

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



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

На тему: «Проект типового рішення холодильника для зберігання заморожених
напівфабрикатів місткістю 1000 тон»

Здобувача: Подоляна М.Л.

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

Подольян Микола Леонідович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Проект типового рішення холодильника для зберігання заморожених напівфабрикатів місткістю 1000 тон»
Затверджена наказом ОНТУ від № 499-03 від 26.09.25 р.
2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 19.06.26 р.
3. Вихідні дані роботи: Холодильник для зберігання заморожених напівфабрикатів місткістю 1000 тон, розташований у Хмельницькій області
4. Перелік питань, які потрібно розробити:
Постановка завдань проекту; Визначення розмірів, вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер; Визначення теплового навантаження камер;
Розрахунок повітроохолоджувача; Тепловий розрахунок холодильної системи;
Розрахунок магістральних трубопроводів; Підбір компресорів та допоміжного устаткування; Охорона праці.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
План холодильника; Розрізи по камерам зберігання; Схема холодильної машини;
Ескіз повітроохолоджувача.

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 проекту	01.02.- 15.02.2026 р.	виконано
2	Визначення розмірів, вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер	16.02.- 28.02.2026 р.	виконано
3	Розрахунок повітроохолоджувача	1.03.- 31.03.2026 р.	виконано
4	Тепловий розрахунок холодильної системи Розрахунок магістральних трубопроводів Підбір компресорів та допоміжного устаткування	01.04.- 15.04.2026 р.	виконано
5	Охорона праці	16.04.- 30.04.2026 р.	виконано
6	Розробка креслень проекту	01.05.-20.05.2026р.	виконано

Здобувач-дипломник _____ Подолян М.Л.

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 _____ Подолян Микола Леонідович

Анотація

к кваліфікаційної роботі бакалавра на тему

«Проект типового рішення холодильника для зберігання заморожених напівфабрикатів місткістю 1000 тон»

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

Метою роботи є розробка проекту типового рішення холодильника для зберігання заморожених напівфабрикатів місткістю 1000 тон.

У роботі проаналізовано особливості сучасних холодильних технологій зберігання заморожених напівфабрикатів. Розглянуто структуру холодильного ланцюга, яку можна застосувати для якісного зберігання м'ясних напівфабрикатів, починаючи з моменту забою худоби до моменту споживання або переробки. Спроековано типове рішення будівлі, підібрано теплоізоляційну конструкцію. Зроблено розрахунок теплопритоків в камери зберігання, підібрано систему повітророзподілу. Проведено тепловий розрахунок обраної холодильної машини, підібрано основне та допоміжне устаткування.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні холодильників, які призначено для зберігання заморожених напівфабрикатів.

Ключові слова: Холодильник, повітроохолоджувач, конденсатор, теплопритоки.

Abstract
for the Bachelor's Qualification Thesis on the topic
“Design of a Standard Refrigerated Storage Facility for Frozen Semi-Finished
Products with a Capacity of 1000 Tons”

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

The aim of the work is to develop a standard design solution for a refrigerated storage facility intended for frozen semi-finished products with a capacity of 1000 tons.

The thesis analyzes the features of modern refrigeration technologies for storing frozen semi-finished products. The structure of the cold chain that can be applied for high-quality storage of meat semi-finished products is considered, starting from the moment of livestock slaughter to the moment of consumption or processing. A standard building design solution has been developed, and a thermal insulation structure has been selected. Heat gain calculations for storage chambers have been carried out, and an air distribution system has been selected. A thermal calculation of the chosen refrigeration machine has been performed, and the main as well as auxiliary equipment has been selected.

The obtained results can be used in the design of refrigerated storage facilities intended for storing frozen semi-finished products.

Key words: refrigeration, air cooler, condenser, heat flow.

1 Постановка завдань проекту	7
2 Визначення розмірів, вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер	22
3 Визначення теплового навантаження камер	31
4 Розрахунок повітроохолоджувача	39
5 Тепловий розрахунок холодильної системи.....	51
6 Розрахунок магістральних трубопроводів.....	57
7 Підбір компресорів та допоміжного устаткування.....	59
8 Охорона праці	63
Список використаної літератури	

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.10			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Подольн М.Л.			Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Желіба Ю.О.					6	79
Реценз.						ОНТУ ХМ-741		
Н. Контр.		Желіба Ю.О.						

1 Постановка завдань проекту

Метою даної роботи є розробка холодильника для зберігання м'ясних напівфабрикатів місткістю 1000 т, розташованого в Хмельницькій області.

Холодильний ланцюг при зберіганні м'ясних напівфабрикатів

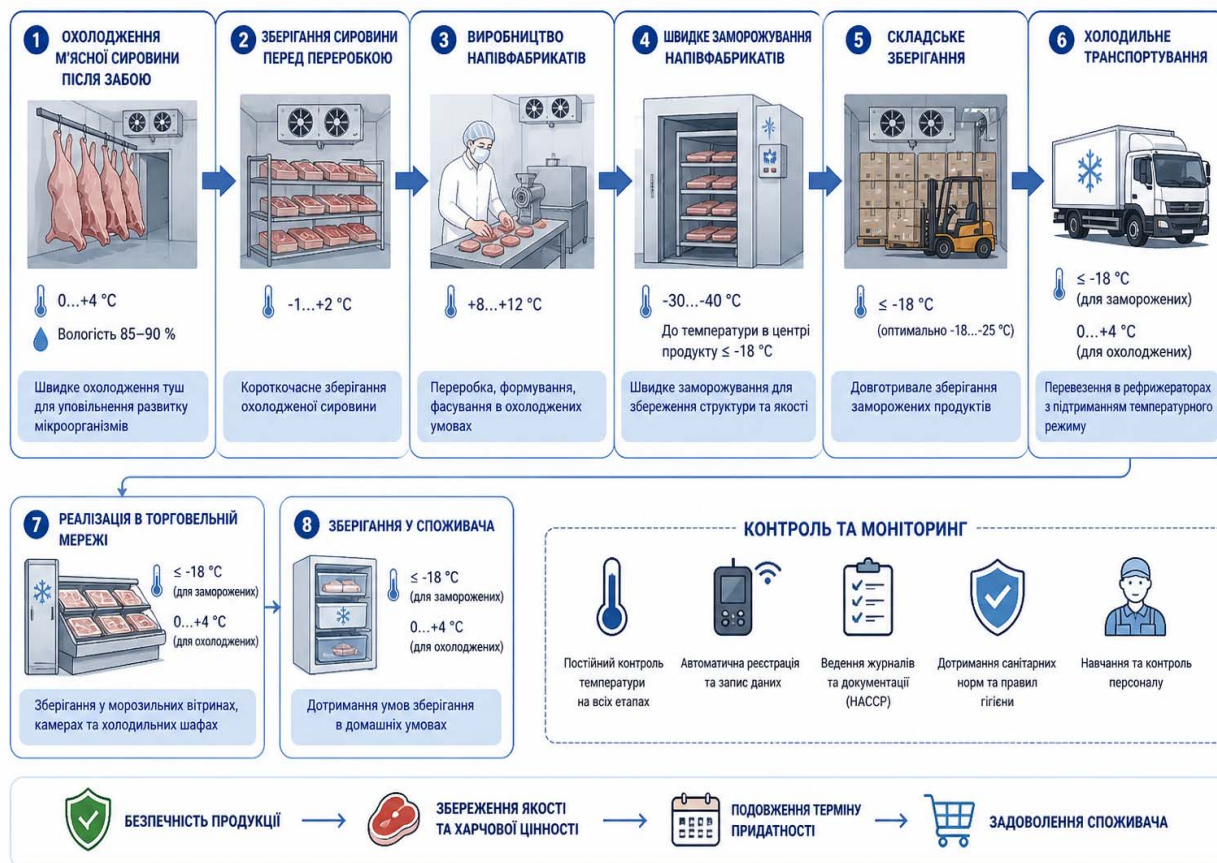
У сучасних умовах розвитку харчової промисловості особливого значення набуває забезпечення населення якісними та безпечними продуктами харчування. Однією з важливих категорій продовольчих товарів є м'ясні напівфабрикати, які користуються стабільним попитом завдяки зручності використання, швидкості приготування та високій поживній цінності. До цієї групи належать котлети, пельмені, тефтелі, фарш, відбивні, ковбаски для смаження, мариновані заготовки та інші продукти, що потребують подальшої кулінарної обробки.

М'ясна сировина є швидкопсувною, тому для збереження її якості необхідно забезпечити належний температурний режим на всіх етапах виробництва, транспортування, зберігання та реалізації. Саме для цього застосовується холодильний ланцюг — безперервна система підтримання встановленої температури від моменту отримання сировини до передачі готового продукту споживачу.

Правильно організований холодильний ланцюг дозволяє мінімізувати втрати маси, зберегти смакові властивості, харчову цінність і мікробіологічну безпечність м'ясних напівфабрикатів. Порушення хоча б одного з етапів цього ланцюга може призвести до погіршення якості продукції, розвитку патогенної мікрофлори та економічних збитків.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СХЕМА ХОЛОДИЛЬНОГО ЛАНЦЮГА ДЛЯ М'ЯСНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ



Значення холодительного ланцюга

Холодительний ланцюг являє собою комплекс взаємопов'язаних технологічних операцій, спрямованих на забезпечення безперервного охолодження або заморожування продукції. Для м'ясних напівфабрикатів це особливо важливо, оскільки м'ясо містить велику кількість вологи, білків і жирів, що створює сприятливе середовище для розвитку мікроорганізмів.

Основними завданнями холодительного ланцюга є:

- збереження свіжості продукції;
- уповільнення біохімічних процесів;
- пригнічення розвитку бактерій;
- зменшення втрат маси;
- продовження термінів придатності;
- забезпечення санітарної безпеки;
- стабілізація товарного вигляду продукції.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Особливе значення холодильний ланцюг має для підприємств, які працюють із великими обсягами м'ясної продукції та постачають товари на значні відстані.

Основні етапи холодильного ланцюга

Холодильний ланцюг для м'ясних напівфабрикатів складається з кількох послідовних етапів:

- Охолодження м'ясної сировини після забою.
- Зберігання сировини перед переробкою.
- Виробництво напівфабрикатів у охолоджених приміщеннях.
- Швидке заморожування або охолодження готової продукції.
- Складське зберігання.
- Транспортування в ізотермічному транспорті.
- Реалізація в торговельній мережі.
- Зберігання у споживача.

Кожен із перелічених етапів повинен забезпечувати дотримання встановлених температурних режимів.

Охолодження сировини

Після забою тварин температура м'яса наближається до температури тіла живої худоби. Якщо не провести швидке охолодження, у тканинах починають активно розвиватися мікроорганізми. Тому туші або частини туш направляють у камери попереднього охолодження.

Зазвичай температура в таких камерах становить від 0 до +4 °С, а відносна вологість повітря підтримується на рівні 85–90 %. Охолодження дозволяє знизити температуру м'яса до нормативного значення та підготувати його до подальшої переробки.

Для пришвидшення процесу використовують примусову циркуляцію холодного повітря. Тривалість охолодження залежить від маси туш, виду м'яса та параметрів повітряного середовища.

Зберігання сировини перед переробкою

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Охолоджене м'ясо може певний час зберігатися до моменту переробки. Для цього використовують холодильні камери короточасного зберігання. Температура підтримується в межах від -1 до +2 °С.

Тривале зберігання охолодженого м'яса небажане, оскільки навіть за низьких температур відбуваються повільні процеси псування. Саме тому сучасні підприємства прагнуть скоротити час перебування сировини на складі та швидко направляти її у виробництво.

Виробництво напівфабрикатів

На стадії виготовлення м'ясних напівфабрикатів важливо підтримувати низьку температуру в технологічних цехах. Зазвичай вона становить від +8 до +12 °С, а для окремих операцій — нижче.

Під час обвалювання, жилювання, подрібнення, формування фаршу та фасування температура сировини не повинна підвищуватися понад допустимі межі. Для цього використовують:

- кондиціонування повітря;
- охолоджувачі столи;
- холодильне обладнання;
- льодогенератори;
- швидку подачу продукції між операціями.

Недотримання температурного режиму під час виробництва негативно впливає на консистенцію фаршу, скорочує термін придатності та погіршує якість готової продукції.

Заморожування готових напівфабрикатів

Одним із найважливіших етапів холодильного ланцюга є заморожування. Воно дозволяє значно продовжити термін зберігання продукції. Найкращі результати досягаються при швидкому заморожуванні.

Для м'ясних напівфабрикатів застосовують:

- тунельні морозильні апарати;
- спіральні морозильники;
- плиткові апарати;

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- камери інтенсивного заморожування.

Температура повітря в таких установках може становити від -30 до -40 °С. Швидке проходження зони кристалізації води сприяє утворенню дрібних кристалів льоду, що менше пошкоджують структуру тканин.

Після завершення заморожування температура в центрі продукту повинна досягати не вище -18 °С.

Складське зберігання

Заморожені м'ясні напівфабрикати зберігають у низькотемпературних холодильниках при температурі -18 °С або нижче. Для довготривалого зберігання іноді застосовують температуру -25 °С.

Основні вимоги до камер зберігання:

- стабільна температура;
- рівномірний розподіл холоду;
- мінімальна кількість відкривань дверей;
- санітарна чистота;
- контроль вологості;
- правильне штабелювання продукції.

При порушенні температурного режиму можуть виникати повторне підморожування, злипання продукції, висихання поверхні та погіршення якості упаковки.

Холодильне транспортування

Перевезення м'ясних напівфабрикатів здійснюється у рефрижераторах або ізотермічних автомобілях із холодильними установками. Перед завантаженням кузов повинен бути попередньо охолоджений.

Температура перевезення для заморожених продуктів зазвичай становить не вище -18 °С, а для охолоджених — від 0 до +4 °С.

Сучасний транспорт обладнується:

- датчиками температури;
- системами реєстрації даних;
- вентиляцією;

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- теплоізоляційними панелями;
- автономними холодильними агрегатами.

Під час перевезення важливо не перевантажувати кузов і забезпечувати вільну циркуляцію повітря між упаковками.

Реалізація в торговельній мережі

Після доставки продукція надходить у магазини, супермаркети або склади дистрибуції. Тут холодильний ланцюг продовжується за допомогою морозильних вітрин, камер та шаф.

Температура зберігання повинна відповідати вимогам виробника. Для заморожених напівфабрикатів вона не повинна перевищувати -18 °С.

Особливу небезпеку становлять часті відкривання морозильних вітрин, перевантаження полиць та порушення циркуляції повітря.

Зберігання у споживача

Останнім етапом холодильного ланцюга є домашнє зберігання продукції. Споживач повинен якнайшвидше доставити товар додому та помістити його в морозильну камеру.

Повторне заморожування після розморожування небажане, оскільки воно погіршує якість продукту та може бути небезпечним.

Контроль холодильного ланцюга

Для ефективної роботи системи необхідно здійснювати постійний контроль. Він включає:

- вимірювання температури;
- ведення журналів обліку;
- автоматичний моніторинг;
- перевірку справності обладнання;
- санітарний контроль;
- навчання персоналу.

