внутрішній простір холодильника оснащується:

- стелажними системами (палетними або глибинними);
- електронавантажувачами;
- конвеєрами;
- системами адресного зберігання.

Це дозволяє максимально ефективно використовувати об'єм приміщення та забезпечує швидке виконання складських операцій.

Теплотехнічні особливості

При проектуванні холодильника важливим є визначення теплового навантаження, яке включає:

- теплопритоки через огорожувальні конструкції;
- інфільтрацію теплого повітря;
- теплопритоки від продукції;
- теплопритоки від обладнання та персоналу.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зменшення теплових навантажень дозволяє підвищити енергоефективність і знизити експлуатаційні витрати.

Організація технологічного процесу

Технологічний процес у холодильнику включає такі етапи:

- приймання продукції;
- перевірка якості;
- охолодження або заморожування;
- зберігання;
- комплектування замовлень;
- відвантаження.

Рациональна організація цих процесів забезпечує високу продуктивність і зменшення втрат продукції.

Переваги розподільчих холодильників

Основними перевагами є:

- забезпечення безперервного холодильного ланцюга;
- зниження втрат продукції;
- підвищення якості та безпечності харчових продуктів;
- оптимізація логістичних процесів.

Сучасні тенденції розвитку

Серед сучасних напрямів розвитку розподільчих холодильників можна виділити:

- автоматизацію складських процесів;
- впровадження енергоефективних технологій;
- використання екологічно безпечних холодоагентів;
- інтеграцію з цифровими логістичними системами.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

Розподільчі холодильники є важливими об'єктами інфраструктури, що забезпечують ефективне функціонування системи зберігання і розподілу швидкопсувної продукції.

Їх ефективність залежить від правильного вибору конструктивних рішень, холодильного обладнання, організації технологічних процесів та рівня автоматизації. У сучасних умовах особлива увага приділяється енергоефективності, екологічності та цифровізації таких об'єктів.

Таким чином, раціональне проектування і експлуатація розподільчих холодильників дозволяє значно підвищити якість зберігання продукції та забезпечити стабільність постачання харчових продуктів споживачам. Даний розподільний холодильник забезпечуватиме нетривале зберігання заморожених продуктів, таких як свинячі м'ясні напівфабрикати і морські рибні продукти, а також зберігання охолоджених продуктів, таких як курячі стегенця, яйця і сир.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Визначення основних розмірів охолоджувальних приміщень холодильника

Згідно завданню необхідно спроектувати розподільчий холодильник загальною місткістю 800 тон, який буде розташований у м. Івано-Франківськ. Холодильник буде призначається для зберігання морожених і охолоджених вантажів, а саме: м'ясних напівфабрикатів при температурі -25°C (250т), мороженої риби при температурі -25°C (250 т), охолодженого курячого м'яса при температурі -2°C (200т), яйця і сир при температурі -2°C (100т).

Вантажний обсяг камери

$$V_b = \frac{G}{g_v} \left[\text{м}^3 \right] \quad (2.1)$$

де G - маса збереженого продукту, т;

g_v - норма завантаження одиниці вантажного обсягу, т/м³.

Приймаємо:

- свинячі напівфабрикати (1) в ящиках $g_v=0,6$ т/м³;
- риба морожена (2) $g_v=0,55$ т/м³;
- курячі стегенця (3) в ящиках $g_v=0,38$ т/м³;
- яйця (4) в ящиках $g_v=0,3$ т/м³;
- сир (5) в ящиках $g_v=0,45$ т/м³.

Т.ч., вантажний обсяг по видам вантажу складе:

$$V_{b1}=250/0.6=417 \text{ м}^3 \quad V_{b2}=250/0.45=556 \text{ м}^3$$

$$V_{b3}=200/0.38=526 \text{ м}^3 \quad V_{b4}=50/0.3=167 \text{ м}^3 \quad V_{b5}=50/0.45=111 \text{ м}^3$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вантажна площа визначається по формулі:

$$F_B = \frac{V_B}{h_B} [M^2], \quad (2.2)$$

де h_B - висота складування продукту, м.

Виходячи з орієнтовної будівельної висоти 6м при використанні в камерах як прилади охолодження повітроохолоджувачів приймаємо для камер збереження $h_B=4,5$ м.

$$F_{B1}=417/4.5= 93 \text{ м}^2$$

$$F_{B2}=556/4.5= 124 \text{ м}^2$$

$$F_{B3}=526/4.5= 117 \text{ м}^2$$

$$F_{B4}=167/4.5= 37 \text{ м}^2$$

$$F_{B5}=111/4.5= 25 \text{ м}^2$$

Будівельна площа камери

$$F_B = \frac{F_B}{\beta} [M^2] \quad (2.3)$$

де β - коефіцієнт використання будівельної площі камери.

Для середніх камер ($F_B=(50...300)\text{м}^2$) приймаємо $\beta=0,75$. Для малих камер $F_B \leq 50 \text{ м}^2$ приймаємо $\beta=0,7$.

$$F_{B1}=93/0.75= 124 \text{ м}^2$$

$$F_{B2}=124/0.75= 165 \text{ м}^2$$

$$F_{B3}=117/0.75= 156 \text{ м}^2$$

$$F_{B4}=37/0.7= 53 \text{ м}^2$$

$$F_{B5}=25/0.7= 36 \text{ м}^2$$

Приймаємо площі камер схову:

- свинячі напівфабрикати (1) – $144 \text{ м}^2(12*12)$;
- риба морожена (2) – $144 \text{ м}^2(12*12)$;
- курячі стегенця (3) – $144 \text{ м}^2(12*12)$;
- яйця (4) – $54 \text{ м}^2(9*6)$;
- сир (5) – $36 \text{ м}^2(6*6)$.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дійсна місткість камер:

- свинячі напівфабрикати $G_1=144 \cdot 0.75 \cdot 4.5 \cdot 0.6=292$ т;
- риба морожена $G_2=144 \cdot 0.75 \cdot 4.5 \cdot 0.45=219$ т;
- курячи стегенця $G_3=144 \cdot 0.75 \cdot 4.5 \cdot 0.38=185$ т;
- яйця $G_4=54 \cdot 0.7 \cdot 4.5 \cdot 0.3=51$ т;
- сир $G_5=36 \cdot 0.7 \cdot 4.5 \cdot 0.45=51$ т.

Дійсна сумарна місткість холодильника складе:

$$G_d=292+219+185+51+51=798 \text{ тон}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Вибір і розрахунок теплоізоляційної конструкції камер

3.1 Визначення коефіцієнта теплопередачі для перекриття холодильника

Для зовнішніх стін

$$k_{\text{зс}} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+t_k)} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (3.1)$$

де t_k – температура в камері, °С.

$$\text{Камери 1, 2} \quad k_{\text{нс}} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+(-20))} = 0.248 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

$$\text{Камери 3, 4, 5} \quad k_{\text{нс}} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+(-2))} = 0.369 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для стелі з горищем

$$k_{\text{хп}} = 1.05 \cdot k_{\text{нс}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right] \quad (3.2)$$

$$\text{Камера 1, 2} \quad k_{\text{хп}} = 1.05 \cdot 0.248 = 0.26 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

$$\text{Камера 3, 4, 5} \quad k_{\text{хп}} = 1.05 \cdot 0.369 = 0.387 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для внутрішніх стін і перегородок що відокремлюють охолоджувані приміщення від не охолоджуваних але і не опалювальних

$$k_{\text{но}} = 1.18 \cdot k_{\text{нс}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right] \quad (3.3)$$

Камера 1, 2 $k_{\text{но}} = 1.18 \cdot 0.248 = 0.293 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$

Камера 3, 4, 5 $k_{\text{но}} = 1.18 \cdot 0.369 = 0.435 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$

Для внутрішніх стін, перегородок і міжповерхових перекриттів, між охолоджуваними приміщеннями

$$k_{\text{вн}} = \frac{1}{2 + 0.07 \cdot \Delta t_{\text{п}}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (3.4)$$

де $\Delta t_{\text{п}}$ – різниця між температурами повітря більш теплого і холодного охолоджувальних приміщень по обидва боки огороження. Між камерами зберігання охолоджених та заморожених вантажів:

$$k_{\text{вн}} = \frac{1}{2 + 0.07 \cdot 18} = 0.31 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Між камерами з однакової температурою: $k_{\text{вн}}=0.5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$

Для підлоги приймаємо даний коефіцієнт згідно табл. 3.1 коефіцієнтів теплопередачі для підлоги, що обігрівається.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 Коефіцієнт теплопередачі для підлоги, що обігривається

Температура повітря в охолоджувальному приміщенні, °C	$k_p, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$
-20	0.23
-2	0.33

3.2 Визначення товщини теплоізоляційного матеріалу

Тепер знаючи величини коефіцієнтів теплопередачі, розраховуємо для кожної багатошарової огорожі товщину теплоізоляційного шару за формулою (3.5).

$$\delta_{iz} = \left[\frac{1}{k^*} - \left(\frac{1}{\alpha_3} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \cdot \lambda_{iz} \text{ [м]}, \quad (3.5)$$

де k^* - коефіцієнт теплопередачі відповідного огородження;

α_3, α_k - розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі із зовнішнього і внутрішнього боку огорожі. Приймаємо коефіцієнти тепловіддачу із табл. 3.2;

δ_i, λ_i - товщина і коефіцієнт теплопровідності кожного будівельного шару конструкції огорожі.

Приймають у залежності від обраної ізоляційної конструкції ;

λ_{iz} - розрахункове значення коефіцієнта теплопровідності вибраного ізоляційного матеріалу огорожі. Обраний матеріал пінополістирол ПСБ – С, $\lambda_{\text{ПСБ-С}}=0.035 \text{ Вт}/(\text{мК})$

Для урахування впливу теплопровідних включень в ізоляційному шарі розрахункове значення λ_{iz} визначають як:

$$\lambda_{iz} = (1.1 \dots 1.15) \cdot \lambda_{ПСБ-С} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{мК}} \right] \quad (3.6)$$

$$\lambda_{iz} = 1.1 \cdot 0.035 = 0.038 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$$

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти тепловіддачі біля поверхонь огороження холодильних камер

Огороження	α , Вт/(м ² К)
Зовнішні поверхні холодильника	23
Внутр. поверхні камер зберігання з повітряним охолодженням	9
Внутр. поверхні неохолоджуваних і опалювальних приміщень, що межують з холодильними камерами	8
Внутрішні поверхні камер холодильної обробки	11

Знаючи структуру і матеріал стіни, визначаємо товщину теплоізоляції по формулі (3.5) для кожної огорожі. Якщо збільшена товщина теплоізоляційного шару перевищує від одержаного на 5%, тоді визначаємо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі.

Для зовнішніх стін із структурою

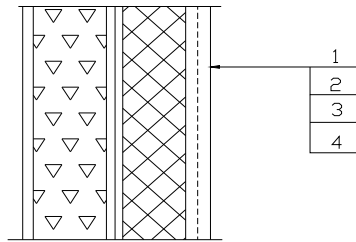


Рис. 3.1 – структура зовнішньої стіни

Таблиця 3.3 – Найменування матеріал шару, для зовнішніх стін.

№пп	Найменування	Товщина δ , м	Коеф. Теплопр-ті λ , Вт/(мК)
1	Штукатурка вапняна	0.02	0.75
2	Пінополістирол ПСБ-С		0.035
3	Два шару гідроізолу	0.004	0.25
4	Цегляна кладка	0.38	0.81

Камери 1, 2

$$\delta_{из} = \left[\frac{1}{0.248} - \left(\frac{1}{23} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{0.004}{0.25} + \frac{0.38}{0.81} + \frac{1}{9} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.13 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 150 мм (шар 100 мм та шар 50мм).

Дійсне значення коефіцієнта теплопередачі, оскільки збільшена товщина теплоізоляційного шару перевищує від одержаного на 5%.

$$k_d^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{0.004}{0.25} + \frac{0.38}{0.81} + \frac{1}{9} \right) + \frac{0.15}{0.038}} = 0.22 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Камери 3, 4, 5

$$\delta_{из} = \left[\frac{1}{0.369} - \left(\frac{1}{23} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{0.004}{0.25} + \frac{0.38}{0.81} + \frac{1}{11} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.08 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 100 мм,
(один шар 100 мм).

Дійсне значення коефіцієнта теплопередачі, оскільки збільшена товщина теплоізоляційного шару перевищує від одержаного на 5%.

$$k_d^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{0.004}{0.25} + \frac{0.38}{0.81} + \frac{1}{11} \right) + \frac{0.1}{0.038}} = 0.3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для стелі

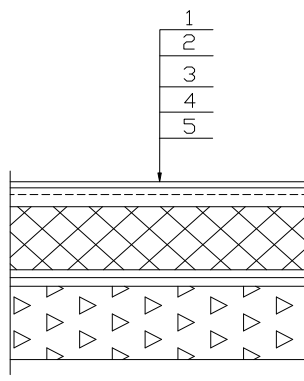


Рис. 3.2 – структура стелі

Таблиця 3.4 – Найменування матеріал шару, для стелі.

№пп	Найменування	Товщина δ , м	Коеф. Теплопр-ті λ , Вт/(мК)
1	П'ять шарів гідроізолю	0.012	0.3
2	Стяжка з бетону	0.04	1.8
3	Шар пергаменту	0.001	0.05
4	Пінополістирол ПСБ-С		0.035
5	Залізобетонна плита	0.3	2.04

Камери 1, 2

$$\delta_{iz} = \left[\frac{1}{0.26} - \left(\frac{1}{23} + \frac{0.012}{0.3} + \frac{0.04}{1.8} + \frac{0.001}{0.15} + \frac{0.3}{2.04} + \frac{1}{9} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.133 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 150 мм, (шар 100 мм та шар 50мм).

Дійсне значення коефіцієнта теплопередачі, оскільки збільшена товщина теплоізоляційного шару перевищує від одержаного на 5%.

$$k_d^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + \frac{0.012}{0.3} + \frac{0.04}{1.8} + \frac{0.001}{0.15} + \frac{0.3}{2.04} + \frac{1}{9} \right) + \frac{0.15}{0.038}} = 0.23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Камери 3, 4, 5

$$\delta_{iz} = \left[\frac{1}{0.387} - \left(\frac{1}{23} + \frac{0.012}{0.3} + \frac{0.04}{1.8} + \frac{0.001}{0.15} + \frac{0.3}{2.04} + \frac{1}{11} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.085 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 100 мм,
(один шар 100 мм).

Дійсне значення коефіцієнта теплопередачі, оскільки збільшена товщина теплоізоляційного шару перевищує від одержаного на 5%.

$$k_d^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + \frac{0.012}{0.3} + \frac{0.04}{1.8} + \frac{0.001}{0.15} + \frac{0.3}{2.04} + \frac{1}{11} \right) + \frac{0.1}{0.038}} = 0.33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для внутрішніх стін

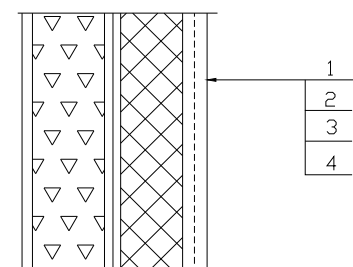


Рис. 3.3 – структура внутрішніх стін

Таблиця 3.5 – Найменування матеріал шару, для внутрішніх стін

№пп	Найменування	Товщина δ , м	Коеф. Теплопр-ті λ , Вт/(мК)
1	Пінобетон	0.25	0.37
2	Два шару гідроізолу	0.004	0.25
3	Пінополістирол ПСБ-С		0.035
4	Штукатурка вапняна	0.02	0.75

Камери 1,2

$$\delta_{iz} = \left[\frac{1}{0.293} - \left(\frac{1}{8} + \frac{0.25}{0.37} + \frac{0.004}{0.3} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{1}{9} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.093 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 100мм,
(один шар 100 мм).

Дійсне значення коефіцієнта теплопередачі, оскільки збільшена товщина теплоізоляційного шару перевищує від одержаного на 5%.

$$k_d^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + \frac{0.25}{0.37} + \frac{0.004}{0.3} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{1}{9} \right) + \frac{0.1}{0.038}} = 0.28 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Камери 3, 4, 5

$$\delta_{iz} = \left[\frac{1}{0.435} - \left(\frac{1}{8} + \frac{0.25}{0.37} + \frac{0.004}{0.3} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{1}{11} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.052 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 50мм (один шар 50 мм).

Для перегородок між охолоджуваними приміщеннями

Приймаємо, що всі внутрішні перегородки між камерами виконані аналогічно внутрішнім стінам.

$$\delta_{iz} = \left[\frac{1}{0.31} - \left(\frac{1}{8} + \frac{0.25}{0.37} + \frac{0.004}{0.3} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{1}{8} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.086 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 100мм (один шар 100 мм).

Дійсне значення коефіцієнта теплопередачі, оскільки збільшена товщина теплоізоляційного шару перевищує від одержаного на 5%.

$$k_d^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + \frac{0.25}{0.37} + \frac{0.004}{0.3} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{1}{8} \right) + \frac{0.1}{0.038}} = 0.28 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Теплоізоляцію підлоги приймаємо однаковою для всіх охолоджуваних приміщень. Як розрахункову, вибираємо наступну конструкцію:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

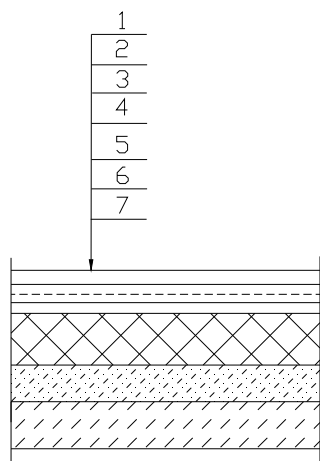


Рис. 3.4 – структура підлоги

Таблиця 3.6 – Найменування матеріал шару, для підлоги

№пп	Найменування	Товщина δ , м	Коеф. Теплопр-ті λ , Вт/(мК)
1	Монолітне бетонне покр.	0.04	1.86
2	Армобетоне стягування	0.08	1.86
3	Пергамін	0.001	0.15
4	Пінополістирол ПСБ-С		0.035
5	Цементний піщаний розчин	0.025	0.98
6	Пісок ущільнювача	0.6	0.58
7	Бетонна підгонка з електро-нагрівачами		

У розрахунку враховуємо лише шари лежачі вище за бетонну підгонку. Коефіцієнт теплопередачі поверхні підлоги, приймаємо однаковими з таблиці 3.2, для внутрішніх поверхонь камер.

Камери 1, 2

$$\delta_{iz} = \left[\frac{1}{0.23} - \left(\frac{1}{9} + \frac{0.04}{1.86} + \frac{0.08}{1.86} + \frac{0.001}{0.15} + \frac{0.025}{0.98} + \frac{0.6}{0.58} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.118 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 150мм. (Шар 100 мм та шар 50мм).

Дійсне значення коефіцієнта теплопередачі, оскільки збільшена товщина теплоізоляційного шару перевищує від одержаного на 5%.

$$k_d^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{9} + \frac{0.04}{1.86} + \frac{0.08}{1.86} + \frac{0.001}{0.15} + \frac{0.025}{0.98} + \frac{0.6}{0.58}\right) + \frac{0.15}{0.038}} = 0.19 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Камери 3, 4, 5

$$\delta_{из} = \left[\frac{1}{0.33} - \left(\frac{1}{11} + \frac{0.04}{1.86} + \frac{0.08}{1.86} + \frac{0.001}{0.15} + \frac{0.025}{0.98} + \frac{0.6}{0.58} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.068 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 100мм. (Один шар 100 мм)

Дійсне значення коефіцієнта теплопередачі, оскільки збільшена товщина теплоізоляційного шару перевищує від одержаного на 5%.

$$k_d^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{11} + \frac{0.04}{1.86} + \frac{0.08}{1.86} + \frac{0.001}{0.15} + \frac{0.025}{0.98} + \frac{0.6}{0.58}\right) + \frac{0.1}{0.038}} = 0.26 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Таблиця 3.7 – Характеристики стін холодильника

№пп	Найменування	Товщина ізоляції $\delta_{из}, \text{м}$	Товщина ог. $\delta_{ог}, \text{м}$	Коефіцієнт теплопередачі $k_d^*, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$
Камери збереження морожених вантажів				
1	Зовнішня стіна	0.15	0.404	0.22
2	Внутрішня стіна	0.1	0.274	0.28
3	Перегородка між камерами	0.1	0.274	0.28
4	Стеля	0.15	0.443	0.23
5	Підлога	0.15	0.746	0.19
Камери збереження охолоджених вантажів				
1	Зовнішня стіна	0.1	0.404	0.3
2	Внутрішня стіна	0.05	0.274	0.44
3	Стеля	0.1	0.443	0.33
4	Підлога	0.1	0.746	0.26

4 Розрахунок теплоприпливів

Загальне теплове навантаження на холодильне устаткування визначають підсумуванням усіх теплоприпливів за формулою (4.1).

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \text{ [Вт]}, \quad (4.1)$$

де Q_1 – теплоприпливи через огороження охолоджувальних об'єктів;

Q_2 – теплоприпливи від холодильної обробки вантажів, що перебувають в охолоджувальному об'єкті;

Q_3 – теплоприпливи, що надходять із зовнішнім повітрям при вентиляції охолоджувальних об'єктів;

Q_4 – теплоприпливи від різних джерел, що з'являються при експлуатації охолоджувальних об'єктів;

Q_5 – теплоприпливи від дихання охолоджених плодів і овочів при їхній холодильній обробці і збереженні, або теплоприпливи від інших хімічних реакцій усередині охолоджувального об'єкта.

Розрахунок теплоприпливів через огороження

$$Q_1 = Q_{1T} + Q_{1C} \text{ [Вт]}, \quad (4.2)$$

де Q_{1T} – теплоприпливи від різниці температур по обох боках огороження, визначається з виразу (4.3);

Q_{1C} – теплоприпливи від сонячного опромінення зовнішніх огорожень, визначається з виразу (4.4).

$$Q_{1T} = kF(t_3 - t_k) \text{ [Вт]}, \quad (4.3)$$

де k – розрахунковий коефіцієнт теплопередачі для даної огорожі;
 F – площа поверхні даної огорожі;
 t_3 – температура навколишнього середовища або сусіднього теплішого приміщення;
 t_k – температура охолоджуваного об'єкту.

Оскільки підлога обігривається і коефіцієнт теплопередачі постійний для всієї його площі, тоді $t_3 = 1^\circ\text{C}$.

$$Q_{1C} = kF\Delta t_c \text{ [Вт]}, \quad (4.4)$$

де Δt_c – надмірна різниця температур, що характеризує дію сонячної радіації в літній час, визначаємо за формулою (4.5).

Для розрахунку теплоприпливів крізь покриття з горищем приймаємо для даху $\Delta t_c = 10.5 \text{ K}$ для широти 49° .

$$\Delta t_c = p \frac{q_c \varepsilon_c}{\alpha_n} \text{ [}^\circ\text{C]}, \quad (4.5)$$

де p – коефіцієнт проникності, залежний від масивності огорожі, що опромінюється сонцем;

q_c – розрахункова напруга сонячної радіації для літнього періоду, приймаємо по табл.4.1;

ε_c – коефіцієнт поглинання сонячної радіації поверхнею огорожі, приймаємо по табл.5.2.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

α_3 – коефіцієнт тепловіддачі від нагрітої сонцем поверхні огорожі в навколишнє середовище, приймаємо по табл.3.1.

Приймаємо $p=0.75$, так як класична ізоляційно-будівельна конструкція огороження холодильника відноситься до масивних.

Таблиця 4.1 – Розрахункові напруги сонячного випромінювання для літнього періоду

Географічна широта (північна)	$q_c, \text{Вт/м}^2$			
	Горизонтальна плоска покрівля	Пд	Сх	З
49	789	384	384	461

Таблиця 4.2 – Коефіцієнти поглинання сонячного випромінювання різними матеріалами

Для стін		Для стелі	
Матеріал поверхні	ϵ_c	Матеріал поверхні	ϵ_c
Штукатурка світла	0.4	Руберойд	0.86

Розрахунок теплоприпливу через огороження для камери збереження зводимо в табл.4.3

Таблиця 4.3 – Розрахунок теплоприпливів через огороження камери збереження

	K, Вт/(м²К)	F, м²	tк, °C	tн, °C	Δtc, °C	Q1, Вт
Кам. №1						
Північ	0,22	75	-25	18	0	710
Захід	0,22	76,7	-25	30	6	1029
Південь	0,28	75	-25	-2	0	483
Схід	0,28	76,7	-25	-25	0	0
Підлога	0,19	159,8	-25	1	0	789
Стеля	0,23	159,8	-25	30	10,5	2407
Сумарні теплопритоки по камері №1, ΣQ1, Вт						5419
Кам. №2						
Північ	0,22	75	-25	18	0	710
Захід	0,28	76,7	-25	-25	0	0
Південь	0,28	75	-25	-2	0	483
Схід	0,22	76,7	-25	30	5	1012
Підлога	0,19	159,8	-25	1	0	789
Стеля	0,23	159,8	-25	30	10,5	2407
Сумарні теплопритоки по камері №2, ΣQ1, Вт						5402
Кам. №3						
Північ	0,44	41,9	-2	-2	0	0
Захід	0,3	36	-2	30	6	410
Південь	0,44	41,9	-2	-2	0	0
Схід	0,44	36	-2	-2	0	0
Підлога	0,26	41,9	-2	1	0	33
Стеля	0,33	41,9	-2	30	10,5	588
Сумарні теплопритоки по камері №3, ΣQ1, Вт						1031
Кам. №4						
Північ	0,44	71	-2	-2	0	0
Захід	0,44	75,7	-2	-2	0	0
Південь	0,3	71	-2	30	5	788
Схід	0,44	20,7	-2	18	0	182
Підлога	0,26	149,3	-2	1	0	116
Стеля	0,33	149,3	-2	30	10,5	2094
Сумарні теплопритоки по камері №4, ΣQ1, Вт						3181

Продовження таблиці 4.3

Кам. №5	K, Вт/(м²К)	F, м²	tк, °C	tн, °C	Δtс, °C	Q1, Вт
Північ	0,44	41,7	-2	-2	0	0
Захід	0,44	56,1	-2	-2	0	0
Південь	0,44	41,7	-2	18	0	367
Схід	0,3	56,1	-2	30	6	640
Підлога	0,26	65	-2	1	0	51
Стеля	0,33	65	-2	30	10,5	912
Сумарні теплопритоки по камері №5, ΣQ1, Вт						1969
Експ-ція						
Північ	0,44	41,9	-2	-2	0	0
Захід	0,3	39,7	-2	30	0	381
Південь	0,3	41,9	-2	30	5	465
Схід	0,44	39,7	-2	-2	0	0
Підлога	0,26	46,2	-2	1	0	36
Стеля	0,33	46,2	-2	30	10,5	648
Сумарні теплопритоки по експедиції, ΣQ1, Вт						1530

Розрахунок теплоприпливів від вантажів при їх холодильній обробці

$$Q_2 = \frac{G(h_1 - h_2)\tau_{\text{ц}}}{0.0864\tau_p} \text{ [Вт]}, \quad (4.6)$$

де G – добове додавання вантажу на холодильну обробку, т/доб. ;
 $(h_1 - h_2)$ – різниця ентальпій вантажу, відповідних початковій і кінцевій температурам продукту (кДж/кг).