На сучасних підприємствах застосовуються цифрові системи НАССР та дистанційний контроль параметрів зберігання.

Типові порушення холодильного ланцюга

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найпоширенішими проблемами є:

- затримка охолодження після виробництва;
- несправність холодильного обладнання;
- перевантаження камер;
- часте відкривання дверей;
- неправильне транспортування;
- зберігання при нестабільній температурі;
- порушення герметичності упаковки.

Такі недоліки призводять до скорочення терміну придатності, фінансових втрат і ризику харчових отруєнь.

Перспективи розвитку

Сучасні тенденції розвитку холодильного ланцюга пов'язані з автоматизацією та енергоефективністю. Активно впроваджуються:

- інтелектуальні системи моніторингу;
- енергозберігаючі компресори;
- екологічні холодоагенти;
- роботизовані склади;
- GPS-контроль транспорту;
- цифрове відстеження партій продукції.

Це дозволяє зменшити витрати, підвищити безпечність і забезпечити стабільну якість м'ясних напівфабрикатів.

Холодильний ланцюг при зберіганні м'ясних напівфабрикатів є необхідною умовою забезпечення їхньої якості, безпечності та тривалого терміну придатності. Він охоплює всі стадії руху продукції — від охолодження сировини після забою до зберігання у споживача.

Безперервне дотримання температурного режиму дає можливість зберегти поживні властивості м'яса, запобігти розвитку мікрофлори та мінімізувати економічні втрати. У сучасних умовах розвитку харчової промисловості вдосконалення холодильного ланцюга залишається одним із

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ключових напрямів підвищення ефективності виробництва та якості харчових продуктів.

Відповідно завданню обираємо, що на підприємстві будуть зберігатися м'ясні курячі напівфабрикати.

Двофазне заморожування курячих напівфабрикатів є сучасним технологічним методом холодильної обробки продукції, який широко застосовується на підприємствах харчової промисловості. Його суть полягає у послідовному проходженні двох стадій охолодження: попереднього зниження температури продукту та подальшого глибокого заморожування до нормативного рівня. Такий підхід дозволяє підвищити якість готової продукції, скоротити втрати маси, покращити мікробіологічну безпечність і забезпечити стабільні умови тривалого зберігання.

Курячі напівфабрикати належать до швидкопсувних продуктів, оскільки містять значну кількість вологи, білків і поживних речовин, що створює сприятливе середовище для розвитку мікроорганізмів. До цієї категорії відносять філе, стегна, гомілки, крила, фарш, нагетси, котлети, мариновані заготовки та інші вироби, які надалі потребують термічної кулінарної обробки. Для збереження свіжості та харчової цінності такої продукції необхідно швидко знизити температуру після виробництва та запобігти псуванню.

Першою фазою двофазного заморожування є попереднє охолодження продукції. Після формування, фасування або пакування напівфабрикати мають температуру, близьку до температури виробничого приміщення, яка часто становить від +8 до +15 °С. Якщо одразу направити продукцію на глибоке заморожування, це може спричинити перевантаження морозильного обладнання та нерівномірне промерзання виробів. Саме тому на першому етапі продукцію поміщають у камери інтенсивного охолодження, де температура повітря зазвичай підтримується в межах від 0 до -5 °С.

У процесі попереднього охолодження температура напівфабрикатів поступово знижується до значень, близьких до точки кристалізації тканинної

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вологи. Для курячого м'яса ця межа становить приблизно від -1 до -2 °С. На цьому етапі важливу роль відіграє швидкість руху повітря, правильне розміщення продукції та рівномірність температурного поля в камері. Охолодження дає можливість зменшити теплове навантаження на другу стадію процесу та підготувати продукт до інтенсивного заморожування.

Другою фазою є безпосереднє глибоке заморожування. Попередньо охолоджені напівфабрикати надходять у морозильні апарати або низькотемпературні камери, де температура повітря може становити від -25 до -40 °С залежно від виду обладнання. У цей період відбувається перехід більшої частини вологи у твердий стан, а температура в центрі продукту поступово досягає нормативного значення, зазвичай не вище -18 °С.

Основною перевагою двофазного методу є можливість проходження критичної зони кристалізації за відносно короткий час. Саме в діапазоні температур від 0 до -5 °С утворюються кристали льоду, які можуть пошкоджувати структуру тканин. Якщо заморожування відбувається повільно, формуються великі кристали, що руйнують клітинні оболонки. Унаслідок цього після розморожування спостерігаються значні втрати м'ясного соку, погіршення консистенції та зниження соковитості. При двофазному процесі вдається краще контролювати швидкість тепловідведення та забезпечувати утворення дрібних кристалів.

Для заморожування курячих напівфабрикатів використовують різні типи обладнання. Найпоширенішими є тунельні морозильники, в яких продукція рухається конвеєром через потік холодного повітря. Також застосовуються спіральні апарати, що дозволяють економити виробничу площу, та камерні установки періодичної дії. Для дрібноштучної продукції ефективним рішенням є апарати шокового заморожування, які забезпечують високу інтенсивність процесу.

Важливою умовою двофазного заморожування є правильна підготовка продукції. Напівфабрикати повинні мати однакові геометричні розміри, стабільну масу та якісну упаковку. Якщо вироби різняться за товщиною або

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формою, це може спричинити нерівномірне промерзання партії. Частина продукції буде вже готовою до зберігання, а інша ще залишатиметься недостатньо замороженою. Для запобігання таким явищам застосовують стандартизацію формування виробів та контроль параметрів перед подачею в морозильну систему.

Особливу роль відіграє упаковка. Вона повинна захищати продукцію від висихання, окиснення жирів та сторонніх запахів. Для курячих напівфабрикатів широко використовують полімерні пакети, вакуумну упаковку, лотки з плівковим покриттям або комбіновані матеріали. Герметичне пакування також сприяє зменшенню втрат маси під час зберігання.

Після завершення другої фази продукцію переміщують у низькотемпературні камери зберігання. Температура в них зазвичай підтримується на рівні -18°C або нижче. Саме стабільність умов зберігання визначає подальшу якість продукції. Якщо температура коливається, на поверхні може утворюватися іній, відбувається часткове підтавання з наступним повторним замерзанням, що негативно впливає на структуру м'яса.

Двофазне заморожування має низку технологічних переваг. По-перше, воно дозволяє раціонально використовувати холодильні потужності підприємства. Попереднє охолодження зменшує навантаження на морозильні установки та підвищує їх продуктивність. По-друге, забезпечується краща якість готового продукту після розморожування. По-третє, скорочуються втрати маси внаслідок усушки та витікання м'ясного соку. По-четверте, підвищується санітарна надійність виробництва завдяки швидкому проходженню температурної зони, сприятливої для розвитку мікроорганізмів.

Разом із перевагами існують і певні вимоги до організації процесу. Потрібне чітке дотримання часових інтервалів між фазами. Якщо продукція надто довго перебуватиме після попереднього охолодження без переходу до

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

другої стадії, це може погіршити мікробіологічний стан. Необхідно також контролювати температуру в товщі продукту, вологість повітря, швидкість циркуляції та технічний стан обладнання.

На сучасних підприємствах процес двофазного заморожування часто автоматизують. Використовують датчики температури, електронні системи керування, програмовані режими роботи та цифровий моніторинг параметрів. Це дає змогу забезпечити стабільну якість продукції незалежно від обсягу виробництва.

Отже, двофазне заморожування курячих напівфабрикатів є ефективною технологією, яка поєднує попереднє охолодження та подальше глибоке заморожування. Завдяки такому підходу зберігаються природні властивості м'яса, підвищується термін придатності продукції та забезпечується економічна ефективність виробництва. У сучасних умовах розвитку харчової промисловості цей метод є одним із найбільш доцільних способів холодильної обробки м'ясної продукції.

Відповідно розглянутої технології приймаємо що на підприємстві у виробничому цеху будуть встановлені агрегатовані швидкоморозильні апарати. Після процесу попереднього заморожування до температури – 10 °С продукт завантажують в камери зберігання, де температура продукту поступово знижується до -25 °С. Після декілька діб зберігання продукт далі відправляється на переробку або на реалізацію до супермаркетів.

У сучасній холодильній промисловості важливе місце займають камери доморожування та зберігання м'ясних напівфабрикатів. Саме на цих етапах завершується процес формування необхідного температурного стану продукції та забезпечується її тривале збереження без втрати якості. Для підтримання стабільного низькотемпературного режиму використовують спеціальні прилади охолодження, які здійснюють відведення теплоти з внутрішнього об'єму камер, створюють необхідний мікроклімат і забезпечують рівномірний розподіл холоду.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

М'ясні напівфабрикати належать до швидкопсувної продукції, тому після первинного заморожування або попереднього охолодження вони надходять у камери доморожування, де температура в центрі продукту доводиться до нормативного значення. Після цього продукцію переміщують у камери зберігання, де підтримується стабільна температура протягом усього періоду перебування товару на складі. Ефективність роботи таких приміщень безпосередньо залежить від правильно підібраних охолоджувальних приладів.

Найпоширенішими пристроями для охолодження холодильних камер є повітроохолоджувачі. Вони являють собою теплообмінні апарати, в яких холодильний агент кипить усередині трубчастого змієвика, а повітря камери омиває зовнішню поверхню оребрених труб. У результаті теплота від повітря передається холодоагенту, а температура в камері знижується до заданого рівня. Для посилення теплообміну повітроохолоджувачі оснащуються вентиляторами, які забезпечують примусову циркуляцію повітря.

У камерах доморожування м'ясних напівфабрикатів до повітроохолоджувачів висуваються підвищені вимоги. Тут необхідно швидко відводити значну кількість теплоти від продукції, яка ще не досягла остаточної температури заморожування. Тому застосовують апарати з великою поверхнею теплообміну, потужними вентиляторами та низькою температурою кипіння холодоагенту. Температура повітря в таких камерах зазвичай становить від -25 до -35 °С, що дозволяє довести температуру в центрі продукту до -18 °С і нижче.

У камерах зберігання вимоги дещо інші. Основним завданням тут є не інтенсивне охолодження, а підтримання стабільної температури продукції протягом тривалого часу. Теплове навантаження таких камер менше, ніж у доморожувальних, тому використовуються більш економічні режими роботи. Зазвичай температура підтримується на рівні -18 °С або -20 °С.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повітроохолоджувачі для складів зберігання працюють циклічно, вмикаючись залежно від показань автоматичних регуляторів температури.

Однією з важливих характеристик охолоджувальних приладів є спосіб циркуляції повітря. Розрізняють апарати з природною та примусовою циркуляцією. Природна циркуляція виникає внаслідок різниці густини теплого і холодного повітря, однак вона має невисоку інтенсивність. Тому в сучасних холодильниках переважно застосовують системи з вентиляторами. Примусова циркуляція забезпечує рівномірність температурного поля в камері, скорочує тривалість доморожування та зменшує ризик локального підтавання продукції.

Для камер великої місткості часто використовують стельові повітроохолоджувачі. Їх монтують під перекриттям приміщення, що дозволяє економити корисну площу та забезпечувати вільне переміщення вантажів. Повітря подається вздовж стелі та рівномірно розподіляється по всьому об'єму камери. Таке рішення особливо ефективне для складів із стелажним зберіганням або використанням навантажувачів.

У деяких випадках застосовують пристінні або підвісні повітроохолоджувачі. Вони використовуються у невеликих камерах або приміщеннях складної конфігурації. Вибір місця встановлення залежить від геометрії приміщення, висоти складування продукції, напрямку потоків повітря та зручності технічного обслуговування.

Важливим елементом охолоджувальних приладів є оребрення теплообмінної поверхні. Алюмінієві ребра значно збільшують площу контакту з повітрям і підвищують ефективність теплопередачі. Однак у низькотемпературних камерах на поверхні ребер поступово осідає волога з повітря, яка перетворюється на іній. Це погіршує теплообмін і зменшує пропускну здатність апарата. Саме тому охолоджувальні прилади обладнують системами відтаювання.

Для видалення інею застосовують кілька способів. Найпоширенішим є електричне відтаювання, при якому в теплообміннику встановлюються

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нагрівальні елементи. Після вимкнення холодильного режиму іній плавиться і вода відводиться через дренажну систему. Також використовують гарячий газ, коли через зміювик пропускається нагрітий холодоагент. У деяких системах застосовують водяне відтаювання або комбіновані методи.

Для камер доморожування система відтаювання має особливе значення, оскільки внаслідок інтенсивного теплообміну утворення інею відбувається швидше. Якщо своєчасно не проводити очищення поверхні теплообмінника, продуктивність установки різко знижується, а тривалість заморожування збільшується.

Окрім повітроохолоджувачів, у деяких холодильниках використовують батарейні прилади охолодження. Вони складаються з трубних секцій, по яких циркулює холодоагент або охолоджений розсіл. Такі системи можуть працювати без вентиляторів, однак поступаються сучасним апаратам за інтенсивністю теплообміну. Сьогодні вони частіше зустрічаються на старіших підприємствах або в спеціалізованих технологічних приміщеннях.

Для підвищення ефективності роботи камер велике значення має правильне розміщення охолоджувальних приладів. Необхідно уникати зон застою повітря, де температура може бути вищою за середню. Продукція не повинна перекривати повітряні потоки або розміщуватися надто близько до теплообмінників. Між штабелями товару залишають проходи для циркуляції повітря.

Автоматизація роботи охолоджувальних приладів є важливою складовою сучасних холодильних систем. Температурні датчики контролюють параметри повітря в різних точках камери, а електронні регулятори вмикають або вимикають компресори, вентилятори та систему відтаювання. Це дозволяє підтримувати стабільний режим з мінімальними витратами електроенергії.

Сучасні охолоджувальні прилади також проектується з урахуванням енергоефективності. Використовуються вентилятори з електронним керуванням швидкістю обертання, теплообмінники з покращеною

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

геометрією ребер, системи плавного регулювання продуктивності та екологічні холодоагенти. Це особливо важливо для великих холодильних складів, де витрати електроенергії становлять значну частку експлуатаційних витрат.

При виборі приладів охолодження враховують місткість камери, вид продукції, режим роботи, добовий вантажообіг, теплопритоки через огороження, відкривання дверей та кліматичні умови регіону. Для камер доморожування обладнання підбирають із запасом продуктивності, тоді як для складів тривалого зберігання основний акцент роблять на економічності та надійності.

Відповідно до технології, наведеної вище, приймаємо, що компоновка холодильника буде включати камери зберігання заморожених м'ясних продуктів, залізничну и автомобільну рампу, компресорний цех і допоміжні приміщення. В зв'язку з необхідними умовами зберігання заморожених м'ясних продуктів приймаємо температуру повітря камер $t_k = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$, відносну вологість повітря камери $\phi_k = 0.9$.

Обираємо безканалъну систему повітророзподілу в камерах зберігання. Як прилади охолодження будуть застосовані стельові повітроохолоджувачі з безпосереднім кипіння аміаку в трубах апаратів. Повітроохолоджувачі будуть розташовані над центральними вантажними проходами в камерах зберігання.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Визначення розмірів, вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер

Початкові дані:

Місто — Хмельницька обл., $t_{oc}=30^0C$.

Камери збереження:

Температура камери — $t_{кам} = - 25^0C$

Маса збереженого продукту — $G=1000$ т

Вид вантажу —заморожене куряче м'ясо, напівфабрикати

Вантажний обсяг камери

$$V_b = \frac{G}{g_v} [m^3], \quad (2.1)$$

де G - маса збереженого продукту, т;

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

Приймаємо для замороженого курячого м'ясо в картонних коробках $g_v=0.6$ т/м³.

$$V_b=1000/0.6=1667 \text{ м}^3$$

Вантажна площа камер

$$F_b = \frac{V_b}{h_b} [m^2], \quad (2.2)$$

де h_b - висота складування продукту, м. Приймаємо для камер збереження $h_b=4$ м, з розрахунку норми завантаження 600 кг/м³ (м'ясо в коробках), контейнер 1200x800x1300.

$$F_b=1667/4=417 \text{ м}^2$$

Будівельна площа камер

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

де β - коефіцієнт використання будівельної площі камери.

Для середніх камер ($F_v=(50...300)\text{м}^2$) приймаємо $\beta=0.75$.

$$F_B=417/0.75=556 \text{ м}^2$$

Приймаємо площу будівельного прямокутника $F_{\text{бп}}=9 \cdot 12=108 \text{ м}^2$

Визначаємо число будівельних прямокутників

$$n_{\text{бп}} = \frac{F_B}{F_{\text{бп}}} \quad (2.4)$$

де $n_{\text{бп}}$ - округлене до цілої величини число будівельних прямокутників.

$$n_{\text{бп}}=556/108=5,1 \Rightarrow 5 \text{ прямокутників}$$

Місткість камери збереження:

$$G_k=F_{\text{бп}} \cdot \beta \cdot h_v \cdot g_v = 108 \cdot 0.75 \cdot 4 \cdot 0.6 = 162 \text{ тони}$$

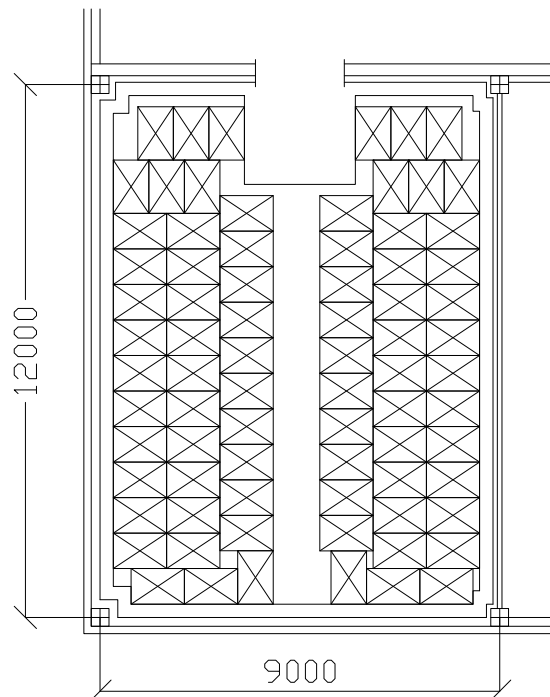


Рис. 2.1 – Зображення камери збереження з усіма необхідними відступами і розташуванням вантажу.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Холодильник включає п'ять камер збереження з кроком колон 9х12 , будівельною площею 108 м².

Визначення коефіцієнтів теплопередачі для перекриття холодильника:

Для зовнішніх стін

$$k_{\text{зс}} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+t_k)} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (2.5)$$

де t_k – температура в камері, °С.

$$k_{\text{нс}} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+(-25))} = 0.223 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для стелі

$$k_{\text{оп}} = 0.95 \cdot k_{\text{нс}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right] \quad (2.6)$$

$$k_{\text{оп}} = 0.95 \cdot 0.223 = 0.211 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

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

$$k_{\text{но}} = 1.18 \cdot k_{\text{нс}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right] \quad (2.7)$$

$$k_{\text{но}} = 1.18 \cdot 0.223 = 0.263 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

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

$$k_{\text{вн}} = \frac{1}{2 + 0.07 \cdot \Delta t_{\text{п}}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (2.8)$$

де $\Delta t_{\text{п}}$ – різниця між температурами повітря більш теплого і холодного охолоджувальних приміщень по обидва боки огороження.

Приймаємо 0°С, оскільки температура по обидва боки однакова.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{\text{вн}} = \frac{1}{2 + 0.07 \cdot 0} = 0.5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для підлоги приймаємо даний коефіцієнт згідно коефіцієнтів теплопередачі для підлоги, що обігривається: $k_{\text{п}}=0.21 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$

Визначення товщини теплоізоляційного матеріалу

Тепер знаючи величини коефіцієнтів теплопередачі, розраховуємо для кожної багатошарової огорожі товщину теплоізоляційного шару за формулою (2.5).

$$\delta_{\text{із}} = \left[\frac{1}{k^*} - \left(\frac{1}{\alpha_{\text{з}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{к}}} \right) \right] \cdot \lambda_{\text{із}} [\text{м}], \quad (2.9)$$

де k^* - коефіцієнт теплопередачі відповідного огороження;
 $\alpha_{\text{з}}, \alpha_{\text{к}}$ - розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі із зовнішнього і внутрішнього боку огорожі. Приймаємо коефіцієнти тепловіддачі із табл. 2.1;

δ_i, λ_i - товщина і коефіцієнт теплопровідності кожного будівельного шару конструкції огорожі. Приймають у залежності від обраної ізоляційної конструкції ;

$\lambda_{\text{із}}$ - 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 $\lambda_{\text{із}}$ визначають як:

$$\lambda_{\text{із}} = (1.1 \dots 1.15) \cdot \lambda_{\text{ПСБ-С}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{мК}} \right] \quad (2.10)$$

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

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти тепловіддачі біля поверхонь огороження холодильних камер

Огородження	α , Вт/(м ² К)
Зовнішні поверхні холодильника	23
Внутр. поверхні камер зберігання з повітряним охолодженням	9
Внутр. поверхні не охолоджуваних 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 (2.5) для кожної огорожі. Якщо збільшена товщина теплоізоляційного шару перевищує від одержаного на 5%, тоді визначаємо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі.

Для зовнішніх стін із структурою

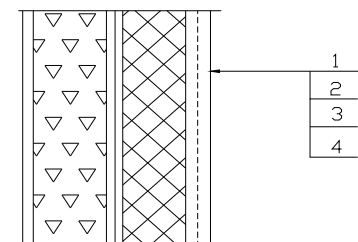


Рис. 2.1 – структура зовнішньої стіни

Таблиця 2.2 – 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	Поліетиленова плівка	0.002	0.25
4	Важкий бетон	0.14	1.86

$$\delta_{из} = \left[\frac{1}{0.223} - \left(\frac{1}{23} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{0.002}{0.25} + \frac{0.14}{1.86} + \frac{1}{9} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.16 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 200 мм, (два шару по 100 мм).

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

$$k_d^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{0.004}{0.25} + \frac{0.14}{1.86} + \frac{1}{9} \right) + \frac{0.2}{0.038}} = 0.181 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для стелі

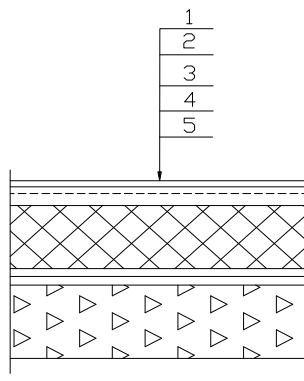


Рис. 2.2 – структура стелі

Таблиця 2.3 – Найменування матеріал шару, для стелі.

№пп	Найменування	Товщина δ , м	Коеф. Теплопр-ті λ , Вт/(мК)
1	П'ять шарів гідроізолу	0.012	0.3
2	Стяжка з бетону	0.04	1.8
3	Поліетиленова плівка	0.002	0.25
4	Пінополістирол ПСБ-С		0.035
5	Залізобетонна плита	0.35	2.04

$$\delta_{из} = \left[\frac{1}{0.211} - \left(\frac{1}{23} + \frac{0.002}{0.25} + \frac{0.14}{1.86} + \frac{0.35}{2.04} + \frac{1}{9} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.16 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 200 мм, (два шару по 100 мм).

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$k_{\text{д}}^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{0.004}{0.25} + \frac{0.14}{1.86} + \frac{1}{9} \right) + \frac{0.2}{0.038}} = 0.181 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для внутрішніх стін

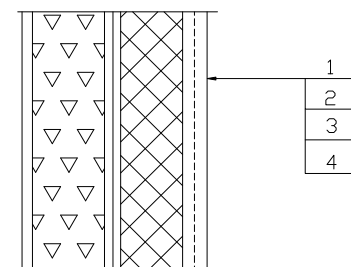


Рис. 2.3 – Структура внутрішніх стін

Таблиця 2.4 – Найменування матеріал шару, для внутрішніх стін

№пп	Найменування	Товщина δ , м	Коеф. Теплопр-ті λ , Вт/(мК)
1	Панель керамзитобетону	0.24	0.47
2	Поліетиленова плівка	0.002	0.25
3	Пінополістирол ПСБ-С		0.035
4	Штукатурка вапняна	0.02	0.75

$$\delta_{\text{із}} = \left[\frac{1}{0.263} - \left(\frac{1}{8} + \frac{0.24}{0.47} + \frac{0.002}{0.25} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{1}{9} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.11 \text{ м}$$

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

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

$$k_{\text{д}}^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + \frac{0.24}{0.47} + \frac{0.004}{0.3} + \frac{0.2}{0.75} + \frac{1}{9}\right) + \frac{0.15}{0.038}} = 0.211 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для перегородок між охолоджуваними приміщеннями

Приймаємо, що всі внутрішні перегородки між камерами виконані залізобетонними, товщиною 80 мм з теплоізоляційним матеріалом пінополістиролом ПСБ –С (конструкція аналогічна зовнішнім стінам). Коефіцієнти тепловіддачі по обидві сторони перегородки приймаємо однаковими з таблиці. 2.1 для перегородок між охолоджуваними приміщеннями.

$$\delta_{\text{із}} = \left[\frac{1}{0.5} - \left(\frac{1}{8} + \frac{0.08}{1.86} + \frac{0.001}{0.25} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{1}{8} \right) \right] \cdot 0.038 = 0.06 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 100мм.

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

$$k_{\text{д}}^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + \frac{0.08}{0.47} + \frac{0.004}{0.3} + \frac{0.2}{0.75} + \frac{1}{8}\right) + \frac{0.1}{0.038}} = 0.34 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для підлоги

Теплоізоляцію підлоги приймаємо однаковою для всіх охолоджуваних приміщень. Як розрахункова, вибираємо наступною конструкцію:

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

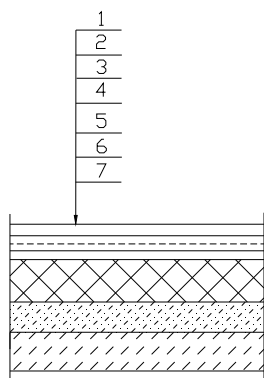


Рис. 2.4 – Структура підлоги

Таблиця 2.5 – Найменування матеріалу 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	Керамзитовий гравій		0.15
4	Поліетиленова плівка	0.001	0.25
5	Цементний піщаний розчин	0.025	0.98
6	Пісок ущільнювача	0.2	0.58
7	Бетонна підгонка з електро-нагрівачами		

У розрахунку враховуємо лише шари, які передують бетонної підготовці. Коефіцієнт теплопередачі поверхні підлоги, приймаємо однаковими з таблиці 2.2, для внутрішніх поверхонь камер.

$$\delta_{iz} = \left[\frac{1}{0.21} - \left(\frac{1}{9} + \frac{0.04}{1.86} + \frac{0.08}{1.86} + \frac{0.001}{0.25} + \frac{0.025}{0.98} + \frac{0.2}{0.58} \right) \right] \cdot 0.15 = 0.63 \text{ м}$$

Таблиця 2.6 – Характеристики стін холодильника

№пп	Найменування	Товщина ізоляції δ_{iz} , м	Товщина ог. $\delta_{ог}$, м	Коефіцієнт теплопередачі K_d^* , Вт/(м ² К)
Камера збереження				
1	Зовнішня стіна	0.2	0.164	0.18
2	Внутрішня стіна	0.15	0.048	0.211
3	Перегородка між камерами	0.1	0.08	0.34
4	Стеля	0.2	0.403	0.181
5	Підлога	0.63	0.34	0.21

3 Визначення теплового навантаження камер

Загальне теплове навантаження на холодильне устаткування визначають підсумуванням усіх теплоприпливів за формулою (3.1).

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \text{ [Вт]}, \quad (3.1)$$

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.

3.1 Розрахунок теплоприпливів через огороження

$$Q_1 = Q_{1T} + Q_{1C} \text{ [Вт]}, \quad (3.2)$$

де Q_{1T} – теплоприпливи від різниці температур по обох боках огороження, визначається з виразу (3.3);

Q_{1C} – теплоприпливи від сонячного опромінення зовнішніх огорожень, визначається з виразу (3.4).

$$Q_{1T} = kF(t_3 - t_k) \text{ [Вт]}, \quad (3.3)$$

де k – розрахунковий коефіцієнт теплопередачі для даної огорожі;

F – площа поверхні даної огорожі;

t_k – температура навколишнього середовища або сусіднього теплішого приміщення;

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

t_k – температура охолоджуваного об'єкту.

Оскільки підлога обігривається і коефіцієнт теплопередачі постійний для всієї його площі, тоді $t_n=1$ °C .

$$Q_{1c} = kF\Delta t_c \text{ [Вт]}, \quad (3.4)$$

де Δt_c – надмірна різниця температур, що характеризує дію сонячної радіації в літній час, визначаємо за формулою (3.5).

$$\Delta t_c = p \frac{q_c \varepsilon_c}{\alpha_n} \text{ [°C]}, \quad (3.5)$$

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

q_c – розрахункова напруга сонячної радіації для літнього періоду, приймаємо по табл. 3.1, західної сторони;

ε_c – коефіцієнт поглинання сонячної радіації поверхнею огорожі, приймаємо по табл. 3.2.

α_n – коефіцієнт тепловіддачі від нагрітої сонцем поверхні огорожі в навколишнє середовище, приймаємо по табл. 2.1.

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

Таблиця 3.1 – Розрахункові напруги сонячного випромінювання для літнього періоду

Географічна широта (північна)	q_c , Вт/м ²			
	Горизонтальна плоска покрівля	Пд	Сх	З
50	789	384	384	461

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти поглинання сонячного випромінювання різними матеріалами

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

Таблиця 3.3 – Розрахунок теплоприпливів через огороження камер.