$\tau_{\text{ц}}$ – тривалість циклу холодильної обробки, з урахуванням завантаження і вивантаження продукту, год;

τ_p – тривалість робочого періоду, тобто фактичний час, впродовж якого споживається холод, год.

Добове додавання вантажу у камери №1, №2 и №4 приймаємо 6%, в камери №3 и №5 8% від місткості камер.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо початкову температуру надходження вантажу в камеру збереження м'яса з рефрижераторів мінус 8 °С, тоді ентальпії вантажу будуть рівні для м'яса $h_1=42$ кДж/кг, $h_2=-10.8$ кДж/кг; для риби $h_1=44$ кДж/кг, $h_2=-12.2$ кДж/кг. Приймаємо початкову температуру надходження вантажу в камеру збереження охолоджених вантажів з рефрижераторів 0°С, тоді ентальпії вантажу будуть рівні для сиру $h_1=19.7$ кДж/кг, $h_2=14.3$ кДж/кг; для курячих стегенець $h_1=235.5$ кДж/кг, $h_2=98.8$ кДж/кг, для яєць $h_1=237$ кДж/кг, $h_2=230.2$ кДж/кг.

Камера №1: $Q_2=0.06 \cdot 292 \cdot (42+10.8)/0.0864=10706$ Вт

Камера №2: $Q_2=0.06 \cdot 219 \cdot (44+12.2)/0.0864=8547$ Вт

Камера №3: $Q_2=0.06 \cdot 185 \cdot (235-98.8)/0.0864=17497$ Вт

Камера №4: $Q_2=0.08 \cdot 51 \cdot (19.7-14.3)/0.0864=255$ Вт

Камера №5: $Q_2=0.08 \cdot 51 \cdot (237-230.2)/0.0864=321$ Вт

Теплоприпливи від тари

$$Q_{2T} = \frac{G_T(c_1 t_1 - c_2 t_2) \tau_{\text{ц}}}{0.0864 \tau_p} \text{ [Вт]} \quad (4.7)$$

де G_T – добове надходження тари на холодильну обробку, т/добу;
 c_1, c_2 – питомі теплоємності тари, при відповідних температурах, кДж/кг. Величину G_T приймаємо 10% від добового надходження продукту, (для картонної тари).

Питома теплоємність тари рівна 1.46 кДж/(кгК (для картонної тари).

Камера №1: $Q_{2T}=0.06 \cdot 0.1 \cdot 292 \cdot (1.46 \cdot (-8) - 1.46 \cdot (-25))/0.0864=503$ Вт

Камера №2: $Q_{2T}=0.06 \cdot 0.1 \cdot 219 \cdot (1.46 \cdot (-8) - 1.46 \cdot (-25))/0.0864=377$ Вт

Камера №3: $Q_{2T}=0.06 \cdot 0.1 \cdot 185 \cdot (1.46 \cdot 0 - 1.46 \cdot (-2))/0.0864=38$ Вт

Камера №4: $Q_{2T}=0.08 \cdot 0.1 \cdot 51 \cdot (1.46 \cdot 0 - 1.46 \cdot (-2))/0.0864=14$ Вт

Камера №5: $Q_{2T}=0.08 \cdot 0.1 \cdot 51 \cdot (1.46 \cdot 0 - 1.46 \cdot (-2))/0.0864=14$ Вт

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарні теплоприпливи при холодильній обробці вантажу:

Камера №1: $Q_2' = 10706 + 503 = 11209 \text{ Вт}$

Камера №2: $Q_2' = 8547 + 377 = 8924 \text{ Вт}$

Камера №3: $Q_2' = 17497 + 38 = 17535 \text{ Вт}$

Камера №4: $Q_2' = 255 + 148 = 403 \text{ Вт}$

Камера №5: $Q_2' = 321 + 14 = 335 \text{ Вт}$

Вентиляція в камерах схову розподільного холодильника не робиться, вентилується тільки приміщення експедиції.

Розрахунок теплоприпливів від вентиляції

$$Q_3 = \frac{20n\rho_k(h_n - h_k)}{3.6} [\text{Вт}], \quad (4.8)$$

де n – кількість людей одночасно працюючих ;

ρ_k – щільність повітря при температурі і відносній вологості охолоджуваного приміщення, кг/м^3 ;

$(h_n - h_k)$ - різниця ентальпії зовнішнього повітря (при розрахунковій температурі і відносній вологості) і ентальпії в приміщенні (при температурі і відносній вологості), кДж/кг .

При температурі -2°C $\rho_k = 1,3 \text{ кг/м}^3$.

Ентальпія зовнішнього повітря при відносній вологості 73% и температурі 30°C складе $h_n = 78 \text{ кДж/кг}$. Ентальпія внутрішнього повітря для експедиції при відносній вологості 85% и температурі мінус 2°C буде рівна $h_k = -6 \text{ кДж/кг}$.

$$Q_3 = \frac{20 \cdot 2 \cdot 1.3 \cdot (78 - (-6))}{3.6} = 1213 \text{ Вт}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок експлуатаційних теплоприпливів від різних джерел

До експлуатаційних відносять теплоприпливи різних за походженням джерел теплоти, що виникають при експлуатації охолоджуваних приміщень.

$$Q_4 = Q_4' + Q_4'' + Q_4''' + Q_4'''' \text{ [Вт]}, \quad (4.9)$$

де Q_4' – теплоприплив від електричного освітлення;

Q_4'' – теплоприплив від електричних двигунів;

Q_4''' – теплоприплив від працюючих людей;

Q_4'''' – теплоприплив від відкривання дверей.

Розрахунок теплоприпливу від електричного освітлення

$$Q_4' = q_4' \cdot j_{\text{св}} \cdot F_{\text{буд}} \text{ [Вт]}, \quad (4.10)$$

де $F_{\text{буд}}$ – будівельна площа охолоджувального приміщення;

$j_{\text{св}}$ – коефіцієнт одночасної роботи світильників. Приймаємо $j_{\text{св}}=0,33$ для трьохзонного освітлення;

q_4' – питома потужність світильників загального освітлення. Для складських приміщень приймаємо $q_4'=3 \text{ Вт/м}^2$.

Розрахунок теплоприпливу від електричних двигунів

$$Q_4'' = j_{\text{дв}} \Sigma N_{\text{дв}} \text{ [Вт]}, \quad (4.11)$$

де $j_{\text{дв}}$ – коефіцієнт одночасності роботи устаткування з електродвигунами ($j_{\text{дв}} = 0.4 \dots 1$). Приймаємо $j_{\text{дв}} = 0.4$.

$N_{\text{дв}}$ – розрахункова потужність електродвигуна, кВт.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так як розрахунок теплоприливів ведуть при проектуванні охолоджувального об'єкта, то на цьому етапі роботи ще не відомі потужності електродвигунів устаткування, у цьому випадку ведемо розрахунки по виразу (4.12).

$$\Sigma N_{\text{дв}} = 1.2(Q_1 + Q_2 + Q_3)m, \quad (4.12)$$

де $(Q_1 + Q_2 + Q_3)$ – сума розрахованих теплоприливів для даної камери;

m – коефіцієнт, зумовлений як відношення потужності електродвигуна до холодовидатності повітроохолоджувача.

Коефіцієнт m для камер збереження з повітряним охолодженням буде рівним $m=0.06$

Розрахунок теплоприливу від працюючих людей

$$Q_4''' = q_4''' n \text{ [Вт]}, \quad (4.13)$$

де q_4''' – тепловиділення однієї працюючої людини, Вт.

n – число працюючих.

Для камер збереження тепловиділення працюючої людини при роботі середньої важкості розрахуємо за формулою (4.13).

Число працюючих приймаємо $n=2$ так як $F_6 \leq 200 \text{ м}^2$.

$$q_4''' = 270 - 6t_k \quad (4.14)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок теплоприпливу при відкриванні дверей

$$Q_4''' = BF_{\text{дв}} \text{ [Вт]}, \quad (4.15)$$

де B – питома витрата холоду при відкриванні дверей, Вт/м².

При площі приміщення від 50 до 150 м² приймаємо для камер збереження заморожених продуктів и камери охолодження $B=7$ Вт/м².

Отриманні розрахунки заносимо в табл.4.4

Таблиця 4.4 – Розрахунок експлуатаційних теплоприпливів

	Кам№ 1	Кам№ 2	Кам№ 3	Кам№ 4	Кам№ 5	Експ-я
q_4' , Вт/м ²	3	3	3	3	3	7,5
$J_{\text{св}}$	0,33	0,33	0,5	0,33	0,5	1
$F_{\text{буд}}$, м ²	144	144	36	144	54	36
Q_4' , Вт	143	143	54	143	81	270
$j_{\text{дв}}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$\sum N_{\text{дв}}$, Вт	1197	1031	1337	258	166	197
Q_4'' , Вт	479	412	535	103	66	79
q_4''' , Вт	420	420	282	282	282	282
n	2	2	2	2	2	2
Q_4''' , Вт	840	840	564	564	564	564
B , Вт/м ²	5	5	9	7	9	23
Q_4'''' , Вт	720	720	324	1008	486	828
Q_4 , Вт	2181	2115	1477	1818	1197	1741

При визначенні навантаження на прилади, що охолоджують, приймаємо все теплоприпливи у розмірі 100%, на компресора – теплоприпливи експлуатаційні і від охолодження вантажу у розмірі 75%, останні у розмірі 100%.

Таблиця 4.5 – Навантаження на компресора і прилади, що охолоджують

	Q ₁ , Вт	Q ₂ , Вт	Q ₃ , Вт	Q ₄ , Вт	ΣQ ₀ , Вт	ΣQ _к , Вт
Камера №1	5419	11209	0	2181	18809	15462
Камера №2	5402	8924	0	2155	16481	13711
Камера №3	1031	403	0	1477	2911	2441
Камера №4	3181	17535	0	1818	22534	17696
Камера №5	1969	335	0	1197	3501	3118
Експедиція	1530	0	1213	1741	4484	4049

Загальне навантаження на компресора, що працюють на камері зберігання замороженої продукції: $\Sigma Q_k = 29.1$ кВт. Загальне навантаження на компресора, що працюють на камері зберігання охолодженої продукції и експедицію: $\Sigma Q_k = 27.3$ кВт

У камерах схову № 1 і 2 замороженої продукції розміщуємо по 3 повітроохолоджувача холодопродуктивністю по 6 кВт. У камері №4 розміщуємо 3 повітроохолоджувача холодопродуктивністю по 7.5 кВт. У камерах № 3 і 5, а також в приміщенні експедиції по одному повітроохолоджувачу холодопродуктивністю по 3кВт.

5 Тепловий розрахунок холодильної системи

Для відведення теплоти конденсації в даній холодильній системі використовуватимуться повітряні конденсатори. Температура конденсації для повітряних конденсаторів приймається на 10-12 К вище за розрахункову температуру зовнішнього повітря:

$$t_k = 32 + 10 = 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Як прилади охолодження в камерах будуть використані підвісні повітроохолоджувачі. Температура кипіння агента в таких апаратах приймається на 4-7 $^{\circ}\text{C}$ нижче за розрахункову температуру повітря в камері.

Для забезпечення роботи низькотемпературних повітроохолоджувачів в камерах схову мороженого м'яса і риби буде використана холодильна установка, що базується на двоступеневих компресорно-конденсаторних агрегатах марки Bitzer, з проміжним охолодженням пари шляхом безпосереднього уприскування. Агрегати будуть підібрані за спеціальною програмою підбору.