Огорожа		К, Вт/(м²К)	F, м²	tн, °C	tк, °C	Q _{1T} ⁱ , Вт	Δtс, °C	Q _{1C} ⁱ , Вт	Q ₁ ⁱ , Вт
Камера №1	Перегородка (Пд)	0.211	51.2	18.5	-25	470	-		470
	Перегородка (С)	0.337	69.4	-25	-25	0	-		0
	Зовнішня (Пн)	0.181	51.2	30	-25	509	-		509
	Зовнішня (З)	0.181	69.4	30	-25	690	6.01	75	765
	Підлога	0.194	118	1	-25	591	-		591
	Стеля	0.176	118	30	-25	1140	22.1	459	1599
	Σ Q ₁ ⁱ , Вт								3934
Камера №2	Перегородка (Пд)	0.211	50.4	18.5	-25	463	-		463
	Перегородка (С)	0.337	69.4	-25	-25	0	-		0
	Зовнішня (Пн)	0.181	50.4	30	-25	501	-		501
	Перегородка (З)	0.337	69.4	-25	-25	0	-		0
	Підлога	0.194	108	1	-25	591	-		545
	Стеля	0.176	108	30	-25	1140	22.1	420	1463
	Σ Q ₁ ⁱ , Вт								2972
Камера №3	Перегородка (Пд)	0.211	50.4	18.5	-25	463	-		463
	Перегородка (С)	0.337	69.4	18.5	-25	0	-		1017
	Зовнішня (Пн)	0.181	50.4	30	-25	501	-		501
	Перегородка (З)	0.337	69.4	-25	-25	0	-		0
	Підлога	0.194	108	1	-25	591	-		545
	Стеля	0.176	108	30	-25	1140	22.1	420	1463
	Σ Q ₁ ⁱ , Вт								3989
Камера №4	Перегородка (Пн)	0.211	51.2	18.5	-25	470	-		470
	Перегородка (С)	0.337	69.4	-25	-25	0	-		0
	Зовнішня (Пд)	0.181	51.2	30	-25	509	-		509
	Зовнішня (З)	0.181	69.4	30	-25	690	6.01	75	765
	Підлога	0.194	118	1	-25	591	-		591
	Стеля	0.176	118	30	-25	1140	22.1	459	1599
	Σ Q ₁ ⁱ , Вт								3934
Камера №5	Перегородка (Пн)	0.211	50.4	18.5	-25	687	-		687
	Перегородка (С)	0.211	69.4	-25	-25	0	-		0
	Зовнішня (Пд)	0.181	50.4	30	-25	501	4.2	38	539
	Перегородка (З)	0.337	69.4	30	-25	1286	-		765
	Підлога	0.194	108	1	-25	591	-		545
	Стеля	0.176	108	30	-25	1140	22.1	420	1463
	Σ Q ₁ ⁱ , Вт								3999
Сумарні теплоприпливи крізь огорожі камер, Вт									17828

3.2 Розрахунок теплоприпливів від вантажів при їх холодильній обробці

$$Q_2 = \frac{G(h_1 - h_2)\tau_{\text{ц}}}{0.0864\tau_{\text{р}}} \text{ [Вт]}, \quad (3.6)$$

де $G_{\text{п}}$ – 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;

$\tau_{\text{р}}$ – тривалість робочого періоду, тобто фактичний час, впродовж якого споживається холод, год.

Добове додавання вантажу на холодильну обробку приймаємо 7% від місткості камери.

Приймаємо початкову температуру надходження вантажу в камеру збереження -10°C , тоді ентальпії вантажу будуть рівні $h_1=33,2$ кДж/кг, $h_2=-11,7$ кДж/кг (при $t_2=-25^{\circ}\text{C}$).

Для пристроїв холодильної обробки безперервної роботи. Тривалість холодильної обробки приймаємо безперервну, тоді $\tau_{\text{ц}}=\tau_{\text{р}}$.

$$G_{\text{п}}=0.06 \cdot G_{\text{к}}=0.07 \cdot 162=11.7 \text{ тони/добу}$$

$$Q_2 = \frac{11.7 \cdot (33.2 - (-11.8))}{0.0864} = 5690 \text{ Вт}$$

Теплоприпливи від тари

$$Q_{2\text{т}} = \frac{G_{\text{т}}(c_1 t_1 - c_2 t_2)\tau_{\text{ц}}}{0.0864\tau_{\text{р}}} \text{ [Вт]} \quad (3.7)$$

де $G_{\text{т}}$ – добове надходження тари на холодильну обробку, т/доб;
 c_1, c_2 – питомі теплоємності тари, при відповідних температурах, кДж/кг.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величину G_T приймаємо 10% від добового надходження продукту, (для картонної тари).

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

$$G_T = 0.1 \cdot G = 0.1 \cdot 11.7 = 1.1 \frac{\text{Т}}{\text{доб}}$$

$$Q_{2T} = \frac{1.1 \cdot (1.46 \cdot (-10) - 1.46 \cdot (-25))}{0.0864} = 290 \text{ Вт}$$

Сума теплоприпливів від вантажу

$$\Sigma Q_2 = Q_2 + Q_{2T} = 5690 + 290 = 5980 \text{ Вт}$$

3.3 Розрахунок експлуатаційних теплоприпливів від різних джерел

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

$$Q_4 = Q_4' + Q_4'' + Q_4''' + Q_4'''' \text{ [Вт]}, \quad (3.9)$$

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

$$Q_4' = q_4' \cdot j_{\text{св}} \cdot F_{\text{буд}} \text{ [Вт]}, \quad (3.10)$$

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

$j_{\text{св}}$ – коефіцієнт одночасної роботи світильників. Приймаємо

$j_{\text{св}}=0,33$ для трьох зонного освітлення;

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

$$Q_4' = 3 \cdot 0.33 \cdot 108 = 107 \text{ Вт}$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок теплоприпливу від електричних двигунів

$$Q_4'' = j_{\text{дв}} \Sigma N_{\text{дв}} [\text{Вт}], \quad (3.11)$$

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.

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 (3.12).

$$\Sigma N_{\text{дв}} = 1.2(Q_1 + Q_2 + Q_3)m, \quad (3.12)$$

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 $m = 0.06$

$$\Sigma N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot (3999 + 5980) \cdot 0.06 = 1010 \text{ Вт}$$

$$Q_4'' = 0.4 \cdot 1010 = 404 \text{ Вт}$$

Розрахунок теплоприпливу від працюючих людей

$$Q_4''' = q_4''' n [\text{Вт}], \quad (3.13)$$

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

n – число працюючих.

Для камери збереження и охолодження, тепловиділення працюючої людини при роботі середньої важкості розрахуємо за формулою (3.13).

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

$$q_4''' = 270 - 6t_k \quad (3.14)$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_4''' = 270 - 6 \cdot (-25) = 420 \text{ Вт} \quad Q_4''' = 420 \cdot 2 = 840 \text{ Вт}$$

Розрахунок теплоприпливу при відкриванні дверей

$$Q_4''' = VF_{\text{буд}} [\text{Вт}], \quad (3.15)$$

де V – питома витрата холоду при відкриванні дверей, Вт/м^2 .

При площі приміщення від 50 до 150 м^2 приймаємо для камер збереження заморожених продуктів и камери охолодження $V=7 \text{ Вт/м}^2$.

$$Q_4''' = 7 \cdot 108 = 756 \text{ Вт}$$

Сума експлуатаційних теплоприпливів

$$Q_4 = 107 + 404 + 840 + 756 = 2107 \text{ Вт}$$

Розрахунок необхідної поверхні приладів охолодження вестимемо по камері з найбільшими теплопритоками, в нашому випадку це камера №5. При розрахунку сумарних теплопритоків в камеру експлуатаційні теплопритоки приймаємо у розмірі 50%, теплопритоки через огорожі і від вантажу у розмірі 100%.

Таблиця 3.4 – Сумарні теплопритоки в камери

	$Q_1, \text{Вт}$	$Q_2, \text{Вт}$	$Q_4, \text{Вт}$	$Q_0, \text{Вт}$
Камера №1	3934	5980	2107	12021
Камера №2	2972	5980	2107	11059
Камера №3	3989	5980	2107	12076
Камера №4	3934	5980	2107	12021
Камера №5	3999	5980	2107	12086

Розрахунок необхідної поверхні приладів охолодження проводим по камері з найбільшими теплопритоками, в нашому випадку це камера №5. У камерах для відведення теплопритоків будуть встановлені пристіно-стельові повітроохолоджувачі, по 2 шт., з розрахунковою продуктивністю одного апарату $Q_{\text{по}}=6 \text{ кВт}$.

Теплопритоки крізь огорожі приймаємо у розмірі 100% ,
експлуатаційні теплопритоки приймаємо у розмірі 50%. Тоді сумарне
навантаження на компресора без урахування втрат складе:

$$Q_{\text{комп}}=59263+5980\cdot 5+0.5\cdot 5\cdot 2107=94430 \text{ Вт}$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Розрахунок повітроохолоджувача

Вихідні данні до розрахунку:

Робоче тіло – R717 (аміак)

Теплове навантаження– 6000 Вт

Температура повітря в камері – $t_{\text{кам}} = -25^{\circ}\text{C}$

Відносна вологість повітря камери – $\phi_{\text{кам}} = 0,9$

Товщина інію – $\delta_i = 0,003 \text{ м}$

Швидкість руху повітря – $\omega_{\text{п}} = 4 \text{ м/с}$

Температура кипіння агента – $t_0 = -35^{\circ}\text{C}$

Геометричні розміри і тип ребристої поверхні ПО:

Труба: сталь

Зовнішній діаметр – $d_{\text{зн}} = 0,020 \text{ м}$

Внутрішній діаметр – $d_{\text{вн}} = 0,016 \text{ м}$

Товщина стінки – $\delta_{\text{тр}} = 0,002 \text{ м}$

Теплопровідність сталі – $\lambda_{\text{ст}} = 47 \text{ Вт/(мК)}$

Ребро: сталь, пластинчасте

Висота – $h = 0,02 \text{ м}$

Товщина – $\delta_p = 0,0004 \text{ м}$

Крок – $u_p = 0,012 \text{ м}$

Компоновка пучка труб: шаховий пучок

Крок труб в пучку:

Поперечний (уперек потоку повітря) – $S_1 = 0,06 \text{ м}$

Подовжній (уздовж потоку повітря) – $S_2 = 0,06 \text{ м}$

Діагональний

$$S_{22} = (S_2^2 + (S_1 / S_2)^2)^{0,5} [\text{м}], \quad (4.1)$$

$$S_{22} = (0,06^2 + (0,06 / 0,06)^2)^{0,5} = 0,067 \text{ м}$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1 Тепловий розрахунок повітроохолоджувача

Кінцевою метою теплового розрахунку є визначення площі теплопередавальної поверхні повітроохолоджувача, яка повинна відводити задане теплове навантаження і підтримувати необхідну температуру повітря в камері.

Задаємося величиною підохолодження повітря в камері $\Delta t_{\pi}=2^{\circ}\text{C}$

Температура повітря на виході з ПО

$$t_2 = t_{\text{кам}} - \Delta t_{\pi} = -25 - 2 = -27^{\circ}\text{C}$$

Середня температура повітря

$$t_{\text{ср.в}} = 0.5(t_2 + t_{\text{кам}}) = 0.5(-27 - 25) = -26^{\circ}\text{C}$$

Температурний напір

$$\theta = t_{\text{ср.в}} - t_0 = -26 - 35 = 9^{\circ}\text{C}$$

Середня температура поверхні ПО (інію)

$$t_{\text{пі}} = t_{\text{ср.в}} - (0.1 \dots 0.9) \cdot \theta = -26 - 0.4 \cdot 9 = -29.6^{\circ}\text{C}$$

Теплофізичні параметри повітря при середній температурі на вході і виході з апарату:

Коефіцієнт теплопровідності – $\lambda_{\pi}=2.231 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(мК)}$

Коефіцієнт кінематичної в'язкості – $\nu_{\pi}=11.17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

Питома щільність – $\rho_{\pi}=1.428 \text{ кг/м}^3$

Питома теплоємність – $c_{\pi}=1.011 \text{ кДж/(кгК)}$

Число Прандтля – $P_r=0.719$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

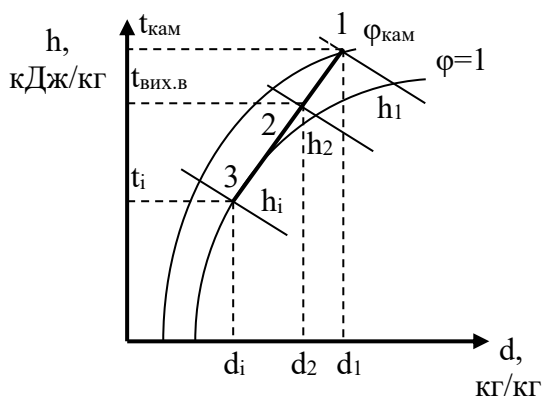


Рис.4.1 – Процес зміни стану повітря в повітроохолоджувачі.

По d- h діаграмі, за допомогою таблиць роботи і розрахункових залежностей визначаємо параметри повітря (t,d,h). І заносимо в табл.6.1

Таблиця 5.1 – Параметри повітря

	При $t_k = -25^\circ\text{C}$	При $t_{mi} = -29.6^\circ\text{C}$
Ентальпія h, кДж/кг	-24.4	-29.15
Вологовміст d, кг/кг	$0.38 \cdot 10^{-3}$	$0.24 \cdot 10^{-3}$
Вологість φ, %	0.9	1

Вологовміст повітря на виході з апарату

$$d_2 = d_k - \left[(t_k - t_2) \cdot \frac{(d_k - d_{mi})}{(t_k - t_{mi})} \right] \left[\frac{\text{кг}}{\text{кг}} \right], \quad (4.2)$$

$$d_2 = 0.38 \cdot 10^{-3} - \left[(-25 - (-27)) \cdot \frac{(0.38 \cdot 10^{-3} - 0.24 \cdot 10^{-3})}{(-25 - (-29.6))} \right] = 3.191 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

Ентальпія повітря при d_2 и t_2 рівна $h_2 = -26.45$ кДж/кг

Вологовміст повітря при вологості повітря 100% і температурі мінус 28°C дорівнює $d_{21} = 0.33 \cdot 10^{-3}$ кг/кг.

Вологовміст повітря при вологості повітря 100% і температурі мінус 25°C дорівнює $d_{вк1} = 0.39 \cdot 10^{-3}$ кг/кг.