Для забезпечення роботи середнетемпературних повітроохолоджувачів в камерах схову охолоджених вантажів і в експедиції буде використана холодильна установка, що базується на одноступеневих компресорах марки Bitzer.

Компресора будуть використані напівгерметичні, тому сумарний перегрів на всмоктуванні приймаємо з урахуванням підігріву на обмотках компресора $\Theta = 20 \text{ K}$.

При роботі на хладоні R404a, який використовуватиметься як холодильний агент, немає необхідності в додатковому перегріві на всмоктуванні, для забезпечення безпечної роботи компресорів, тому регенеративний теплообмінник в системі відсутній.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тепловий розрахунок одноступеневої установки буде проводитись за наступними даними:

- температура кипіння R404a $t_0 = -7\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- потрібна холодопродуктивність $Q_{0\text{ комп}} = 27\text{ кВт}$;
- температура конденсації агента $t_k = 42\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- сумарний перегрів на всмоктуванні $\Theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- переохолодження після конденсатора $\Delta t_{\text{по}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

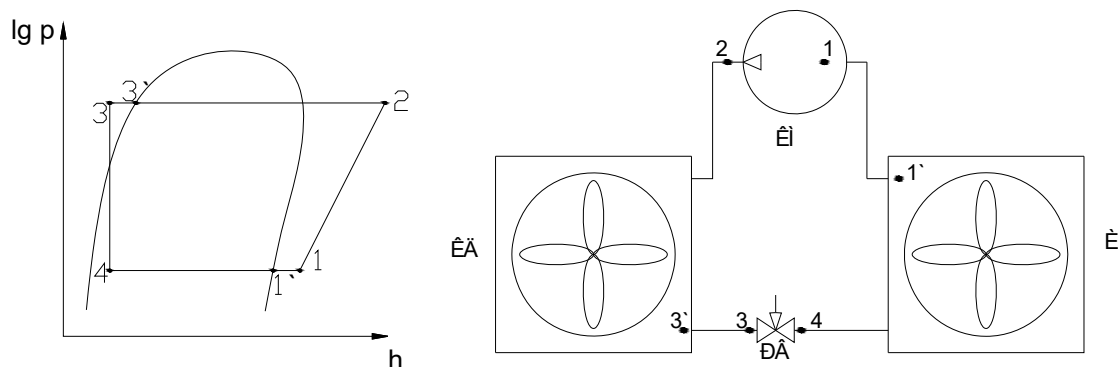


рис. 5.1 – Термодинамічний цикл і умовна схема холодильної машини

Процеси, відбиті в циклі:

- 1-2 – стискування в компресорі;
- 2-3 – конденсація;
- 3-4 – дроселювання агенту;
- 4-5 – кипіння у випарнику;
- 1'-1 – перегрівши на всмоктуванні;
- 3'-3 – переохолодження після конденсатора.

Таблиця 5.1 – Розрахункові дані циклу холодильної машини

	1'	1	2	3	4
$t, ^{\circ}\text{C}$	-7	14	80	38	-7.3
$P, \text{ бар}$	5	5	19	19	5
$h, \text{ кДж/кг}$	366	384	413	258	258
$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	-	0.045	-	-	

Питомі характеристики циклу:

- питома масова продуктивність:

$$q_0 = h_1 - h_4 = 366 - 258 = 108 \text{ кДж/кг} \quad (5.1)$$

- питома об'ємна продуктивність

$$q_v = q_0 / v_1 = 108 / 0.045 = 2400 \text{ кДж/м}^3 \quad (5.2)$$

- питома адіабатна робота стискування

$$l = h_2 - h_1 = 413 - 384 = 29 \text{ кДж/кг} \quad (5.3)$$

Масова витрата агента:

$$M_a = Q_0 / q_0 = 27 / 108 = 0.25 \text{ кг/с} \quad (5.4)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_d = M_a \cdot v_1 = 0.25 \cdot 0.045 = 0.011 \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.5)$$

Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda_c = 1 - 0.03 \cdot [(P_k / P_0)^{1/m} - 1] = 1 - 0.03 \cdot [(19/5) - 1] = 0.916 \quad (5.6)$$

$$\lambda'_w = (T_0 + \Theta) / (\alpha \cdot T_k + \beta \cdot \Theta) = (267 + 20) / (1.12 \cdot 315 + 0.5 \cdot 20) = 0.79$$

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda'_w = 0.916 \cdot 0.79 = 0.72$$

Об'єм, описаний поршнями компресора:

$$V_h = V_d / \lambda = 0.011 / 0.72 = 0.015 \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.7)$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = M_a \cdot l = 0.25 \cdot 29 = 7.25 \text{ кВт} \quad (5.8)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Індикаторний ККД компресора:

$$\eta_i = \lambda'_w + b \cdot t_0 = 0.79 - 6 \cdot 0.001 = 0.784 \quad (5.9)$$

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = N_a / \eta_i = 7.25 / 0.784 = 9.25 \text{ кВт} \quad (5.10)$$

Потужність тертя:

$$N_{тр} = V_h \cdot P_{тр} = 0.015 \cdot 40 = 0.6 \text{ кВт}, \quad (5.11)$$

де $P_{тр}$ - середній тиск тертя, для хладонових компресорів $P_{тр} = 40$ кПа.

Ефективна потужність компресора:

$$N_e = N_i + N_{тр} = 9.25 + 0.6 = 9.85 \text{ кВт} \quad (5.12)$$

Електрична потужність компресора:

$$N_{эл} = N_e / \eta_{эл} = 9.85 / 0.9 = 10.9 \text{ кВт}, \quad (5.13)$$

де $\eta_{элдв}$ - ККД електродвигуна компресора.

Таблиця 5.2 – Результати теплового розрахунку

Параметри	
Холодопродуктивність, кВт	27
Температура кипіння, °С	-7
Температура конденсації, °С	42
Перегрів, °С	20
Переохолодження в конденсаторі, °С	5
Тиск кипіння/конденсації, бар	5/19
Теор. об'єм, описаний поршнями, м³/с	0.025
Ефективна потужність компресора, кВт	9.85
Електрична потужність компресора, кВт	10.9

6 Розрахунок повітроохолоджувача

У розрахунку використовуються наступні дані:

- холодопродуктивність апарату $Q_0=6000$ Вт;
- температура повітря камери $t_k=-2$ °С;
- відносна вологість повітря камери $\phi_k=0.9$;
- швидкість повітря в живому перетині $V_B=3$ м/с;
- форма ребра – кругле;
- матеріал труб сталь $\lambda_{тр}=50$ Вт/(м·К), $d_H=0.02$ м, $d_{BH}=0.016$ м;
- матеріал ребр алюміній $\lambda_p=150$ Вт/(м·К),
- крок ребр $u=0.008$ м, висота ребра $h_p=0.02$ м, товщина ребра у підстави $\delta_{op}=0.002$ м, у вершини $\delta_{bp}=0.0006$ м діаметр ребра $D_p=0.063$ м;
- температура кипіння агенту (R 404a) $t_0=-7$ °С;
- товщина інію, що осів $\delta_i=0.0015$ м, $\lambda_i=0.2$ Вт/(м·К).

Розрахунок

Приймаємо по графіку залежності від t_k підохолодження в апараті $\Delta t=2$.

Температура на виході з апарату:

$$t_B=t_k-\Delta t=-2-2=-4$$
 °С

Середня температура повітря:

$$t_c=0.5 \cdot (t_k + t_B)=0.5 \cdot (-2-4)=-3$$
 °С

Задаємося середньою температурою поверхні ПО, покритою інієм:

$$t_H=-3.9$$
 °С.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По таблицях визначаємо вологовміст насиченого повітря при:

$$t_k - d_k'' = 0.0044 \text{ кг/кг}; t_{\Pi} - d_{\Pi}'' = 0.003 \text{ кг/кг}; t_B - d_B'' = 0.0038 \text{ кг/кг}.$$

Вологовміст повітря в камері при t_k по таблиці $d_k = 0.0039 \text{ кг/кг}$

Вологовміст на виході з повітроохолоджувача:

$$d_B = d_k - (d_k - d_{\Pi}'') \cdot (t_k - t_B) / (t_k - t_{\Pi}) \quad [\text{кг/кг}] \quad (6.1)$$

$$d_B = 0.0039 - (0.0039 - 0.003) \cdot (2 + 0) / (2 + 2.8) = 0.0035 \text{ кг/кг}.$$

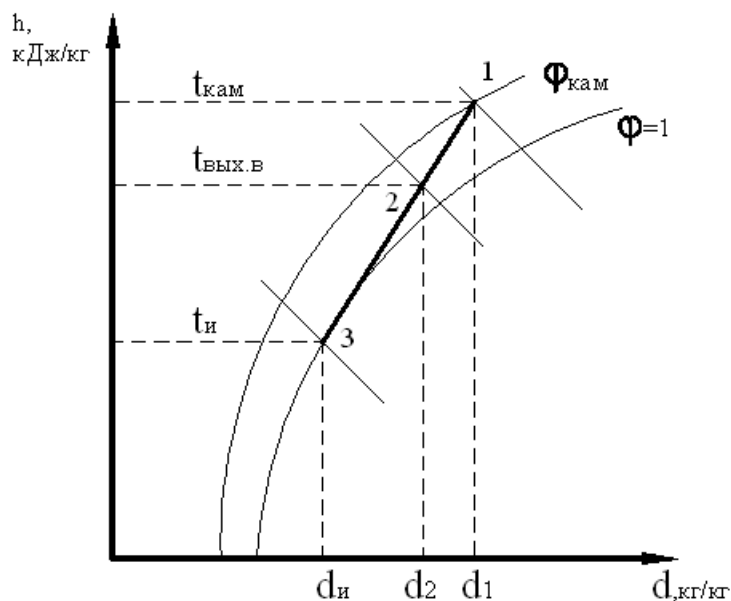


рис. 6.1 – Процес обробки повітря у повітроохолоджувачі в $h-d$ діаграмі.

Відносна вологість на виході з апарату:

$$\phi_B = d_B / d_B'' = 0.0035 / 0.0038 = 0.93$$

Ентальпія повітря визначається по формулі:

$$h = 1.006 \cdot t + (2835 + 2.09 \cdot t) \cdot d \quad [\text{кДж/кг}] \quad (6.2)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h_k = 1.006 \cdot 2 + (2835 + 2.09 \cdot 2) \cdot 0.0039 = 13.08 \text{ кДж/кг}$$

$$h_b = 1.006 \cdot 0 + (2835 + 2.09 \cdot 0) \cdot 0.0035 = 9.97 \text{ кДж/кг}$$

$$h_{\pi} = 1.006 \cdot (-2.8) + (2835 + 2.09 \cdot (-2.8)) \cdot 0.0038 = 5.61 \text{ кДж/кг}$$

Поперечний і подовжній крок труб при коридорній компоновці:

$$S_1 = S_2 = D_p + 2 \cdot \delta_i + 0.003 = 0.063 + 2 \cdot 0.0015 + 0.003 = 0.069 \text{ м}$$

Геометричні параметри прийнятого ребристого елементу.

Зовнішня поверхня ребра:

$$f_p = 0.5 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - d_n^2) + \pi \cdot D_p \cdot \delta_{вр} = 0.5 \cdot \pi \cdot (0.063^2 - 0.02^2) + \pi \cdot 0.063 \cdot 0.0006 = 5.7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

$$f_{тр} = \pi \cdot d_n \cdot (u - \delta_{ор}) = 3.14 \cdot 0.02 \cdot (0.008 - 0.0002) = 3.77 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Внутрішня поверхня труби ребристого елементу:

$$f_{вн} = \pi \cdot d_{вн} \cdot u = 3.14 \cdot 0.016 \cdot 0.008 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Повна зовнішня поверхня ребристого елементу:

$$f_{\pi} = f_p + f_{тр} = (5.7 + 3.77) \cdot 10^{-3} = 6.1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Коефіцієнт обребрення:

$$\beta = f_{\pi} / f_{вн} = 6.1 / 0.4 = 15.2$$

Ступінь обребрення:

$$\phi = f_{\pi} / (\pi \cdot d_n \cdot u) = 6.1 / (\pi \cdot 0.02 \cdot 0.008) = 12.14$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умовний ступінь обребрення:

$$\beta_n = f_n/f_{tr} = 6.1/0.38 = 16.19$$

Геометричні характеристики поверхні інею.

Зовнішня поверхня інею на ребрі:

$$\begin{aligned} f_{pi} &= 0.5 \cdot \pi \cdot [(D_p + 2 \cdot \delta_i)^2 - (d_n + 2 \cdot \delta_i)^2] + \pi \cdot (D_p + 2 \cdot \delta_i) \cdot (\delta_{vp} + 2 \cdot \delta_i) = 0.5 \cdot \pi \cdot \\ &\cdot [(0.053 + 2 \cdot 0.0015)^2 - (0.02 + 2 \cdot 0.0015)^2] + \pi \cdot (0.063 + 0.003) \cdot (0.0006 + 0.003) = \\ &= 6.8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Внутрішня поверхня інею на трубі між двома суміжними ребрами:

$$\begin{aligned} f_{tri} &= \pi \cdot (d_n + 2 \cdot \delta_i) \cdot (u - \delta_{op} - 2 \cdot \delta_i) = 3.14 \cdot (0.02 + 0.003) \cdot (0.008 - 0.0002 - 0.003) = \\ &= 2.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Повна зовнішня поверхня інею на ребристому елементі:

$$f_i = f_{tri} + f_{pi} = (6.8 + 0.22) \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Коефіцієнт обребрення поверхні, покритої інієм:

$$\beta_i = f_i / f_{вн} = 7/0.4 = 17.3$$

Площа `живого` перетину одного ребристого елемента з інієм:

$$\begin{aligned} f_{ж} &= (S_1 - d_n - 2 \cdot \delta_i) \cdot u - 2 \cdot h_p \cdot [0.5 \cdot (\delta_{vp} + \delta_{op}) + 2 \cdot \delta_i] = (0.069 - 0.02 - 0.003) \cdot 0.008 - \\ &- 2 \cdot [0.5 \cdot (0.0006 + 0.0002) + 0.003] = 4.4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Теплообмін з боку повітря.

Теплофізичні властивості повітря при t_c :

- кінематична в'язкість $\nu_b = 13.28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- коефіцієнт теплопровідності $\lambda_b = 0.0244 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- число Прандтля $Pr_b = 0.707$;
- щільність $\rho_b = 1.293 \text{ кг}/\text{м}^3$.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт вологовмісту визначається по формулі:

$$\xi = 1 + (d_k \cdot \varphi_k - d_n) \cdot (2835 - 2.09 \cdot t_n) / [(1.006 + 1.87 \cdot d_n) \cdot (t_k - t_n)] \quad (6.3)$$

$$\xi = 1 + (0.0044 \cdot 0.9 - 0.003) \cdot (2835 - 2.09 \cdot (-2.8)) / [(1.006 + 1.87 \cdot 0.003) \cdot (2 + 2.8)] = 1.073$$

По таблицях розрахункових залежностей для прийнятого типу трубного пучка ребристого елемента і відповідної сфери застосування вибираємо визначальний розмір і розрахункову залежність для визначення критерію Нуссельта.

Визначальний розмір:

$$L_0 = d_n / \beta_n + (1 - \beta_n^{-1}) [0.785 \cdot (D_p^2 - d_n^2)]^{0.5} \quad (6.4)$$

$$L_0 = 0.2 / 16.19 + (1 - 16.19^{-1}) [0.785 \cdot (0.063^2 - 0.02^2)]^{0.5} = 0.051 \text{ м}$$

Число Рейнольдса:

$$Re_B = w_B \cdot L_0 / \nu_B \quad (6.5)$$

$$Re_B = 3 \cdot 0.051 / (13.28 \cdot 10^{-6}) = 11498$$

Число Нуссельта:

$$Nu_B = 0.18 \cdot C_s \cdot C_z \cdot Re_B^{0.65 \cdot \beta_n^{0.07}} \cdot \beta_n^{-0.7} \quad (6.6)$$

Оскільки $S_2/d_n = 3.45 > 2$ і кількість труб по передумовах більше 4 шт, то коефіцієнти $C_s = C_z = 1$.

$$Nu_B = 0.18 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 11498^{0.65 \cdot 16.2^{0.07}} \cdot 16.2^{-0.7} = 41.3$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні повітроохолоджувача до повітря:

$$\alpha_B = Nu_B \cdot \lambda_B / L_0 \quad (6.7)$$

$$\alpha_B = 41.3 \cdot 0.0244 / 0.051 = 19.8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{B \text{ пр}} = [(\alpha_B \cdot \xi)^{-1} + \delta_i / \lambda_i]^{-1} \quad (6.8)$$

$$\alpha_{B \text{ пр}} = [(19.8 \cdot 1.073)^{-1} + 0.0015 / 0.2] = 18.3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Умовна висота ребра:

$$h' = h_p \cdot [1 + 0.35 \cdot \ln(D_p / d_n)] = 0.02 \cdot [1 + 0.35 \cdot \ln(0.063 / 0.02)] = 0.028 \text{ м}$$

Безрозмірний комплекс

$$mh' = [4 \cdot \alpha_{B \text{ пр}} / ((\delta_{вп} + \delta_{ор}) \cdot \lambda_p)]^{0.5} \cdot h' = 2 \cdot [18.3 / (0.008 \cdot 150)]^{0.5} = 0.384$$

Коефіцієнт ефективності ребра:

$$E = [\tanh(mh')] / mh' \quad (6.9)$$

$$E = [\tanh(0.384)] / 0.384 = 0.953$$

Коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддачі по висоті ребра:

$$\psi = 1 - 0.058 \cdot mh' = 1 - 0.058 \cdot 0.384 = 0.977$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елементу:

$$\alpha_{в\text{ пр}}' = \alpha_{в\text{ пр}} \cdot (f_p \cdot E \cdot \psi + f_{тр}) / f_{п} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})] \quad (6.10)$$

$$\alpha_{в\text{ пр}}' = 18.3 \cdot (0.0057 \cdot 0.953 \cdot 0.977 + 0.0004) / 0.006 = 17.1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби:

$$q_v = \alpha_v \cdot \xi \cdot \beta_i \cdot (t_c - t_{п}) \quad [\text{Вт}/\text{м}^2] \quad (6.11)$$

$$q_v = 17.1 \cdot 1.073 \cdot 17.34 \cdot (1 + 2.9) = 1436 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Коефіцієнт тепловіддачі в трубах апарату:

$$\alpha_0 = 32 \cdot \omega p^{0.47} \cdot q_v^{0.15} [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})] \quad (6.12)$$

де ωp – масова швидкість агента, по графіку залежності від щільності теплового потоку знаходимо $\omega p = 80 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$

$$\alpha_0 = 32 \cdot 80^{0.47} \cdot 1436^{0.15} = 747 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні інею:

$$K_{ні} = [\beta_i / \alpha_0 + 1 / \alpha_{в\text{ пр } i}' + \phi \cdot (0.5 \cdot (d_n - d_{вн}) / \lambda_t)]^{-1} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})] \quad (6.13)$$

$$K_{ні} = [17.34 / 747 + 1 / 17.1 + 12.14 \cdot (0.5 \cdot (0.02 - 0.016) / 50)]^{-1} = 12.19 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні сухої поверхні:

$$K_n = K_{ni} \cdot \beta / \beta_i = 12.19 \cdot 15.17 / 17.34 = 10.67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Перевіряємо раніше прийняту температуру поверхні апарату:

- щільність теплового потоку, віднесена до зовнішньої поверхні інею:

$$q_n = K_{ni} \cdot (t_c - t_0) = 10.67 \cdot (1 + 6) = 85.3 \text{ Вт/м}^2;$$

- розрахункова різниця температур:

$$\Delta t_p = q_n / (\alpha_v \cdot \xi) = 85.3 / (19.8 \cdot 1.073) = 4.02 \text{ }^\circ\text{C};$$

- відносна погрішність прийнятої і розрахункової різниці температур:

$$\varepsilon = |[\Delta t_p - (t_c - t_n)] / \Delta t_p| \cdot 100\% = |[4.02 - (1 + 2.9)] / 4.02| \cdot 100\% = 3 \%$$

Оскільки відносна погрішність задовольняє необхідній погрішності розрахунку (<5%), тоді шукана зовнішня поверхня повітроохолоджувача:

$$F_n = Q_0 / [K_n \cdot (t_c - t_0)] = 6000 / (10.67 \cdot 7) = 80 \text{ м}^2$$

Компонувальний розрахунок повітроохолоджувача.

Об'ємна витрата повітря через повітроохолоджувач:

$$V_v = Q_0 \cdot 10^{-3} / [\rho_v \cdot (h_k - h_v)] \quad (6.14)$$

$$V_v = 6 / [1.29 \cdot (13.08 - 9.99)] = 1.5 \text{ м}^3/\text{с}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По графіках характеристик вентиляторів вибираємо два вентилятора марки ВО-12-303-4 при орієнтовному натиску $H=120$ Па з діаметром вентилятора $D_B=0.4$ м.

Мінімальний `живий` перетин повітроохолоджувача:

$$F_{\text{ж}}=V_{\text{в}}/w_{\text{в}}=1.5/3=0.5 \text{ м}^2$$

Площа фронтального перетину повітроохолоджувача:

$$F_{\text{ф}}=F_{\text{ж}} \cdot S_1 \cdot u/f_{\text{ж}}=0.5 \cdot 0.069 \cdot 0.008/0.00044=0.67 \text{ м}^2$$

Перевіряємо забезпечення хорошого розподілу повітря $1.8 < e < 2.6$:

$$e=F_{\text{ф}}/(0.25 \cdot \pi \cdot D_B^2)=0.67/(0.5 \cdot 3.14 \cdot 0.4^2)=2.55$$

Орієнтовні геометричні розміри теплообмінної секції

повітроохолоджувача у фронтальному перетині:

- ширина $H'=(F_{\text{ф}}/2)^{0.5}=0.58$ м;

- довжина $L'=0.58 \cdot 2=1.16$ м

Число труб у фронтальному перетині пучка з округленням до парного

цілого: $z_1=H'/S_1=0.58/0.069=8.4$

Приймаємо дійсне число труб $z_1=8$ шт

Дійсна ширина і довжина секції:

$$H=z_1 \cdot S_1=8 \cdot 0.069=0.552 \text{ м}$$

$$L=F_{\text{ф}}/H=0.67/0.552=1.214 \text{ м}$$

Кількість труб по ходу повітря з округленням до найближчого

більшого цілого: $z_2=F_{\text{н}}/[f_{\text{п}} \cdot (F_{\text{ж}}/f_{\text{ж}})]=80/[0.0061 \cdot (0.582/0.00044)]=10$ шт

Розрахункові параметри теплообмінної поверхні:

- сумарна довжина труб апарату:

$$\Sigma L=L \cdot z_1 \cdot z_2=0.81 \cdot 8 \cdot 10=64.8 \text{ м};$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- площа зовнішньої поверхні:

$$F_d = \Sigma L \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot \beta = 97.2 \cdot 3.14 \cdot 0.016 \cdot 15.17 = 74.1 \text{ м}^2;$$

- глибина секції:

$$B = S_2 \cdot z_2 = 0.069 \cdot 10 = 0.69 \text{ м.}$$

Перевірка по аеродинамічному опору.

Аеродинамічний опір пучків обребрених труб з круглими ребрами визначається по формулі:

$$\Delta P = 0.26 \cdot C_Z \cdot C_L \cdot C_t \cdot (\omega p)^{1.92} \quad (6.15)$$

Еквівалентний діаметр: $d_3 = 2 \cdot [u \cdot (S_1 - d_n) - 2 \cdot \delta_p \cdot h_p] / (2 \cdot h_p + u) =$
 $= 2 \cdot [0.008 \cdot (0.069 - 0.02) - 2 \cdot 0.0013 \cdot 0.02] / (2 \cdot 0.02 + 0.008) = 0.014 \text{ м}$

Коефіцієнт, що враховує лінійні розміри ребер:

$$C_L = L_0^{0.22} / d_3^{0.3} = 0.051^{0.22} / 0.014^{0.3} = 1.87$$

Коефіцієнт, що враховує фізичні властивості повітря:

$$C_t = v_B^{0.08} / \rho_B^{0.92} = (13.28 \cdot 10^{-6})^{0.08} / 1.293^{0.92} = 0.322$$

Коефіцієнт, що враховує режим течії $C_Z = z_2$, оскільки $z_2 > 6$

Т.ч.

$$\Delta P = 0.26 \cdot 1.87 \cdot 0.322 \cdot 14 \cdot (3 \cdot 1.293)^{1.92} = 60 \text{ Па}$$

При виборі вентилятора натиск був прийнятий 120 Па, звідки витікає, що вибраний тип вентилятора забезпечить нормальну циркуляцію повітря через теплообмінну поверхню.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 Підбір компресорів, системи конденсації агенту і допоміжного устаткування. Розрахунок магістральних трубопроводів

7.1 Підбір компресорів і системи конденсації агенту

Середнетемпературна холодильна установка

Підбір компресорів здійснимо по потрібній холодопродуктивності на $Q_0=27$ кВт з параметрами роботи, представленими при тепловому розрахунку. Вибираємо два напівгерметичних поршневі компресори фірми Bitzer марки 4EC-4.2Y -40S (та один запасний) з холодопродуктивністю за даних умов $Q_0=13.87$ кВт.

Для відведення теплоти конденсації в даній холодильній системі використовуємо підлоговий повітряний конденсатор. Розрахункове теплове навантаження на один конденсатор за даними теплового розрахунку – $Q_k=37$ кВт.