Відносна вологість повітря на виході з апарату

$$\phi_2 = \frac{d_2}{d_{21}} = \frac{3.191 \cdot 10^{-4}}{3.3 \cdot 10^{-4}} = 0.96$$

Розрахунок геометричних характеристик ребристого теплопередаючого елемента

4.2 Геометричні характеристики поверхні ребристого теплопередаючого елемента вільного від інію

Площа зовнішньої поверхні ребра

$$f_p = 2(S_1 \cdot S_2 - 0.785 \cdot d_{3H}^2) = 2 \cdot (0.06 \cdot 0.06 - 0.785 \cdot 0.02^2) = 6.572 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Площа зовнішньої поверхні труби між двома суміжними ребрами

$$f_T = \pi \cdot d_{3H} \cdot (u_p - \delta_p) = 3.14 \cdot 0.02 \cdot (0.012 - 0.0004) = 7.288 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Площа внутрішньої поверхні труби ребристого елемента

$$f_B = \pi \cdot d_{BH} \cdot u_p = 3.14 \cdot 0.016 \cdot 0.012 = 6.032 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Повна зовнішня поверхня ребристого елемента

$$f_3 = f_p + f_T = 6.572 \cdot 10^{-3} + 7.288 \cdot 10^{-4} = 7.301 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Коефіцієнт β і ступінь ϕ обребрення теплообмінної поверхні

$$\beta = \frac{f_3}{f_B} = \frac{7.301 \cdot 10^{-3}}{6.032 \cdot 10^{-4}} = 12.104$$

$$\phi = \frac{f_3}{(\pi \cdot d_3 \cdot u_p)} = \frac{7.301 \cdot 10^{-3}}{(3.14 \cdot 0.02 \cdot 0.012)} = 9.683$$

Умовний коефіцієнт обребрення теплообмінної поверхні

$$\beta_H = \frac{f_H}{f_T} = \frac{7.301 \cdot 10^{-3}}{7.288 \cdot 10^{-4}} = 10.017$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Геометричні характеристики поверхні інію, що осів на ребристому теплопередаючем елементі

Площа зовнішньої поверхні інію на ребрі

$$f_{pi} = 2[S_1 \cdot S_2 - 0.785 \cdot (d_3 + 2 \cdot \delta_i)^2] [m^2], \quad (4.3)$$

$$f_{pi} = 2 \cdot [0.06 \cdot 0.06 - 0.785 \cdot (0.02 + 2 \cdot 0.003)^2] = 6.139 \cdot 10^{-3} m^2$$

Зовнішня поверхня інію на трубці між двома суміжними ребрами

$$f_{ti} = \pi(d_3 + 2 \cdot \delta_i) \cdot [u_p - (\delta_p + 2 \cdot \delta_i)] [m^2],$$

$$f_{ti} = 3.14 \cdot (0.02 + 2 \cdot 0.003) \cdot [0.012 - (0.0004 - 2 \cdot 0.003)] = 4.574 \cdot 10^{-4} m^2$$

Повна площа зовнішньої поверхні інію на ребристому елементі

$$f_{zi} = f_{pi} + f_{ti} [m^2],$$

$$f_{zi} = 6.139 \cdot 10^{-3} + 4.574 \cdot 10^{-4} = 6.596 \cdot 10^{-3} [m^2]$$

Коефіцієнт обребрення β поверхні покритої інієм

$$\beta_i = \frac{f_{zi}}{f_b}, \quad (4.4)$$

$$\beta_i = \frac{6.596 \cdot 10^{-3}}{6.032 \cdot 10^{-4}} = 10.935$$

Мінімальний "живий" перетин одного елементу покритого шаром інію, заданої товщини

$$f_{ж} = (S_1 - d_{3н} - 2\delta_i) \cdot (u_p - \delta_p - 2\delta_i) [m^2], \quad (4.5)$$

$$f_{ж} = (0.06 - 0.02 - 2 \cdot 0.003) \cdot (0.012 - 0.0004 - 2 \cdot 0.003) = 5.984 \cdot 10^{-4} m^2$$

Задаємося швидкістю повітря в "живому" перетині
повітроохолоджувача $\omega_{п}=3$ м/с

Визначуваний режим руху повітря число Рейнольдса

$$Re_{п} = \frac{\omega_{п} \cdot d_{3н}}{v_{п}},$$

$$Re_{п} = \frac{3 \cdot 0.02}{11.17 \cdot 10^{-6}} = 5372$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Еквівалентний діаметр

$$d_e = \frac{2 \cdot (S_l - d_{3H}) \cdot (u_p - \delta_p)}{(S_l - d_{3H}) + (u_p - \delta_p)} \text{ [м]},$$

$$d_e = \frac{2 \cdot (0.06 - 0.02) \cdot (0.012 - 0.0004)}{(0.06 - 0.02) + (0.012 - 0.0004)} = 0.018 \text{ м}$$

Число Нусельта

$$Nu = 0.178 \cdot Re_{\pi}^{0.6} \left(\frac{S_2}{d_e} \right)^{-0.14}, \quad (4.6)$$

$$Nu = 0.178 \cdot 5372^{0.6} \left(\frac{0.06}{0.018} \right)^{-0.14} = 26.015$$

Конвективний коефіцієнт тепловіддачі від повітря до поверхні інію

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda_{\pi}}{d_{3H}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \right], \quad (4.7)$$

$$\alpha_k = \frac{26.015 \cdot 2.231 \cdot 10^{-2}}{0.02} = 29.02 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$$

Питома теплота фазового переходу при $t_k < 0^\circ \text{C}$, $r = 2835 \text{ кДж/кг}$;

$$\text{Ентальпія інію } h_i = c_i \cdot t_{\pi i} = 2.09 \cdot (-29.6) = -61.86 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Коефіцієнт теплопровідності інію $\lambda_i = 0.2 \text{ Вт/(м}^2 \text{К)}$

Вологовміст повітря при середній температурі

$$d_m = 0.5(d_{\text{вк}} + d_2) = 0.5 \cdot (0.38 + 0.32) \cdot 10^{-3} = 0.349 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

Питома теплоємність вологого повітря

$$c_{\pi}' = 1.009 + 1.87 \cdot d_m = 1.009 + 1.87 \cdot 0.003496 = 1.01 \frac{\text{кДж}}{\text{кгК}}$$

Коефіцієнт вологовипадіння

$$\xi = 1 + (d_{\text{вк1}} \cdot \varphi_{\text{вк}} - d_{\pi i}) \cdot \frac{r - h_i}{[c_{\pi} \cdot (t_k - t_{\pi i})]}, \quad (4.8)$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\xi = 1 + ((0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.9 - (0.24 \cdot 10^{-3})) \cdot \frac{2835 - (-61.86)}{[1.01 \cdot (-25 - (-29.6))]} = 1.069$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зовнішньої поверхні теплопередаючого елемента з урахуванням термічного опору шару інію

$$\alpha_{\text{пр}} = \left[\frac{1}{(\alpha_k \cdot \xi)} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right]^{-1} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (4.9)$$

$$\alpha_{\text{пр}} = \left[\frac{1}{(29.28 \cdot 1.069)} + \frac{0.003}{0.2} \right]^{-1} = 21.174 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Безрозмірний комплекс

Умовна висота ребра

$$h_y = h \cdot \left[1 + 0.805 \log \left(\frac{0.076}{d_n} \right) \right] = 0.02 \cdot \left[1 + 0.805 \log \left(\frac{0.076}{0.02} \right) \right] = 0.029 \text{ м}$$

$$m = \left[2 \cdot \frac{\alpha_{\text{пр}}}{(\delta_p \cdot \lambda_p)} \right]^{0.5} = \left[2 \cdot \frac{21.174}{(0.0004 \cdot 47)} \right]^{0.5} = 47.461 \frac{1}{\text{м}}$$

Коефіцієнт ефективності ребра

$$E = \frac{\tanh(mh_y)}{mh_y} = \frac{\tanh(47.461 \cdot 0.029)}{47.461 \cdot 0.029} = 0.635$$

Коефіцієнт враховує нерівномірність тепловіддачі

$$\psi = 1 - 0.058mh_y = 1 - 0.058 \cdot 47.461 \cdot 0.029 = 0.919$$

Коефіцієнт враховує контактний термічний опір між трубою і ребром, для сталевих труб и сталевих ребер дорівнює $C_k=0.8$.

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елемента

$$\alpha_{\text{пр.зн}} = \frac{\alpha_{\text{пр}}(f_p \cdot E \cdot \psi \cdot c_k + f_T)}{f_{zi}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (4.10)$$

$$\alpha_{\text{пр.зн}} = \frac{21.174 \cdot (6.572 \cdot 10^{-3} \cdot 0.635 \cdot 9.683 \cdot 0.8 + 7.288 \cdot 10^{-4})}{6.596 \cdot 10^{-3}} = 12.187 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби

$$q_B = \alpha_k \cdot \xi \cdot (t_{\text{ср.п}} - t_{\text{пi}}) \cdot \beta_i \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right], \quad (4.11)$$

$$q_B = 29.02 \cdot 1.069 \cdot (-24.05 - (-29.6)) \cdot 10.935 = 1222 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні робочого тіла в трубах апарату:

$$\alpha_0 = (103.2 + 0.19 \cdot t_0) \cdot q_B^{0.25} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \right], \quad (4.12)$$

$$\alpha_0 = (103.2 + 0.19 \cdot (-35)) \cdot 1222^{0.25} = 553.648 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$$

Коефіцієнт теплопередачі віднесений до зовнішньої поверхні інею

$$k_{\text{зн.i}} = \left[\frac{1}{\alpha_{\text{пр.зн}} + \varphi \cdot \frac{\delta_{\text{т}}}{\lambda_{\text{т}}} + \frac{\beta_i}{\alpha_0}} \right]^{-1} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \right], \quad (4.13)$$

$$k_{\text{зн.i}} = \left[\frac{1}{12.187 + 9.683 \cdot \frac{0.004}{47} + \frac{10.935}{553.648}} \right]^{-1} = 12.207 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$$

Коефіцієнт теплопередачі віднесений до зовнішньої "сухої" поверхні огребеної труби без інію

$$k_{\text{зн}} = k_{\text{зн.i}} \cdot \frac{\beta}{\beta_i} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \right], \quad (4.14)$$

$$k_{\text{зн}} = 12.207 \cdot \frac{12.104}{10.935} = 13.511 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$$

Перевірка раніше прийнятої температури поверхні інію і визначення площі зовнішньої поверхні повітроохолоджувача

Щільність теплового потоку, віднесена до зовнішньої поверхні інію

$$q_{\text{зн}} = k_{\text{зн.i}} \cdot (t_{\text{ср.п}} - t_0) = 12.207 \cdot (-26 - (-35)) = 109.862 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прийнята різниця температур повітря і поверхні інію

$$\Delta t = t_{\text{ср.п}} - t_{\text{пн}} = -26 - (-29.6) = 3.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Розрахункова різниця температур повітря і поверхні інію

$$\Delta t_p = q_{\text{зн}} / \alpha_k \cdot \xi = 109.862 / 29.02 \cdot 1.069 = 3.541 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Відносна погрішність прийнятої і розрахункової різниці температур

$$\delta = |(\Delta t_p - \Delta t) / \Delta t_p| \cdot 100\% = |(3.541 - 3.6) / 3.541| \cdot 100\% = 1.67\%$$

Площа сухої поверхні повітроохолоджувача

$$F_{\text{зн}} = Q_0 / (k_{\text{зн}} \cdot (t_{\text{ср.п}} - t_0)) = 6000 / (13.511 \cdot (-26 - (-35))) = 49.3 \text{ м}^2$$

5.4 Компонувальний розрахунок повітроохолоджувача

Метою компонентного розрахунку ПО є:

- Визначення загальної кількості труб в теплообмінній секції, що забезпечують розрахункову величину теплообмінної поверхні;
- Визначення кількості труб в поперечному і подовжньому перетинах повітроохолоджувача, і на їх основі габаритних розмірів теплообмінної секції апарату.

Об'ємна витрата повітря через повітроохолоджувач

$$V_{\text{п}} = \frac{Q_0}{[\rho_{\text{п}} \cdot (h_{\text{вк}} - h_2) \cdot 10^3]} = \frac{6000}{(1.428 \cdot (-24.4 - (-26.45)))} = 2.05 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Мінімальний "живий" перетин повітроохолоджувача з інієм на теплообмінній поверхні

$$F_{\text{ж}} = V_{\text{п}} / \omega_{\text{п}} = 2.05 / 3 = 0.68 \text{ м}^2$$

Площа фронтального перетину повітроохолоджувача

$$F_{\text{ф}} = \frac{(F_{\text{ж}} \cdot S_1 \cdot u_p)}{f_{\text{ж}}} = \frac{(0.68 \cdot 0.06 \cdot 0.012)}{5.984 \cdot 10^{-4}} = 0.82 \text{ м}^2$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По об'ємній витраті через повітроохолоджувач вибираємо два вентилятори з об'ємною витратою $V=1.77 \text{ м}^3/\text{с}$

Діаметр вентилятора – $D_B=0.4 \text{ м}$

Число вентиляторів – $n=2 \text{ шт}$

Площа прохідного перетину вентиляторів

$$F_B = 0.785 \cdot D_B^2 \cdot n = 0.785 \cdot 0.5^2 \cdot 2 = 0.39 \text{ м}^2$$

Для забезпечення хорошого розподілу повітря повинне бути виконане наступне співвідношення між площею вільного перетину апарату і площею прохідного перетину вентиляторів

$$1.8 < \frac{F_\phi}{F_B} < 2.6 \quad 1.8 < 2.05 < 2.6,$$

умова виконується

Орієнтовні геометричні розміри теплообмінної секції повітроохолоджувача у фронтальному перетині, визначають з виразів:

Ширина

$$H_h' = (F_\phi / n)^{0.5} = (0.82 / 2)^{0.5} = 0.64 \text{ м}$$

Довжина

$$L_h' = H_h' \cdot n = 0.64 \cdot 2 = 1.28 \text{ м}$$

Орієнтовне число труб у фронтальному перетині пучка, шт

$$z_n' = H_h' / S_1 = 0.64 / 0.06 = 10.7$$

Число труб уперек потоку повітря визначають округленням z_n' до цілого парного значення $z_n=12$, тоді дійсна ширина і довжина секції складе:

$$H = z_n \cdot S_1 = 12 \cdot 0.06 = 0.72 \text{ м}$$

$$L = F_\phi / H = 0.82 / 0.64 = 1.28 \text{ м}$$

Число ребристих елементів у фронтальному перетині повітроохолоджувача

$$n_{\text{ж}} = F_{\text{ж}} / f_{\text{ж}} = 1.139 / (5.984 \cdot 10^{-4}) = 1136 \text{ шт}$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Площа сухої зовнішньої поверхні одного ряду труб у фронтальному перетині повітроохолоджувача

$$F_{н1} = f_{зн.1} \cdot n_{ж} = 6.596 \cdot 10^{-3} \cdot 1136 = 7.49 \text{ м}^2$$

Орієнтовне число труб по ходу повітря у ПО

$$z_{пр}' = F_{зн} / F_{н1} = 49.3 / 7.49 = 6.6$$

Число труб уздовж потоку повітря визначають округленням $z_{пр}'$ до цілого значення у велику сторону $z_{пр}=7$, тоді розрахункові параметри теплообмінної секції ПО складе

Загальна довжина труб апарату

$$\Sigma L = L \cdot z_n \cdot z_{пр} = 1.28 \cdot 12 \cdot 7 = 107.5 \text{ м}$$