Вибираємо повітряний конденсатор фірми Alfa-Laval марки ACS502C-T потужністю 37 кВт и витратою повітря 13 тис. м³/час, при розрахунковій температурі конденсації $t_k=42^{\circ}\text{C}$.

Низкотемпературна холодильна установка

Підбір компресорів здійснимо по потрібній холодопродуктивності на $Q_0=29$ кВт. Вибираємо 2-х ступеневий напівгерметичний поршковий компресор фірми Bitzer марки S6G-25.2Y-40P (та один запасний) з холодопродуктивністю за даних умов $Q_0=29.8$ кВт.

Для відведення теплоти конденсації в даній холодильній системі використовуємо підлоговий повітряний конденсатор. Розрахункове теплове навантаження на один конденсатор – $Q_k=42$ кВт.

Вибираємо повітряний конденсатор фірми Alfa-Laval марки ACS503A-T потужністю 42 кВт и витратою повітря 21.9 тис. м³/час, при розрахунковій температурі конденсації $t_k=42^{\circ}\text{C}$.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.2 Розрахунок магістральних трубопроводів

Дані для розрахунку параметрів стану агента приймаємо за даними теплового розрахунку і довідковим даним по агентові R404a. Діаметри труб приймаємо по таблицях сортаменту мідних і сталевих труб.

Об'ємна витрата агенту:

$$V_a = M_a / \rho, [\text{м}^3/\text{с}], \quad (7.1)$$

де ρ – щільність агенту за відповідних умов, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Діаметр трубопроводу, що розраховується:

$$d = 1.13 \cdot (V_a / w)^{0.5}, [\text{м}], \quad (7.2)$$

де w – орієнтовна швидкість агенту, що приймається виходячи з умов роботи трубопроводу, $\text{м}/\text{с}$.

Нагнітальний трубопровід для одного компресора:

При $t_2 = 80^\circ\text{C}$ и $P_k = 19$ бар – щільність агенту $\rho_2 = 86.6 \text{ кг}/\text{м}^3$.

$$V_a = 0.69 / 86.6 = 0.008 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.008 / 14)^{0.5} = 0.027 \text{ м}.$$

Приймаємо на нагнітанні мідну трубу 36×2.

Всмоктуючий трубопровід для одного компресора:

При $t_1 = -7^\circ\text{C}$ и $P_0 = 5$ бар визначаємо щільність агенту $\rho_1 = 24.4 \text{ кг}/\text{м}^3$.

$$V_a = 0.69 / 24.4 = 0.028 \text{ м}^3/\text{с}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_n = 1.13 \cdot (0.028/12)^{0.5} = 0.056 \text{ м.}$$

Приймаємо на всмоктуванні сталеву трубу 76×3.5.

Трубопровід на сливі від конденсаторів до ресивера:

При $t_3 = 38^\circ\text{C}$ и $P_k = 19$ бар визначаємо щільність агенту $\rho_3 = 964 \text{ кг/м}^3$.

$$V_a = 0.69 \cdot 3 / 964 = 0.0021 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.0021/1)^{0.5} = 0.052 \text{ м.}$$

Приймаємо на рідинному зливі сталеву трубу 57×3.5.

7.3 Підбір допоміжного устаткування

Лінійний ресивер призначений для рівномірної подачі рідкого агенту на пристрої, що дроселюють, і його зберігання у той час коли система не працює.

Лінійний ресивер для даної холодильної системи безпосереднього охолодження підбирається з розрахунку, що його об'єм складає не менше 60% об'єму повітроохолоджувачів. При цьому робоче заповнення ресивера складає 50%. Загальний внутрішній об'єм повітроохолоджувачів можна визначуваний виходячи їх конструктивних характеристик і числа повітроохолоджувачів.

Відповідно до правил техніки безпеки розрахунковий об'єм також збільшують на 20%, оскільки його заповнення не повинне перевищувати 80%.

Т.ч., місткість лінійного ресивера можна визначити як:

$$V_{\text{л}} = (0.6 \cdot V_{\text{исп}} / 0.5) \cdot 1.2 \quad (8.4)$$

Як лінійні ресивери використовують горизонтальні або вертикальні циліндрові судини. По місткості підбираємо горизонтальний ресивер марки

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 РВ , який може використовуватися при робочому тиску до 1.8 МПа в діапазоні температур від -15 до +47 °С. Обичайки ресивера зварні, запобіжні клапана мають умовний прохід D_y 15мм.

Віддільники рідини включають в систему для захисту компресора від попадання в них рідкого холодоагенту. Віддільник рідини повинен бути забезпечений автоматичними приладами, що вимикають компресор при небезпечній зміні рівня рідини в судині. У системах безпосереднього кипіння, при регулюванні заповнення приладів охолодження по перегріву пари при нормальній експлуатації, в судині не повинно бути рідини.

Рідина відділяється від пари унаслідок різкої зміни швидкості і напрямку руху холодильного агента. Швидкість пари в судині не повинна перевищувати 0.5 м/с. Він є зварною вертикальною циліндровою судиною, що має патрубки і штуцера для приєднання рідинної і парових ліній, зрівняльної лінії, автоматичних приладів і манометра. Судина розрахована на робочий тиск не більше 1,5 МПа в робочому діапазоні температур от -50 до +40 °С. Підбираємо віддільники рідини марки SR-208.

Масловіддільники призначені для відділення масла, що відноситься з компресорів разом з холодильним агентом. Підбір масловіддільників проводиться по діаметру нагнітального патрубка компресора. Вибираємо масловіддільники циклонного типу марки 25МО.

Мастилозбірник призначений для перепускання в нього масла з апаратів і подальшого видалення його з системи при низькому тиску. Він є зварною вертикальною циліндровою судиною, розрахованою на робочий тиск не більше 1,8 МПа в робочому діапазоні температур від -40 до +150 °С. Вибираємо мастилозбірник марки 10МЗС

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9 Охорона праці

Токсичність холодоагенту

Холодильна установка працює на холодоагенті R 404 А. Згідно стандартної класифікації шкідливих речовин встановлено 4 класи небезпеки, залежно від 7 показників токсичної дії, включаючи середню смертельну дозу для піддослідних тварин і гранично допустиму концентрацію в повітрі в робочій зоні.

Основний вигляд дії на організм людини - інгаляційна дія пари холодоагенту. В разі розгерметизації устаткування масова доля холодоагенту в повітрі за інших рівних умов пропорційна тиску і щільності його пари. При однакових ГДК і одній і тій же температурі, хладагента з вищим тиском насиченої пари і щільності, потрапляє в повітря робочої зони швидше і представляє велику небезпеку, чим хладагент з такими ж низькими параметрами. Тому реальну небезпеку хладагентів в умовах експлуатації доцільно характеризувати коефіцієнтом токсичної небезпеки.

Коефіцієнтом токсичної небезпеки (КТН) який є безрозмірна величина, що визначається відношенням щільності сухої насиченої пари хладагента при температурі 20 °С до ГДК, встановленої для повітря робочої зони.

Таблиця 9.1

Холодильний агент	ГДК мгм/м ³	ХТО * 10 ⁻³
R404A	3000	10

Класифікація виробництва за мірою вибухової , вибухово-пожежної, і пожежної небезпеки згідно ОНТП24-86 .

Так як всі приміщення хладонових установок по пожеже-небезпеці відносяться до категорії Д ,то приміщення фабрики також відносяться до цієї категорії . По мірі небезпеки поразки електричним струмом холодильні камери і машинні відділення хладонових установок відносяться до категорії приміщень з підвищеною небезпекою.

Таблиця 9.2 – Категорії приміщень по вибухово-пожежній і пожежній небезпеці

Категорія приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (що звертаються)в приміщенні
Д	Негорючі речовини і матеріали в холодному стані. Допускається відносити до категорії Д приміщення, в яких знаходяться ГЖ в системах мастила, охолодження і гідроприводу устаткування, в яких не більше 60 кг в одиниці устаткування при тиску не понад 0,2 мПа, кабельні електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів на місцях.

Визначення пожеже-небезпечних властивостей речовин і матеріалів виконується на підставі результатів випробувань або розрахунків по стандартних методиках з врахуванням параметрів стану (тиск, температура і т. д.).

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно нормативному документу «Правила пристрою і безпечної експлуатації хладонових холодильних установок». Категорія приміщень хладонових установок (машинні відділення, холодильні камери) по вибуховій, вибухово-пожежній і пожежній небезпеці, по мірі небезпеки поразки електричним струмом повинна відповідати Сніп 2.09.08-85 і вимогам ПУЕ (Правила устрою електроустановок). По вибухонебезпеці приміщення з хладоновими установками відносяться до не вибухо-небезпечних.

Об'ємно-планувальні рішення по розміщенню проектованої установки.

При розміщенні холодильного устаткування необхідно забезпечити зручність монтажу, обслуговування і ремонту холодильної установки і її елементів, компактність розташування устаткування, що дозволяє скоротити виробничу площу і довжину трубопроводів.

У компресорному цеху розташовано 5 компресорів, лінійний, дренажний ресивери. Розміри компресорного цеху $A \times B \times C = 6 \times 12 \times 4,8$ м. Два конденсатори з повтряним охолодженням, розташовані поза будівлею.

У машинному відділенні передбачається один вихід назовні. Компресори і апарати розміщують в приміщеннях заввишки 4,8 м.

Допускається розміщення хладонового устаткування у виробничих приміщеннях з іншим технологічним устаткуванням, за умови що в цих приміщеннях знаходяться робочі місця персоналу, який пройшов інструктаж по техніці безпеки хладонових холодильних установок.

Випробування судин, що працюють під тиском.

Для того щоб забезпечити стійку і безпечну експлуатацію судин, що працюють під тиском, їх піддають технічному огляду: внутрішній

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

огляд і гідравлічне випробування до введення в роботу, періодично в процесі експлуатації і достроково. Судини, зареєстровані в органах нагляду, перевіряються інспектором по котлонагляду. Під пробним тиском судина знаходиться 5 хвилин, після чого тиск поступово знижують до робочого, оглядають судину, перевіряють щільність його швів і роз'ємних з'єднань мильним розчином або іншим ефективним способом. Обстукування судини під тиском при пневматичному випробуванні небезпечно і заборонено.

При технічному огляді нових судин дозволяється не виробляти гідравлічне випробування, якщо з моменту такого випробування, проведеного на заводі-виробнику, не пройшло 12 місяців, якщо вони не були пошкоджені при транспортуванні і установці, а монтаж їх проводився без зварки або паяння елементів, що працюють під тиском.

Правилами встановлено, що судини, які знаходяться в експлуатації і зареєстровані в органах Держміськтехнагляду, інспектор піддає періодичному технічному огляду, у тому числі: внутрішньому огляду з метою виявлення стану внутрішніх і зовнішніх поверхонь і впливу середовища на стінки судин — не рідше за один раз в 4 роки;

гідравлічному випробуванню з попереднім внутрішнім оглядом — не рідше за один раз в 8 років, при цьому допускається використовувати воду або інші не корозійні, не ядовиті, не вибухонебезпечні, невяжучі рідини.

Після реконструкції і ремонту із застосуванням зварки або паяння окремих частин необхідний достроковий технічний огляд судин, що працюють під тиском; якщо судина перед пуском в роботу знаходилася в бездіяльності більше 1 року (за винятком випадків складської консервації, при якій огляд судин обов'язковий перед пуском в експлуатацію при зберіганні понад 3 роки). Внутрішній огляд судин, включених в системи з технологічним процесом, що безперервно діє, з не корозійним робочим середовищем, зупинка яких за умовами

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробництва неможлива, допускається поєднувати з капітальним ремонтом або заміною каталізатора, але не рідше за один раз в 4 роки.

Якщо в судині не виявиться ознак розриву, не буде теча і потіння в зварних швах, а при пневматичному випробуванні — пропуску газу (вихід води через заклепувальні шви у вигляді пилю або крапель «слізок» течєю не вважається), не будуть відмічені видимі залишкові деформації після випробувань, то можна визнати, що така судина витримала випробування.

Розрахунок запобіжного клапана

Масова витрата $G_a = 0,56 \text{ кг/с}$

Показник адіабати $B = 1,2$

Коефіцієнт витрати $\mu = 0,5$

Щільність речовини $\rho = 16 \text{ кг/м}^3$

Тиск спрацьовування клапана $P_1 = 2.5 \text{ мПа}$

Атмосферний тиск $P_2 = 1 \text{ мПа}$

Площа клапана

$$F = \frac{M}{B \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (P_1 - P_2)}} = \frac{0,56}{1,2 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 20 \cdot (2,5 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^6)}} = 1,2 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Діаметр клапана

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,2 \times 10^{-4}}{3,14}} = 0,026 \text{ м}$$

Підбираємо клапан типу СППКР ; Ду = 50 мм.

Методи визначення місць витоків холодильних агентів

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хладони володіють високою текучістю. Вони здатні проникати через щонайменші нещільності навіть крізь дрібні пори металу.