Площа зовнішньої поверхні апарату

$$F_d = \Sigma L \cdot \pi \cdot d_{вн} \cdot \beta = 107.5 \cdot 3.14 \cdot 0.016 \cdot 12.104 = 65.37 \text{ м}^2$$

Глибина секції

$$B = S_2 \cdot z_{пр} = 0.06 \cdot 7 = 0.42 \text{ м}$$

4.5 Аеродинамічний розрахунок опору шахових пучків труб

$$S_p = u_p - \delta_p = 0.012 - 0.0004 = 0.012 \text{ м}$$

$$P = 0.233 \cdot \left(\frac{S_2}{S_p} \right)^{0.42} \cdot (\omega_n \cdot \rho_n)^{1.8} \cdot z_{пр}' \text{ [Па]}, \quad (4.15)$$

$$P = 0.233 \cdot \left(\frac{0.06}{0.012} \right)^{0.42} \cdot (4 \cdot 1.428)^{1.8} \cdot 6.6 = 69 \text{ Па}$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Характеристики розрахункового ПО

Найменування розрахункового параметру	Позначення	Кількість
Об'ємна витрата повітря через ПО	V	2.05 м ³ /с
Площа фронтального перетину ПО	F _ф	0.82 м ²
Площа прохідного перетину вентиляторів	F _в	0.39 м ²
Дійсне число труб у фронтальному перетині пучка	Z _п	12 шт
Число ребр. елементів у фронт. перетині ПО	n _ж	1136 шт
Дійсне число труб по ходу повітря в ПО	Z _{пр}	7 шт
Сумарна довжина труб апарату	ΣL	107.5 м
Площа зовнішньої поверхні	F _д	65.37 м ²
Холодovidатність	Q ₀	6 кВт
Площа сухої поверхні повітроохолоджувача	F _{зн}	49.3 м ²
Висота ребра	h	0.02 м
Товщина ребра	δ _р	0,0004 м
Крок ребер	u _р	0.012 м
Матеріал ребер(сталь)	λ _{ст}	47 Вт/(мК)
Компоновка пучка	шаховий	
Глибина секції	B	0.42 м
Ширина секції	H	0.72 м
Довжина секції	L	1.28 м

5 Тепловий розрахунок холодильної системи

Для забезпечення роботи охолоджуючих приладів приймаємо аміачну двоступеневу холодильну машину, яка буде працювати при температурі кипіння -35°C .

Вихідні данні:

Теплове навантаження – $Q_0=94 \text{ кВт}$

Температура кипіння – $t_0=-35^{\circ}\text{C}$, $T_0=238 \text{ К}$

Температура конденсації – $t_k=45^{\circ}\text{C}$, $T_k=318 \text{ К}$ (повітряний конденсатор)

Температура всмоктувальних парів низької ступені – $t_{\text{вс}} = -25^{\circ}\text{C}$

Холодильний агент – R717(аміак)

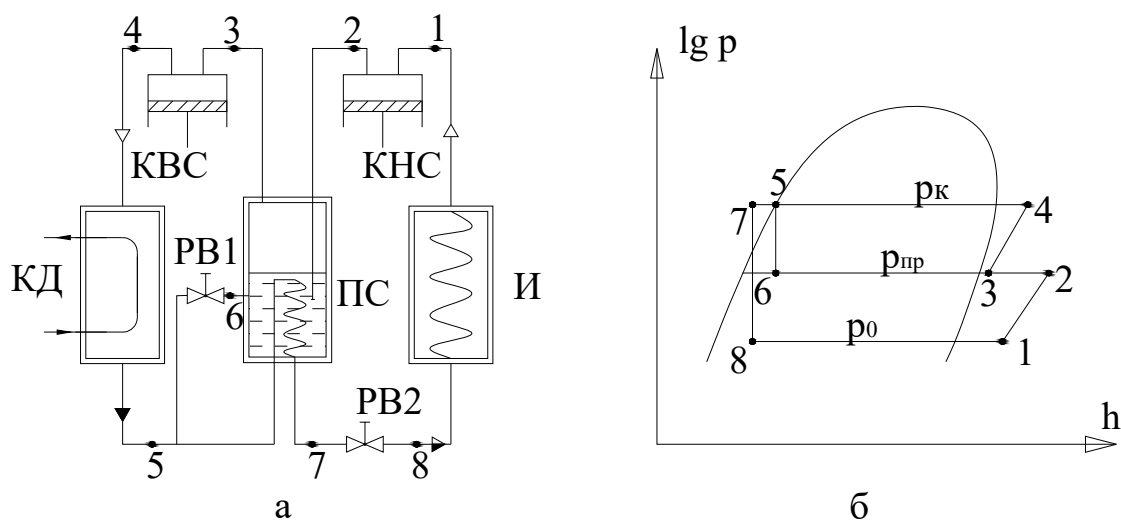


рис. 5.1 – Двоступінчастий цикл(б) і умовна схема(а) холодильної машини з повним проміжним охолодженням і подвійним дроселюванням в промсудині із змійовиком

Процеси циклу:

1-2 стискування пари в компресорі нижнього ступеня від P_0 до $P_{\text{пр}}$;

2-3 повне проміжне охолодження пари в ПС;

3-4 стискування пари в компресорі верхнього ступеня від $P_{\text{пр}}$ до P_k ;

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

- 4-5 зняття перегріву і конденсація агента в конденсаторі;
 5-6 допоміжне дроселювання частини агента від P_k до $P_{пр}$ в промсудину;
 5-7 переохолодження основної частини рідкого агента в змійовику промсудині;
 7-8 основне дроселювання агента від P_k до P_0 ;
 8-1 кипіння агента у випарнику і перегрів пари на всмоктуванні.

Розрахункове теплове навантаження на компресор

$$Q_{км} = \frac{k}{b} \cdot Q_0 \text{ [кВт]}, \quad (5.1)$$

де k – коефіцієнт утрат при транспортуванні холоду;
 b – коефіцієнт робочого часу компресорів.

Для великих систем безпосереднього випаровування холодильного агенту приймаємо $k=1.05$, $b=0.8$.

$$Q_{км} = \frac{1.03}{0.85} \cdot 94 = 113 \text{ кВт}$$

За допомогою діаграми $\lg P-h$, будемо цикл холодильної установки і знімаємо данні для розрахунку вузлових точок, отримані данні заносимо в таблицю 5.1.

Тиск кипіння – $P_0=0.93$ бар

Тиск конденсації – $P_k=17.81$ бар

Проміжний тиск визначаємо по формулі (5.2)

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{пр}} = \sqrt{P_k \cdot P_0} \text{ [бар]}, \quad (5.2)$$

$$P_{\text{пр}} = \sqrt{17.81 \cdot 0.93} = 4.07 \text{ бар}$$

Питомий об'єм в крапці 1 и 3.

$$V_1 = 1.278 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}, \quad V_3 = 0.3 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Проміжна температура – $t_{\text{пр}} = -1.5^\circ\text{C}$, $T_0 = 271.5 \text{ К}$

Таблиця 5.1 – параметри в вузлових точках циклу

	1	2	3	4	5	6	7	8
$t_0 = -35^\circ\text{C}$								
Температура $t, ^\circ\text{C}$	-25	76	-0.5	107	45	-1.5	2.5	-35
Ентальпія $h, \text{кДж/кг}$	1436	1646	1460	1678	417	417	212	212
Тиск $P, \text{бар}$	0.93	4.07	4.07	17.81	17.81	4.07	17.8	0.93

Питома масова холодовидатність

$$q_0 = h_1 - h_8 = 1436 - 212 = 1224 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Питома об'ємна холодовидатність

$$q_v^H = \frac{q_0}{V_1} = \frac{1224}{1.278} = 958 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$q_v^B = \frac{q_0}{V_3} = \frac{1224}{0.3} = 4080 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Питома адіабатна робота компресора

$$L_a^H = h_2 - h_1 = 1646 - 1436 = 210 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$L_a^B = h_4 - h_3 = 1678 - 1460 = 218 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Масова витрата робочої речовини

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_a^{KHC} = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{113}{1224} = 0.08 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$M_a^{KBC} = M_a^{KHC} \cdot \frac{(h_2 - h_7)}{(h_3 - h_6)} = 0.08 \cdot \frac{(1646 - 212)}{(1460 - 417)} = 0.11 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Дійсна об'ємна холодовидатність

$$V_d^H = M_a^{KHC} \cdot V_1 = 0.08 \cdot 1.278 = 0.104 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$V_d^B = M_a^{KBC} \cdot V_3 = 0.11 \cdot 0.3 = 0.033 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Лінійний мертвий простір – $c=0.04$

Коефіцієнт розширення з мертвого простору – $m=1.1$

Втрати на мертвому просторі

$$\lambda_c^H = 1 - c \cdot \left[\left(\frac{P_{\text{пр}}}{P_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] = 1 - 0.04 \cdot \left[\left(\frac{4.07}{0.93} \right)^{\frac{1}{1.1}} - 1 \right] = 0.915$$

$$\lambda_c^B = 1 - c \cdot \left[\left(\frac{P_k}{P_{\text{пр}}} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] = 1 - 0.04 \cdot \left[\left(\frac{17.81}{4.07} \right)^{\frac{1}{1.1}} - 1 \right] = 0.915$$

$$\lambda_w^H = \frac{T_0}{T_{\text{пр}}} = \frac{238}{271.5} = 0.877$$

$$\lambda_w^B = \frac{T_{\text{пр}}}{T_k} = \frac{271.5}{318} = 0.854$$

Коефіцієнт подачі компресора

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\lambda^H = \lambda_c^H \cdot \lambda_w^H = 0.915 \cdot 0.877 = 0.802$$

$$\lambda^B = \lambda_c^B \cdot \lambda_w^B = 0.915 \cdot 0.854 = 0.781$$

Теоретичний об'єм описаний поршнями компресора

$$V_h^H = \frac{V_d^H}{\lambda^H} = \frac{0.104}{0.802} = 0.13 \frac{m^3}{c}$$

$$V_h^B = \frac{V_d^B}{\lambda^B} = \frac{0.033}{0.781} = 0.042 \frac{m^3}{c}$$

Адіабатна потужність витрачена на стискування пара в компресорі

$$N_a^H = M_a^{KHC} \cdot L_a^H = 0.081 \cdot 210 = 17 \text{ кВт}$$

$$N_a^B = M_a^{KBC} \cdot L_a^B = 0.11 \cdot 218 = 24 \text{ кВт}$$

Індикаторний КПД

Для аміаку $b=0.0025$

$$\eta_i^H = \lambda_w^H + b \cdot t_0 = 0.877 + 0.0025 \cdot (-35) = 0.789$$

$$\eta_i^B = \lambda_w^B + b \cdot t_{np} = 0.854 + 0.0025 \cdot (-1.5) = 0.85$$

Індикаторна потужність компресора

$$N_i^H = \frac{N_a^H}{\eta_i^H} = \frac{17}{0.789} = 21.5 \text{ кВт}$$

$$N_i^B = \frac{N_a^B}{\eta_i^B} = \frac{24}{0.85} = 28.2 \text{ кВт}$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність тертя

Середній індикаторний тиск тертя – $P_{i\text{тр}}=50$ кПа

$$N_{\text{тр}}^{\text{H}} = P_{i\text{тр}} \cdot V_{\text{h}}^{\text{H}} = 50 \cdot 0.13 = 5.7 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{тр}}^{\text{B}} = P_{i\text{тр}} \cdot V_{\text{h}}^{\text{B}} = 50 \cdot 0.042 = 2.1 \text{ кВт}$$

Ефективна потужність компресора

$$N_{\text{е}}^{\text{H}} = N_{\text{тр}}^{\text{H}} + N_{\text{i}}^{\text{H}} = 5.7 + 21.5 = 27.2 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{е}}^{\text{B}} = N_{\text{тр}}^{\text{B}} + N_{\text{i}}^{\text{B}} = 2.1 + 28.2 = 30.3 \text{ кВт}$$

Тепло відведене конденсатором

$$Q_{\text{k}} = Q_0 + N_{\text{е}}^{\text{B}} = 113 + 30.3 = 143.3 \text{ кВт}$$

Усі розрахунки зведемо в таблицю 5.2

Таблиця 5.2 – Результат розрахунків двоступінчастої холодильної установки

Найменування розрахункового параметру	$t_0=-35^{\circ}\text{C}$	
	Н	В
Питома масова холодовидатність, кДж/кг	1224	
Питома об'ємна холодовидатність, кДж/кг	958	4080
Питома адіабатна робота компресора, кДж/кг	210	218
Масова витрата робочої речовини, кг/с	0.081	0.11
Дійсна об'ємна холодовидатність, м ³ /с	0.104	0.033
Теоретичний об'єм описаний поршнями компресора, м ³ /с	0.13	0.042
Адіабатна потужність витрачена на стискування пара в компресорі, кВт	17	24
Індикаторний КПД	0.789	0.85
Індикаторна потужність компресора, кВт	21.5	28.2
Ефективна потужність компресора, кВт	27.2	30.3
Тепло відведене конденсатором, кВт	143.3	

6 Розрахунок магістральних трубопроводів

Об'ємна витрата агента:

$$V_a = M_a / \rho, \text{ [м}^3/\text{с]}, \quad (6.1)$$

де ρ – щільність агента за відповідних умов, кг/м^3 .

Діаметр трубопроводу, що розраховується:

$$d = 1.13 \cdot (V_a / w)^{0.5}, \text{ [м]}, \quad (6.2)$$

де w – орієнтовна швидкість агента, що приймається виходячи з умов роботи трубопроводу, м/с .

Нагнітальний трубопровід:

При $t_2 = 107^\circ\text{C}$ и $P_k = 17.8$ бар – щільність агента $\rho_2 = 10.25 \text{ кг/м}^3$.

$$V_a = 0.11 / 10.25 = 0.011 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.011 / 13)^{0.5} = 0.033 \text{ м}.$$

Приймаємо на нагнітанні сталеву трубу 38×2 .

Всмоктуючий трубопровід:

Нижній ступінь:

При $t_1 = -25^\circ\text{C}$ и $P_0 = 0.93$ бар визначаємо щільність агента $\rho_1 = 0.78 \text{ кг/м}^3$.

$$V_a = 0.081 / 0.78 = 0.104 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.104 / 14)^{0.5} = 0.097 \text{ м}.$$

Приймаємо на всмоктуванні сталеву трубу 108×4 .

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Всмоктуючий трубопровід:

Верхній ступінь:

При $t_1 = -0.5$ °C и $P_0 = 4.07$ бар визначаємо щільність агента $\rho_1 = 3$ кг/м³.

$$V_a = 0.11/3 = 0.037 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.037/14)^{0.5} = 0.058 \text{ м.}$$

Приймаємо на всмоктуванні сталеву трубу 76×3.5.