Обслуговуючий персонал не може виявити витік хладону безпосередньо за допомогою органів чуття, оскільки хладони, які застосовують як холодоагенти, при атмосферному тиску є безбарвним газом з дуже слабким запахом, який починає відчуватися лише при вмісті хладону в повітрі більш 20—30% за об'ємом.

Методи визначення місць витоків хладону :

- омилювання місць з'єднань елементів холодильної установки. В разі витoku хладону з'являються зростаючі міхури.

- визначення великого витoku хладагента по масляному підтоку в місці розгерметизації (у установках, що використовують хладони і мастила з хорошою взаємною розчинністю).

- визначення витoku за допомогою галоїдних ламп. Принцип дії галоїдних ламп заснований на тому, що продукти розкладання хладону у присутності розжареної міді забарвлюють безбарвне полум'я пальника і збільшують висоту факелу.

Контрольно-вимірюючі прилади. Вимоги до захисних пристроїв і арматури.

При роботі або знаходженні в недіючому стані холодильної установки тиск в будь-якій її частині не має бути вище допустимого.

Підвищення тиску має запобігти, або підвищений тиск має бути скинутий без практичного ризику для людей і довкілля (з обліком, зокрема, вимог ГОСТ Р 12.2.142 , ГОСТ Р 51360 і інших нормативних документів, що діють).

Для запобігання підвищенню тиску при роботі холодильної установки мають бути використані обмежувачі тиску різного типу:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- реле тиску з можливістю регулюванням налаштування тиску спрацьовування, що забезпечує можливість автоматичного повторного запуску установки;

- реле тиску з фіксованим тиском спрацьовування;

- реле тиску, що не допускає повторного автоматичного пуску установки (пуск установки в роботу здійснюється після зняття блокування фахівцем).

Манометри – прилади, призначені для виміру надлишкового, абсолютного і диференціального тиску або різниці тисків рідин і газів. Дія манометрів заснована на залежності ряду фізичних параметрів від тиску. За принципом дії прилади відносяться до рідинних.

Газосигналізатор - прилад для виявлення в повітрі різних газів і подачі світлового і звукового сигналів в разі виявлення. Газоаналізатори і газосигналізатори підрозділяються на стаціонарних і переносних.

Основні правила безпеки при обслуговуванні холодильної установки

Заправка холодильних установок хладагентом.

Перед заповненням холодильної установки хладагентом слід упевнитися в тому, що в балоні міститься відповідний хладагент.

Перевірка проводиться по величині тиску пари хладагента при температурі балона, рівній температурі навколишнього повітря.

Перед перевіркою балон повинен знаходитися в даному приміщенні не менше 6 годин. Залежність тиску хладагента від температури довколишнього повітря перевіряється по таблиці насиченої пари.

Забороняється заповнювати холодильну установку хладагентом, що не має документації, підтверджуючої його якість. Відкривати колпачкову гайку на вентилі балона необхідно в захисних окулярах.

При цьому вихідний отвір вентиля балона має бути направлений убік

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від працівника. При заповненні холодильної установки хладагентом слід користуватися осушним патроном.

Для приєднання балонів до холодильної системи дозволяється користуватися мідними трубами, що відпалюють, або маслобензостійкими шлангами, випробуванням тиском на міцність і щільність з врахуванням розділу 8 дійсних Правил.

Не допускається залишати балони з хладагентом, приєднаними до холодильної установки, якщо не виконується заповнення або видалення з неї хладагента. Заповнення хладагентом повністю агрегованих холодильних установок рекомендується виробляти в організації-виготовлювачі, якщо це не протіворечить документація на установку. Поповнення установок хладагентом повинне виконуватися відповідно до вимог, викладених в інструкції організації-виготовлювача, і лише після виявлення і усунення причин витоку хладагента.

Балони з хладагентом повинні зберігатися на спеціальному складі. У машинному відділенні дозволяється зберігати не більше одного балона з хладагентом. Балон забороняється поміщати біля джерел тепла (печі, опалювальні пристрої, парові труби і ін.) і токоведучих кабелів і дротів. Для наповнення хладагентом з холодильної системи повинні використовуватися лише балони з непротермінованою датою їх технічного огляду. Норма заповнення не повинна перевищувати допустимих значень, вказаних, зокрема, в Правилах пристрою і безпечної експлуатації судин, працюючих під тиском. Перевірка наповнення балонів повинна виконуватися зважуванням.

Первинне заповнення холодильної установки хладагентом повинне оформлятися актом (з додатком розрахунку необхідної кількості хладагента).

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електробезпека устаткування

Класифікація приміщень за мірою небезпеки поразки електричним струмом.

Відповідно до ПУЕ по мірі небезпеки поразки людей електричним виробничим приміщенням відноситься до приміщення з підвищеною небезпекою.

Вони характеризуються наявністю однієї з наступних умов:

- струмопровідний пил;
- токопровідна підлога (металеві, земляні и т. д.);
- висока температура (більш 35 °С);
- відносна вологість більш 75%;
- можливість одночасного дотику людини до металоконструкцій

будівель, технологічному устаткуванню, що має з'єднання із землею, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування - з іншого боку.

Правила розташування приборів пуску і зупинки електро – установок

Холодильні установки мають бути оснащені приборами ПАЗ, що зупиняють компресор або блокують його пуск досягнувши гранично допустимих значень параметрів, які контролюються.

Час спрацьовування захисту має бути таким, аби виключити небезпечний розвиток процесу.

Системи ПАЗ і системи управління повинні виключати їх спрацьовування від випадкових і короткочасних сигналів порушення нормального ходу процесу.

Холодильні установки в заданих випадках повинні забезпечувати:

- контроль за параметрами процесу і управління режимом для підтримки їх регламентованих значень;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- управління процесом відтавання (якщо це передбачено для систем безпосереднього охолодження);
- проведення операцій безпечного пуску, зупинки;
- видачу сигналу об аварії і інформацію, про несправність.

Холодильні установки у випадках, передбачених нормативною документацією (у тому числі вимогами ГОСТ Р 12.2.142, ГОСТ Р 51360), що діє, мають бути оснащені реле високого тиску, що зупиняє компресор при підвищенні тиску нагнітання до визначеної заданою величини.

Установки реле тиску не повинні перевищувати розрахункового тиску, але бути нижче, ніж для запобіжного клапана.

Живлення випарників (судин) рідким хладагентом виконується в необхідних випадках за допомогою автоматичних приладів і виконавчих механізмів.

Розрахунок заземлюючого пристрою

Розрахункове значення питомого опору ґрунту для

чорнозему $\rho_{\phi} = 30 \text{ Ом/м}$ [5]

Кліматичний коефіцієнт який враховує сезон коливань вологості ґрунту: $\psi = 1,1$ [5]

Розрахункове значення питомого опору ґрунту

$$\rho_p = \rho_{\phi} \cdot \psi = 30 \cdot 1,1 = 33 \text{ Ом/м}$$

Опір одного вертикального заземлювача

$$R_0 = \frac{\rho_p}{2\pi \cdot l} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right] = 6,75 \text{ Ом}$$

де ρ_p – розрахункове значення питомого опору ґрунту, Ом·м;

l – довжина заземлювача, м;

d – діаметр електрода, м;

t – відстань від поверхні до середини заземлювача, м.

$$t = t_0 + l/2, \text{ м}$$

$t_0 \geq 0,5$ – відстань від поверхні ґрунту до заземлювача, м.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $l = 2$ м, $d = 0.03$ м.

$$t = 0.5 \cdot 2 / 2 = 0.5 \text{ м}$$

$$R_0 = (33/2 \cdot 3.14 \cdot 2) \cdot [\ln(2 \cdot 2 / 0.03) + 0.5 \cdot \ln(4 \cdot 0.5 + 1) / (4 \cdot 0.5 - 1)] = 14.29 \text{ Ом}$$

Кількість вертикальних заземлювачів:

$$n = R_0 / R_{\text{потр}}, \text{ шт.}$$

де R_0 – опір одного вертикального заземлювача, Ом;

$R_{\text{потр}}$ – необхідний опір системи заземлення для електричних мереж змінного струму напругою до 1000 В, $R_{\text{потр}} \leq 4$ Ом.

Приймаємо $R_{\text{потр}} = 4$ Ом.

$$n = 14.29 / 4 = 3.57 \text{ шт}$$

Визначену кількість вертикальних заземлювачів округлюємо до найближчого стандартного значення $n' = 4$ шт.

Вибираємо систему розподілення заземлювачів – по контуру.

Опір системи вертикальних заземлювачів:

$$R_b = R_0 / (n' / \eta_b), \text{ Ом}$$

де n' – округлена кількість заземлювачів до найближчого стандартного, шт.; η_b – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів.

Приймаємо $\eta_b = 0.85$

$$R_b = 14.29 / (4 / 0.85) = 3.04 \text{ Ом}$$

Опір з'єднувальної смуги(шини):

$$R_r = (\rho_p / 2\pi \cdot L \cdot \eta_r) \cdot \ln(L^2 / t_0 \cdot d), \text{ Ом}$$

де ρ_p – розрахункове значення питомого опору ґрунту, Ом·м;

L – довжина смуги(шини), залежить від системи розподілу заземлювачів

- при розміщенні заземлювачів по контуру: $L = n' \cdot l'$, м

l' – відстань між заземлювачами; n' – округлена кількість заземлювачів до найближчого стандартного, шт.; η_r – коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів, приймаємо $\eta_r = 0.7$;

t_0 – відстань від поверхні ґрунту до заземлювача, м; $L = 4 \cdot 3 = 12$ м

$$R_r = (33/2 \cdot 3.14 \cdot 12 \cdot 0.7) \cdot \ln(12^2 / 0.5 \cdot 0.03) = 1.35 \text{ Ом}$$

Загальний опір системи заземлення:

$$R_{\text{сист}} = R_b \cdot R_r / R_b + R_r, \text{ Ом}$$

$$R_{\text{сист}} = 3.04 \cdot 1.35 / 3.04 + 1.35 = 0.93 \text{ Ом}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так як загальний опір системи $R_{\text{сист}}$ не перевищує необхідний опір $R_{\text{потр}}$, розрахунок скінчено.

Розробка захисту "Людина в камері"

У випадках, коли холодильні камери, в яких можуть знаходитися працівники, не відкриваються зсередини, їх слід обладнати ручною системою сигналізації "Людина в камері". Світові і звукові сигнали "Людина в камері" надходять в приміщення з постійним знаходженням працівників (диспетчерська, операторська, прохідна). Світлове табло "Людина в камері" спалахує зовні над дверима камери, в якій знаходиться людина.

Пристрої для подачі з камери сигналу обозначені показчиками, що світяться, з написом про недопустимості загромадження їх вантажами і надійно захищені від пошкоджень.

Пожежна профілактика

Протипожежні вимоги щодо конструкції приміщення та ступінь його вогнестійкості

Машинне і апаратне відділення хладонових установок відноситься до категорії Д – негорючі речовини і матеріали в холодному стані.

Згідно СНіП 2.09. 01-85, використовуваний матеріал відноситься до неспалюваного матеріалу.

Таблиця 9.3 – Ступінь вогнестійкості

Група займистості	Матеріали	Конструкції
Не спалювані	Під впливом вогню або високої температури не займаються, тліють або обвуглюються.	З не спалюваних матеріалів

Засоби пожежної автоматичної сигналізації.

Електричну пожежну сигналізацію складає встановлений на дільницях і цехах підприємства датчики, за допомогою яких сигнал передається на пункт зв'язку пожежної частини (команди) і приймальної станції, що забезпечує прийом сигналів. Обрана сигналізаційна димова пожежна установка СДПУ-1.

Протипожежний інвентар.

При гасінні пожеж піною широко застосовують генератори високо кратної піни (ГВП) і хімічні вогнегасники ЗХП-10.

Для розміщення первинних засобів пожежогасіння в виробничих будівлях і на території підприємства передбачають спеціальні пожежні щити з набором:

- пінних вогнегасників - 2,
- вуглекислотних вогнегасників – 1,
- ящиків з піском – 1,
- щільного полотна (волок, азбест) – 1,
- ломів – 2,
- багрів – 3,
- сокір – 2.

Розрахунок пожежного водоймища для запасу води

Площа підприємства $S_{\Pi} = 504 \text{ м}^2$

Коефіцієнт запасу $k = 1,1$

Витрата води на зовнішнє пожежогасіння $g = 10 \text{ л/с}$

Кількість одночасних пожеж $n_{\Pi} = 1$

Тривалість гасіння пожежі $\tau_{\Pi} = 2 \text{ години}$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єм пожежного водоймища

$$V_B = k \cdot g \cdot n_{\Pi} \cdot \tau_{\Pi} = 1,1 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 2 = 22 \text{ м}^3$$

Виробнича санітарія

Вентиляція.

Проектом передбачається припливна система вентиляції, при якій повітря подається в приміщення припливною системою, а видаляється витяжною; системи працюють одночасно. Система вентиляції розроблена у відповідності до СНіП 2.04.05-91У, параметри повітря: $t=16^{\circ}\text{C}$, $v=0,5 \text{ м/с}$, $\varphi=75\%$.