Трубопровід на сливі від конденсатора до ресивера:

При $t_3 = 45$ °C и $P_k = 17.8$ бар визначаємо щільність агента $\rho_3 = 580$ кг/м³.

$$V_a = 0.11/580 = 0.00019 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.00019/0.5)^{0.5} = 0.022 \text{ м.}$$

Приймаємо на рідинному зливі сталеву трубу 32×2.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 Підбір компресорів та допоміжного устаткування

Підбір компресорів

Для підбору компресорів використовуємо програму «Grasso compressor selection» задавши вихідними даними

Камера зберігання заморожених напівфабрикатів

Температура кипіння – $t_0 = -35^\circ\text{C}$

Температура конденсації – $t_k = 45^\circ\text{C}$

Теплове навантаження – $Q_0 = 113 \text{ кВт}$

Згідно з умовами обираємо для камер зберігання (двоступінчаста аміачна холодильна установка) два компресори марки Grasso RC69 (один компресор резервний) на нижчу ступінь і два компресори марки Grasso RC29 (один резервний) на високу ступінь.

Характеристика компресора марки Grasso RC29

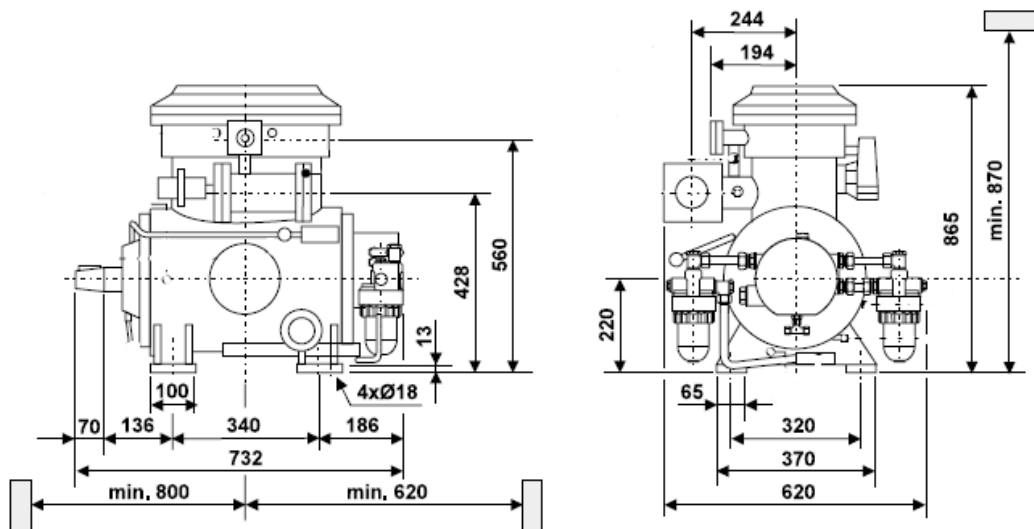


Рис.7.1 – Ескіз компресора RC29

Таблиця 7.1 – Характеристика компресора RC29

Кількість циліндрів	2
тип	напівгерметичний
Діаметр циліндра	110 мм
Ротаційна швидкість	600÷1450 об/хв
Потужність (мех. ел.)	8.4÷21 кВт
Тиск	-0.7÷21 бар
Максимальна відвідна температура	170°C
Вага	270 кг
Діаметр усмоктувальної лінії	62 мм
Діаметр нагнітальної лінії	43 мм
Об'єм масла	3.5 л
Максимальна температура масла	70°C
Рівень шуму	82 дБ
Довжина	732 мм
Висота	865 мм
Ширина	620 мм

Характеристика компресора марки Grasso RC69

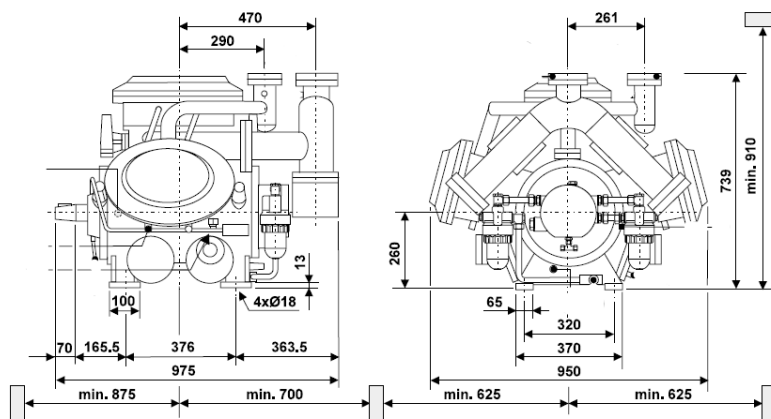


Рис. 7.2 – Ескіз компресора марки RC69

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Таблиця 7.2 – Характеристика компресора RC69

Кількість циліндрів	6
тип	напівгерметичний
Діаметр циліндра	110 мм
Ротаційна швидкість	600÷1450 об/хв
Потужність (мех. ел.)	26.4÷60 кВт
Тиск	-0.7÷21 бар
Максимальна відвідна температура	170°C
Вага	545 кг
Діаметр усмоктувальної лінії	91 мм
Діаметр нагнітальної лінії	77 мм
Об'єм масла	8 л
Максимальна температура масла	70°C
Рівень шуму	90 дБ
Довжина	975 мм
Висота	739 мм
Ширина	950 мм

Для підбору повітряного конденсатора використовуємо програму Günter GPC 2009, задавши вихідними даними.

Холодильний агент – R717(аміак)

Температура конденсації – $t_k=45^{\circ}\text{C}$

Температура і вологість навколишнього середовища - $t_c=30^{\circ}\text{C}$, $\varphi=85\%$

Теплове навантаження на конденсатор – $Q_k=144\text{ кВт}$

З приведенного списку конденсаторів обираємо для камер збереження конденсатор марки GVH 050.1A/3-ND.E (рис.7.3) потужністю 145 кВт.

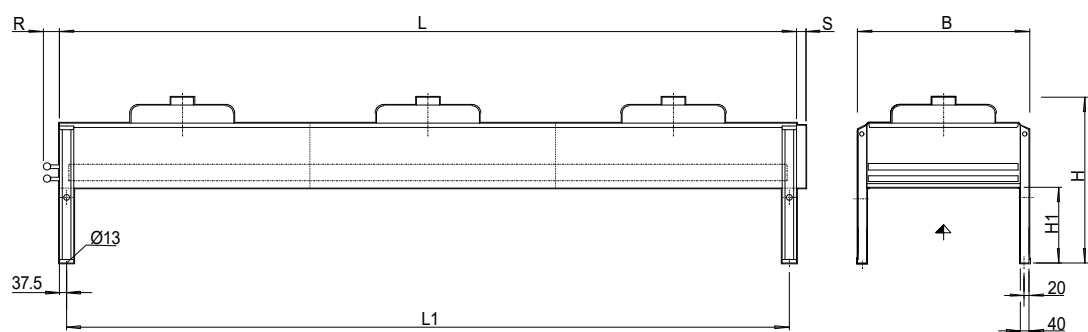


Рис.7.3 – Ескіз конденсатора GVH 050.1A/3-ND.E

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

8 Охорона праці

В даний час на крупних холодильних установках з помірно низькими температурами найбільш поширений аміак (R717).

Аміак R717, хімічна формула NH_3 . Нормальна температура кипіння мінус 33,35 °С. При атмосферному тиску аміак — безбарвний газ, легше за повітря, з різким задушливим запахом.

Найбільш небезпечними властивостями аміаку є його токсичність і вибухонебезпека. Перебування людини протягом декількох хвилин в приміщенні з об'ємною часткою аміаку в повітрі — 0,5÷1% приводить до смертельного результату або сильного отруєння. Температура самозаймання аміаку 630 °С. При об'ємній частці в повітрі понад 11 % і наявності відкритого полум'я аміак починає горіти.

Суміш пари аміаку з повітрям при об'ємній частці 15÷28 % вибухонебезпечна. Максимальний тиск вибуху суміші біля 0,45 МПа. Аміак починає розкладатися при температурі вище 250 °С.

Категорія приміщення за вибухопожежною та пожежною безпекою

Приміщення аміачних машинних і апаратних відділень по вибухопожежною небезпеці відносяться до категорії "А" (клас вибухонебезпеки В-1б). Їх розміщують, як правило, в одноповерхових будівлях, прибудованих до корпусу холодильника або виробничої будівлі, в якій розміщені споживачі холоду.

У машинному відділенні передбачають не менше двох виходів, один з яких — безпосередньо назовні (через тамбур для середньої і північної смуги). Виходи розташовують на максимально можливій відстані один від одного.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'ємно-планувальні рішення по розміщенню компресорного цеху

В компресорному цеху знаходиться холодильна машина, апарати якої знаходяться в тому ж приміщенні. Випарний конденсатор, розташований поза будівлею. Висота стелі складає 5,5 м що забезпечує нормативам планування. Компресорний цех має два виходи один з яких безпосередньо назовні. Апарати що вимагають постійного обслуговування обладнанні спеціальними майданчиками і сходами. Майданчики і сходи огороженні поручнем. Колектор приборів охолодження знаходиться в компресорному цеху, що дозволяє негайно відрегулювати подачу холодоагенту. Усе устаткування розміщене з необхідними проходами, без труднощів обслуговування. Загальна площа компресорного цеху складає 108 м².

Забезпечення вибухобезпеки експлуатації устаткування

Аміачна холодильна установка – герметична технологічна система, в якій по замкнутому контуру, без виробничих витрат, циркулює холодильний агент. В елементах АХУ відбуваються тільки термодинамічні процеси та пов'язані з ними фазові перетворення аміаку (пара→рідина та рідина→пара).

У приміщеннях та на ділянках аміачної холодильної установки, у суміжних приміщеннях/ділянках, поза приміщеннями, а також у самій установці, за умов нормальної експлуатації технологічної системи витоків холодильного агента не відбувається, вибухопожежно небезпечна суміш пари аміаку з повітрям не утворюється. Небезпека виникнення вибуху та пожежі з'являється тільки внаслідок позаштатних аварійних ситуацій, аварій, НС техногенного чи природного походження. Захист технологічного устаткування, трубопроводів та арматури від зруйнування під дією надлишкового тиску в системі забезпечений конструктивним виконанням елементів установки, системою захисних клапанів, приладами автоматичного захисту АХУ.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підбір запобіжного клапану

Пропускна здатність запобіжного клапану вибирається так, щоб у посудині або балоні не створився тиск, що перевищує робочий більш ніж на 0.05 МПа для посудин з робочим тиском до 0.3 МПа включно; на 15 % для посудин із $P_{\text{раб}} = 6$ МПа; на 10 % для посудин із $P_{\text{раб}} > 6$ МПа.

Не рідше одного разу в 12 місяців запобіжний клапан перевіряють на стендах з наступним опломбуванням.

Визначимо мінімальну площу перетину клапана

$$F = \frac{M}{\mu \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (P_1 - P_2)}} \text{ [м}^2\text{]}, \quad (8.1)$$

де M – масова витрата рідини чи газу, $M = 1.168$ кг/с;

μ – коефіцієнт витрати газу (рідини) для даної конструкції клапану визначається експериментально і записується у його паспорті, $\mu = 0.75$;

B – коефіцієнт, що враховує фізико-хімічні властивості газу при робочих параметрах та залежить від показника адіабати $k = 1.13$ й

відношення тисків $\frac{P_2}{P_1} = 0.076$;

$$B = 1.59 \sqrt{\frac{k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}} \quad (9.2)$$

P_1, P_2 – відповідно тиск спрацювання клапану та абсолютний тиск за клапаном, $P_2 = 0.1$ МПа, $P_1 = 1.3$ МПа;

ρ – щільність середовища при тиску P_1 та температурі перед клапаном,

$$\rho = 13.5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$F = \frac{1.168}{0.75 \cdot 0.909 \sqrt{2 \cdot 13.5 \cdot (1.3 - 0.1) \cdot 10^6}} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Діаметр клапану

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} \text{ [м]}, \quad (8.3)$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 3 \cdot 10^{-4}}{3.14}} = 0.019 \text{ м}$$

Обираємо діаметр клапану з стандартного ряду $d = 0,020 \text{ м}$.

Організація безпечної експлуатації на холодильних установках.

Мета організаційних заходів щодо техніки безпеки на холодильних установках — створення безпечних умов праці шляхом постійного контролю за дотриманням правил монтажу, експлуатації і ремонту устаткування і систем установок, а також шляхом підтримки технічних знань обслуговуючого персоналу на необхідному рівні.

Адміністрація підприємства забезпечує холодильну установку необхідним штатом персоналу. Чисельність машиністів і слюсарів - ремонтників для обслуговування установки повинна відповідати «Нормативам чисельності робочих холодильних установок». Холодильна установка обслуговується, як правило, не менше чим двома машиністами в зміну. Обслуговування установки одним машиністом в зміну допускається тільки в тому випадку, якщо за умовами технологічного процесу можливе тимчасове припинення холодопостачання з виключенням холодильної установки.

Заземлювання.

Заземлювання потрібно підключати до корпусів електричних машин, трансформаторів, реостатів, металевим корпусам вимикачів, запобіжників та штепселів, каркасам щитів, металевим оболонкам кабелів, приводам електроустаткування, металевим частинам прожекторів та іншим не струмопровідним частинам.

Розрахунок штучного заземлювання

Мета розрахунку полягає у визначенні основних параметрів штучного заземлювання – число, розміри та порядок розміщення окремих заземлювачів та заземлюючих провідників.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

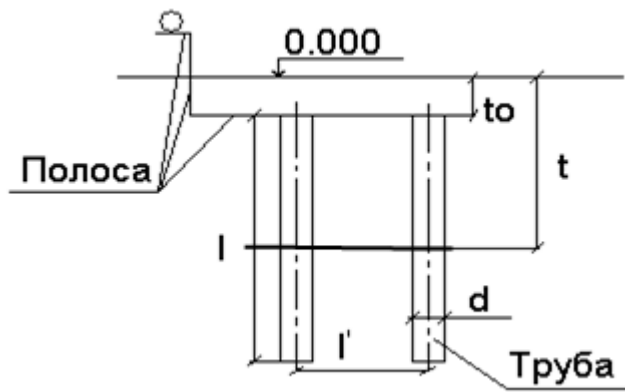


Рис.8.1 – Схема заземлювання

Потрібний опір заземлюючого пристрою в електроустановках з напругою до 1000 В складає $R_{тр} = 4 \text{ Ом}$ [6].

Визначимо розрахункове значення питомого опору ґрунту

$$\rho_p = \rho_\phi \cdot \psi, \quad (8.4)$$

де ρ_ϕ – питомий опір ґрунту – опір 1 м^3 ґрунту між протилежними гранями, до яких прикладені вимірювальні електроди. Питомий опір ґрунту залежить від структури ґрунту, її вологості, розчиненої солі, а також від пори року;

приймаємо $\rho_\phi = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ для глини [6]

ψ – кліматичний коефіцієнт, враховуючий сезонні коливання вологості ґрунту, $\psi = 1,1..2$ [6]

приймаємо $\psi = 1,1$.

$$\rho_p = 1,1 \cdot 40 = 44 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Для штучного заземлювання приймаємо електроди – вертикальні сталеві труби діаметром 40 мм, полосова сталь $9 \times 3 \text{ мм}$. Спочатку обираємо систему розташування вертикальних заземлювачів – в ряд.

Задаємося довжиною вертикального заземлювача з умови

$$\frac{l'}{l} = 1; 2; 3, \quad (8.5)$$

де l' – відстань між заземлювачами, $l' = 6 \text{ м}$;

l – довжина заземлювача.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$l = \frac{l'}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ м}$$

приймаємо, що $t_0 \geq 0.5$ м – глибина, на яку заглиблюються заземлювачі

$$t = \frac{l}{2} + t_0 = \frac{3}{2} + 0.5 = 2 \text{ м}$$

Розрахуємо опір одного вертикального заземлювача

$$R_0 = \frac{\rho_p}{2\pi l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right) [\text{Ом}], \quad (8.6)$$

$$R_0 = \frac{44}{2\pi \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0.035} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 12.93 \text{ Ом}$$

Визначимо кількість вертикальних заземлювачів

$$n = \frac{R_0}{R_{\text{тр}}} = \frac{15.29}{4} = 3.23 \text{ шт}$$

обираємо стандартну кількість заземлювачів $n' = 4$ шт.

Визначимо опір системи вертикальних заземлювачів

$$R_{\text{св}} = \frac{R_0}{n' \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (8.7)$$

де $\eta_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, $\eta_{\text{в}} = 0.77$ [6].

$$R_{\text{св}} = \frac{12.93}{4 \cdot 0.89} = 3.63 \text{ Ом}$$

Визначимо опір з'єднувальної смуги:

Довжина смуги:

$$L = (n' - 1) \cdot l' = (4 - 1) \cdot 6 = 18 \text{ м}$$

Довжина смуги не повинна перевищувати 150 м

Опір смуги:

$$R_n = \frac{\rho_p}{2\pi L \eta_{\text{г}}} \cdot \ln \frac{L^2}{d \cdot t_0}, \quad (8.8)$$

де $\eta_{\text{г}}$ – коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів,

$\eta_{\text{г}} = 0.92$ [6].

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$d = 0.5$; $b = 0.5 \cdot 0.012 = 0.006$ м – для смуги шириною b

$$R_n = \frac{44}{2\pi \cdot 18 \cdot 0.92} \cdot \ln \frac{18^2}{0.006 \cdot 0.5} = 4.9 \text{ Ом}$$

Визначимо загальний опір системи

$$R_c = \frac{R_n \cdot R_{cb}}{R_n + R_{cb}} < R_{тр} \quad R_c = \frac{4.9 \cdot 3.63}{4.9 + 3.63} = 2.08 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

Протипожежні заходи

Протипожежні заходи забезпечуються комплексом проектних рішень, спрямованих на попередження пожежі та вибуху, а також створення умов, які сприяють успішному гасінню пожежі, перешкоджають її поширенню та забезпечують можливість евакуації працівників та матеріальних цінностей.

Згідно діючих типових "Правил пожежної безпеки для промислових підприємств", "Правилам устроювання и безпечною експлуатації аміачних холодильних установок", ВНТП-СНиП-46-25.96 у приміщенні компресорної передбачається установка щиту первісних засобів гасіння пожежі з комплектом засобів: вогнегасник пінний – 2 шт.; вогнегасник вуглекислотний – 1 шт.; ящик з піском ($V=0.1 \text{ м}^3$) та лопата; лопата; багор; відро.

Визначення об'єму недоторканого запасу води для гасіння пожежі

Розрахуємо ємність пожежного резервуару для гасіння пожежі на промисловому підприємстві виходячи з наступних даних:

об'єм приміщення компресорного цеху $V = 494 \text{ м}^3$

категорія приміщення – А

Ємність водоймища визначимо з умови забезпечення необхідної за нормами витрати води на зовнішнє пожежогасіння протягом розрахункового часу [6]

$$V_a = \frac{k \cdot g \cdot n \cdot \tau}{1000} \cdot 3600 \text{ [м}^3\text{]}, \quad (8.9)$$

де k – коефіцієнт запасу, $k = 1.1..1.2$, приймаємо $k = 1.2$;

g – витрата води на зовнішнє пожежогасіння, $g = 10 \frac{\text{л}}{\text{с}}$;

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

n – кількість одночасних пожеж, згідно зі СНиП 2.04.02-84,
приймаємо $n = 1$;

τ – тривалість гасіння пожежі.

Згідно зі СНиП 2.04.02-84 при ступені вогнестійкості І и ІІ з виробництвами категорій Г та Д розрахункову тривалість гасіння пожежі слід приймати рівною двом годинам; в інших випадках – три години, приймаємо $\tau = 3$ г.

$$V_B = \frac{1.2 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 3}{1000} \cdot 3600 = 130 \text{ м}^3$$

Виробнича санітарія

Попередження виникнення шкідливих виробничих факторів можливо тільки за умов суворого дотримання санітарно-технічних вимог та норм, визначених санітарними нормами відповідних розділів будівельних норм та правил и Держстандарту.

Вимоги особистої гігієни та виробничої санітарії, засоби виявлення першої медичної допомоги при нещасних випадках розглядаються у вступному інструктажі.

Вентиляція

Вид вентиляції залежить від вживаного хладогента. Машинні і апаратні відділення аміачних холодильних установок повинні бути обладнані системами витяжної вентиляції з кратністю повітрообміну в годину, визначуваною розрахунком, але не менше 2 для притоки і 3 для витяжки.

Тамбури-шлюзи і приміщення щитів автоматизації, суміжні з машинними відділеннями, обладнали окремими системами вентиляції приточування, що постійно діяли, забезпечують кратність повітрообміну не менше 5 об'ємів в годині Системи вентиляції мають резервні вентилятори, що автоматично включаються при виході з ладу основних.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо видатність вентиляції з кратності повітрообміну

$$L = k \cdot V_{\text{пом}} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right], \quad (8.10)$$

де k – кратність повітрообміну, приймаємо для робочої вентиляції:

а) припливної $k = 2 \text{ год}^{-1}$; б) витяжної $k = 3 \text{ год}^{-1}$; в) аварійної $k = 8 \text{ год}^{-1}$

$V_{\text{пом}}$ – об'єм приміщення, $V_{\text{пом}} = 594 \text{ м}^3$.

$$\text{Тоді } L_{\text{прит}} = 2 \cdot 938 = 1876 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$L_{\text{выт}} = 3 \cdot 938 = 2814 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad L_{\text{ав}} = 8 \cdot 938 = 7504 \text{ м}^3/\text{год}$$

Визначимо потужність вентилятора

$$N = \frac{k \cdot L \cdot \Delta P_n}{\eta_v \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot 3.6 \cdot 10^6} [\text{кВт}], \quad (8.11)$$

де k – коефіцієнт запасу, $k = 1,05..1,5$;

L – видатність вентиляції, $\frac{\text{м}^3}{\text{год}}$;

ΔP_n – втрати тиску в мережі повітроводів;

приймаємо для робочої вентиляції:

– високонапірні вентилятори ($2900 < \Delta P_n < 4500$) Па;

η_v – КПД вентилятора, $\eta_v = 0,6..0,8$; приймаємо $\eta_v = 0,7$;

$\eta_{\text{пр}}$ – КПД приводу при клиноремінній передачі $\eta = 0,95$.

$$\text{припливна} - N = \frac{1.2 \cdot 1876 \cdot 2000}{0.7 \cdot 0.95 \cdot 3.6 \cdot 10^6} = 1.88 \text{ кВт}$$

$$\text{витяжна} - N = \frac{1.2 \cdot 2814 \cdot 2000}{0.7 \cdot 0.95 \cdot 3.6 \cdot 10^6} = 2.82 \text{ кВт}$$

$$\text{аварійна} - N = \frac{1.2 \cdot 7504 \cdot 2000}{0.7 \cdot 0.95 \cdot 3.6 \cdot 10^6} = 7.52 \text{ кВт}$$

Приймаю для аварійної вентиляції відцентровий вентилятор Ц4-70 № 8 при $n = 720 \text{ об/мин}$; для припливної вентиляції осьовий вентилятор МЦ № 6 при $n = 960 \text{ об/мин}$; для витяжної вентиляції осьовий вентилятор МЦ № 5 при $n = 1440 \text{ об/мин}$.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Освітлення

У приміщеннях машинних і апаратних відділень холодильних установок передбачають наступні види штучного освітлення: робоче, аварійне і місцеве (для ремонту, огляду і т. п.).

Освітленість робочих поверхонь в машинних і апаратних відділеннях, що створюється робочим освітленням, повинна складати не менше, 75 лк при використанні ламп розжарювання або не менше 150 лк при використанні люмінесцентних ламп .

Освітленість приладів контролю повинна складати не менше 300 лк при використанні будь-яких ламп.

Окрім робочого освітлення, в приміщеннях машинних і апаратних відділень передбачають аварійне освітлення від незалежного джерела, що автоматично включається при відключенні основного джерела освітлення. У машинних відділеннях автоматизованих хладонових установок аварійне освітлення може не передбачатися.

Для місцевого освітлення при огляді, ремонті і очищенні внутрішніх порожнин машин і апаратів аміачних холодильних установок застосовують переносні світильники у вибухозахищеного виконання напругою не вище 12В.

Розрахунок освітлення

Розміри приміщення $A \times B \times H = (12 \times 9 \times 5.5)$ м. Світильники прийняті у вибухозахищеному виконанні; лампи – люменісцентні; система освітлення – загальна.

Визначимо відстань, між центрами світильників виходячи з умови

$$\frac{L}{H_p} = 1.5 \Rightarrow L = 1.5 \cdot H_p, \text{ м}$$

$$L = 2.8 \cdot 1.5 = 4.2 \text{ м}$$

Визначимо кількість світильників

$$N = \frac{A \cdot B}{L^2} [\text{шт}], \quad (8.12)$$

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = \frac{12 \cdot 9}{4.2^2} = 6.12 = 7 \text{ шт}$$

Визначимо світловий потік одного світильника

$$\Phi = \frac{E_H \cdot k \cdot z \cdot S \cdot 100}{N \cdot \eta} \text{ [лм]}, \quad (8.13)$$

де E_H – нормована мінімальна освітленість, $E_H = 150$ лк [7];

k – коефіцієнт запасу, $k = 1,5$;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, $z = 1,1$;

S – площа приміщення, $S = 12 \cdot 9 = 108 \text{ м}^2$;

η – коефіцієнт використання світлового потоку залежить від: КПД та кривої розподілення сили світла світильника, коефіцієнту відбиття від стелі та стін ($\rho_{\text{ст}}$, $\rho_{\text{п}}$), висоти підвісу світильників над робочей поверхнею, показника приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{H \rho \cdot (A + B)} = \frac{12 \cdot 9}{2.8 \cdot (12 + 9)} = 1.83 \quad \text{тоді приймаємо } \eta = 33 \text{ [7].}$$

$$\Phi = \frac{150 \cdot 1.5 \cdot 1.1 \cdot 108 \cdot 100}{7 \cdot 33} = 11571 \text{ лм}$$

Компонуємо світильник:

Беремо 6 ламп марки ЛДЦ40 зі світловим потоком однієї лампи 2100 лм. Знаходимо сумарний світловий потік одного світильника $\Sigma \Phi = 12600$ лм.

Припустиме відхилення у розрахунку (-10% ÷ +20%).

$$\Delta = \frac{|\Phi - \Sigma \Phi|}{\Phi} \cdot 100\% = \frac{|11571 - 12600|}{11571} \cdot 100\% = 8.9\%$$

Потужність освітлювальної установки

$$P = N \cdot n \cdot p \text{ [Вт]}, \quad (8.14)$$

де n – кількість ламп у світильнику, $n = 6$ шт;

p – потужність лампи, $p = 40$ Вт;

$$P = 7 \cdot 6 \cdot 40 = 1680 \text{ Вт.}$$

Долікарська допомога у випадку отруєння аміаком та ураженні електричним струмом

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ураження електричним струмом

Перша долікарська 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 найбільш простий та правильний спосіб – це відключення відповідної частини електроустановки. Якщо відключення швидко зробити неможна через будь-які причини, 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 диханні, що збереглося, і роботі 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 - рідко, судорожно 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.0.499-03.3.10	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отруєння аміаком

Постраждалий від отруєння аміаком повинен бути винесений на свіже повітря або в чисте тепле приміщення. При необхідності слід застосувати штучне дихання. Постраждалий повинен бути звільнений від перешкоджаючого диханню одягу, на ньому треба змінити забруднений одяг і надати йому повний спокій. Зробити інгаляцію теплою парою (через паперову трубочку) з чайника, що містить 1-2% розчин лимонної кислоти в гарячій воді. Дати випити солодкий чай, каву, лимонад або 3% розчин молочної кислоти. Рекомендується у всіх випадках отруєння вдихати кисень в течію 30-45 хв., зігріти постраждалого (обкласти грілками).

У разі глибокого сну і можливого зниження больової чутливості слід дотримуватися обережності, щоб не викликати опіків грілками.

За наявності явищ роздратування носоглотки необхідне полоскання її 2% розчином соди або водою. Незалежно від стану постраждалий повинен бути направлений до лікаря.

У разі задухи, кашлю потерпілого слід транспортувати в лежачому положенні.

Для надання долікарської допомоги в операторській аміачного компресорного цеху є аптечка, в якій повинні бути:

- 1–2 % розчин лимонної кислоти;
- 2–4% розчин борної кислоти;
- 1% розчин новокаїну, кодеїну (або діоніну);
- етиловий спирт, сода;
- бинти, вата, марлеві серветки;
- мазь Вишневського (або пеніциллінова мазь), йод.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

Виконуючи усі вимоги по захисту ми огорожуємо себе від небезпеки, вчасно визначитись зоною аварії, нам дає час на ліквідування очагів.

Необхідно пам'ятати, що безпека людини та навколишнього середовища в значній мірі знаходиться в руках самої людини. Тому суворе дотримання правил та вимог охорони праці на підприємстві надасть можливість уникнути нещасних випадків та аварій на виробництві.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки по роботі

1. Проведено огляд та аналіз холодильного ланцюга, який відповідає технології заморожування та зберігання м'ясних напівфабрикатів
2. Спроековано будівельну та теплоізоляційну конструкцію холодильника, розраховані теплопритоки в камери зберігання продукції.
3. Проведено тепловий розрахунок двоступеневої аміачної холодильної машини.
4. Проведено тепловий та конструктивний розрахунок камерного повітроохолоджувача.
5. Підібрано основне та допоміжне устаткування холодильної установки.
6. Розроблено розділ охорони праці, з метою забезпечення безпечного обслуговування холодильної установки підприємства.
7. Виконано всі необхідні креслення по холодильнику, який проектується.

					КРБ.ХУКП.0.499-03.3.10	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної 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.0.499-03.3.10	Арк.
						78
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.0.499-03.3.10	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		