Побутові приміщення компресорного цеху мають окрему від машинного (апаратного) відділення систему вентиляції. Пристрої для пуску аварійної та витяжної вентиляції зовні заблоковані з пристосуваннями для включення електропостачання усього холодильного обладнання.

Визначаємо продуктивність припливної та витяжної вентиляції:

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

де k – кратність циркуляції, 1/год.

V - об'єм приміщення, м^3

Для хладонових холодильних установок кратність циркуляції:

припливна – 3 (1/год); витяжна – 4 (1/год); аварійна(поєднана з витяжною) – 4 (1/год);

$$V = 12 \cdot 6 \cdot 4.5 = 346 \text{ м}^3$$

$$L_{\text{пр}} = 3 \cdot 346 = 1038 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$L_{\text{вит}} = 4 \cdot 346 = 1384 \text{ м}^3/\text{год}$$

Задаємося опором повітряної мережі $H = 500 \text{ Па}$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знаходимо марки вентиляторів:

E2,5.100-2 – для припливної вентиляції

E2,5.105-2 – для витяжної вентиляції

Знаходимо потужність електродвигуна вентилятора:

$$N = (K \cdot L \cdot H \cdot 10^{-6}) / (3.6 \cdot \eta_{\text{вен}} \cdot \eta_{\text{прив}})$$

де K – коефіцієнт запасу.

Приймаємо K = 1.25

$\eta_{\text{вен}}$ – КПД вентилятора.

$\eta_{\text{вен}} = 0.76$ – для E2,5.100-2;

$\eta_{\text{вен}} = 0.6$ – для E2,5.105-2

$\eta_{\text{прив}}$ – КПД привода. $\eta_{\text{прив}} = 0.9$

$$N_{\text{пр}} = (1.25 \cdot 1620 \cdot 500 \cdot 10^{-6}) / (3.6 \cdot 0.76 \cdot 0.9) = 0.41 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{вит}} = (1.25 \cdot 2160 \cdot 500 \cdot 10^{-6}) / (3.6 \cdot 0.6 \cdot 0.9) = 0.69 \text{ кВт}$$

Освітлення. Розрахунок виробничого освітлення

Тривала робота при недостатньому освітленні призводить до зниження продуктивності і безпеки праці. Із-за неправильного освітлення утворюється глибокі і різкі тіні і інші не благодійні чинники, зір швидко стомлюється, що наводить до дискомфорту до підвищення небезпеки життєдіяльності (в першу чергу, до підвищення виробничого травматизму).

Основним завданням виробничого освітлення є підтримання на робочому місці освітленості, відповідної характеру зорової роботи. Збільшення освітленості робочої поверхні покращує видимість об'єктів за рахунок підвищення їх яскравості, збільшує швидкість розрізнення деталей.

Розрахунок виробничого освітлення компресорного цеху

Довжина цеха	$A_{ц}=6 \text{ м}$
Ширина цеха	$B_{ц} = 6 \text{ м}$
Висота цеха	$h_{ц} = 4,8 \text{ м}$
Висота робочої зони	$h_p = 2,5 \text{ м}$
Нормоване освітлення	$E_n = 150 \text{ лк}$

Тип освітлення ПВЛ

Висота підвісу світильника над робочою зоною

$$H_p = H - h_{роб.п} - h_{підв.}, \text{ м}$$

де H – висота приміщення, м;

$h_{роб.п}$ – висота робочої поверхні, м (у якості робочої поверхні приймається стіл, стандартна висота якого $h_{роб.п} = 0.75 \dots 0.8$, м);

$h_{підв}$ – висота підвішування світильника, м.

Приймаємо $h_{підв} = 2 \text{ м}$.

$$H_p = 4.8 - 0.8 - 1 = 3 \text{ м} \quad L_{ц} = 1.5 \cdot 3 = 4.5 \text{ м}$$

Кількість світильників в приміщенні

$$N = \frac{A_{ц} \cdot B_{ц}}{L_{ц}^2} = \frac{12 \cdot 6}{4.5^2} = 3,6 \text{ шт}$$

Приймаємо кількість світильників $N' = 4 \text{ шт}$

Індекс приміщення

$$I = \frac{A_{ц} \cdot B_{ц}}{H_p \cdot (A_{ц} + B_{ц})} = \frac{12 \cdot 6}{3 \cdot (12 + 6)} = 1.5$$

Світловий потік одного світильника

$$\Phi_p = \frac{E_n \cdot A_{ц} \cdot B_{ц} \cdot k \cdot z \cdot 100}{N' \cdot \eta}$$

де z - коефіцієнт мінімального освітлення, приймаємо $z = 1,1$

k - коефіцієнт запасу, приймаємо $k = 1,5$ [5];

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Задаємось значенням коефіцієнта віддзеркалення від стелі $\rho_{\text{п}}=50\%$ і коефіцієнта віддзеркалення від стін $\rho_{\text{с}}=30\%$, відповідно до типу світильника і отриманого індексу приміщення знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку ламп $\eta = 36$

$$\Phi_{\text{р}} = \frac{150 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 1.5 \cdot 1.1 \cdot 100}{4 \cdot 36} = 12375_{\text{лм}}$$

Приймаємо 4 люмінесцентні лампи марки ЛБ40.

Електрична потужність всієї освітлювальної системи:

$$P = N' \cdot n \cdot P_{\text{л}}, \text{ Вт}$$

де N' – округлена кількість світильників, шт.; n – кількість ламп в одному світильнику, шт.; $P_{\text{л}}$ – потужність однієї лампи, Вт.

$$P = 4 \cdot 4 \cdot 3120 = 49920 \text{ Вт}$$

Для перевірки правильності вибору марки лампи визначаємо відхилення дійсного світлового потоку від розрахункового:

$$\Delta = (\Phi_{\text{д}} - \Phi_{\text{р}} / \Phi_{\text{д}}) \cdot 100, \%$$

Допустимий діапазон відхилень $\Delta = -10\% \dots +20\%$

$$\Phi_{\text{д}} = 3120 \cdot 4 = 12480 \text{ лм}$$

$$\Delta = (12480 - 12375 / 12480) \cdot 100 = 0.8 \%$$

Долікарська допомога

Ураження хладоном:

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При наявності явищ роздратування слизистої оболонки рекомендується полоскання носа і глотки 2%-ним розчином соди або водою. При попаданні хладону в очі необхідно здійснити рясне промивання очей струменем чистої води. Потім слід до приходу лікаря надіти темні захисні окуляри. Не забинтовувати очі, не накладати на них пов'язок. При попаданні хладону на шкіру спостерігається процес її відмороження. В цьому випадку слід занурити уражену кінцівку в теплу воду (35...40 °С) на 5...10 хвилин або зробити загальну ванну (в разі поразки великої поверхні тіла). Шкіру після ванни осушити не розтиранням, а покладенням рушника, що добре вбирає воду. Після цього слід на пошкоджену ділянку накласти марлеву пов'язку або змастити його маззю. За відсутності мазі слід використовувати несолене вершкове масло або соняшникове. В випадку появи міхурів ні в якому разі їх не розкривати, а накласти марлеву пов'язку на міхури.

В машинному відділенні хладонової установки має бути аптечка із засобами для надання долікарської допомоги при поразці хладоном:

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Надання першої допомоги постраждалому від електричного струму.

Перша перед лікарська допомога у нещасних випадках від електричного струму складається з двох етапів: звільнення потерпілого від дії струму та надання йому медичної допомоги. Звільнення потерпілого від дії струму може бути здійснено кількома способами. Найбільш простий та правильний спосіб – це відключення відповідної частини електроустановки. Якщо відключення швидко зробити неможна через будь-які причини (наприклад, далеко розташований вимикач), можливо при напрузі до 1000 В перерубати дроти сокирою з дерев'яною рукояткою або відтягнути потерпілого від струмопровідної частини, тримаючись за його одяг, якщо він сухий, відкинути від нього дріт за допомогою дерев'яної палиці та ін. При напрузі більше 1000 В слід застосовувати діелектричні рукавиці, боти та в необхідних випадках ізолюючу штангу або ізолюючі кліщі, розраховані на відповідну напругу. Заходи першої медичної допомоги потерпілому від електричного струму залежать від його стану. Якщо потерпілий у свідомості, але до цього був в непритомності або тривалий час знаходився під струмом, йому необхідно забезпечити повний спокій до прибуття лікаря або терміново доставити до лікувальної установи.

За відсутності свідомості, але наявності дихання і роботи серця, потрібно рівно і зручно укласти постраждалого на м'яку підстилку, розстебнути пояс і одяг, забезпечити притоку свіжого повітря. Слід давати нюхати нашатирний спирт, окропляти потерпілого холодною водою, розтирати і зігрівати тіло.

Якщо постраждалий погано дихає або якщо дихання поступово погіршується, тоді як у всіх цих випадках продовжується нормальна робота серця, необхідно робити штучне дихання. За відсутності ознак життя треба робити штучне дихання і зовнішній масаж серця.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

Адміністрація підприємства повинна забезпечити належне технічне устаткування всіх робочих місць і створити на них умови роботи, відповідні правилам по охороні праці (правилам по техніці безпеки, санітарним нормам і правилам). Дотримання вимог охорони праці дозволяє звести до мінімальної вірогідності ураження або захворювання працюючого. Організація і поліпшення умов праці на робочому місці є одним з найважливіших резервів продуктивності праці і економічної ефективності виробництва, а також подальшого розвитку самої працюючої людини.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список джерел літератури

1. Апарати холодильних установок [Текст] : посіб. до проведення практ. занять та самост. роботи студентів / А. Ю. Лагутін. — Одеса : ОДАХ, 2006. — 60 с.
2. Апарати холодильних установок : посіб. до курсового проектування [Електронний ресурс] : для здобувачів освіти спец. 142 "Енергетичне машинобудування", галузі знань 14 "Електрична інженерія" / О. В. Зімін, О. М. Томчик ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2022. — 23 с.
3. Проектування поршневого компресора холодильних машин та теплових насосів [Електронний ресурс] : посібник для самост. роботи : для здобувачів вищої освіти за спец. 142 "Енергетичне машинобудування" / Л. І. Морозюк, В. В. Соколовська-Єфименко, Б. Г. Грудка, А. В. Мошкатюк ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Одеса, 2021. — Електрон. текст. дані: 113 с.
4. Холодильні установки. Проектування: Навч. посібник/І.Г. Чумак, А.Ю. Лагутін, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський та ін; за ред. докт. техн. н. проф. І.Г. Чумака.- 3-тє вид., перераб. та доп.- Одеса: Друк, 2007.- 480 с.
5. Холодильні установки [Текст] : підручник / І. Г. Чумак, В. П. Чепурненко, С. Ю. Лар'яновський, Е. Г. Парцхаладзе ; під заг. ред. І.Г. Чумака; Одес. держ. акад. холоду. — Одеса : Рефпринтінфо, 2003. — 536 с
6. Мнацаканов Г.К. Основи проектування холодильників [Текст] : навч. посіб. — Одеса : ОГАХ, 2006. — 58 с.
7. Кваліфікаційна робота : метод. вказівки до виконання та оформлення роботи для здобувачів СВО "Бакалавр" [Електронний ресурс] : спец. 142 "Енергетичне машинобудування", галузі знань 14 "Електрична інженерія" ден. та заоч. форм навчання / М. Г. Хмельнюк, Л. І. Морозюк, О. Ю.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Яковлева та ін. ; відп. за вип. М. Г. Хмельнюк ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2021. — 20 с.

8. Плодоовочесховища: проектування, оптимізація, розрахунки [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, В. П. Кочетов, А. В. Форсюк, Н. В. Жихарєва ; під заг. ред. М. Г. Хмельнюка ; Одес. нац. акад. харч. технологій, Нац. ун-т харч. технологій. — Одеса : Бондаренко М. О., 2018. — 228 с.

9. Холодильні установки спеціального призначення [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Херсон : Вид. Грінь Д.С., 2013. — 488 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 483.

10. Холодильні установки та сфери їх використання [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко, І. О. Подмазко ; під заг. ред. М. Г. Хмельнюка ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Херсон : Грінь Д.С., 2014. — 484 с. : іл.

11. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості [Текст] : навч. посіб. / О. С. Тітлов, С. Ф. Горикін. — Львів : Новий Світ-2000, 2012. — 286 с. : табл., рис. — (Вища освіта в Україні). — Бібліогр.: с. 219.

12. Хорольський В.П., Коренець Ю.М., Основи проектування холодильних систем: навчальний посібник — Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2023. 218 с.

13. Холодильні машини [Електронний ресурс] : конспект лекцій та посібник для самост. роботи : для студентів галузі знань 14 "Електрична інженерія", спец. 142 "Енергетичне машинобудування". Ч. 2 / Л. І. Морозюк, В. В. Соколовська-Єфименко, С. В. Гайдук, Б. Г. Грудка ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Одеса, 2017. — Електрон. текст. дані: 59 с.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.4.4	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		