

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



## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему: Проект реконструкції холодильника торгівельно-закупівельної бази для збереження м'ясопродуктів у м. Чорноморськ

Здобувача Пинтій Д.В.

5 курсу ХМ-751 групи

Керівник к.т.н., доц. Трандафілов В.В.

Консультанти: д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від 31.05.2024 р. протокол № 12

Завідувач кафедри ХУКП Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса - 2024 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	Низькотемпературної техніки та інженерної механіки
Кафедра	Холодильних установок і кондиціонування повітря
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	142 Енергетичне машинобудування
Освітня програма	Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

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

«01» березня 2024 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Пинтій Данило Вадимович

1. Тема роботи Проект реконструкції холодильника торгівельно-закупівельної бази для збереження м'ясопродуктів у м. Чорноморськ

Затверджена наказом ОНТУ від 31.08.2023 р. наказ № 487-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 31.05.2024 р.

3. Вихідні дані роботи

Виробничий холодильник розташований у м. Чорноморськ. Будівля холодильника одноповерхова з висотою камер 6 м, з сіткою колон 9x12 м. В одній камері з температурним режимом -18°C передбачається тривале зберігання замороженого м'яса місткістю 100 т. П'ять камер з температурним режимом -4°C передбачена для збереження охолодженого м'яса місткістю 600 т. В якості холодильного агенту буде прийнято азеотропну суміш R507A.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Реферат, Вступ, 1. Техніко-економічне обґрунтування проекту,

2. Визначення будівельної площі камер холодильника, 3. Розрахунок товщини теплоізоляції камер. 4. Розрахунок теплоприпливів. 5. Тепловий розрахунок і підбір компресорів. 6. Розрахунок повітроохолоджувача. 7. Розрахунок повітряного конденсатора. 8. Розрахунок і підбір іншого обладнання. 9. Розрахунок трубопроводів. 10. Техніко-комерційна модернізація. 11. Охорона праці. Список використаної літератури, Специфікація обладнання.

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

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.	17.05.2024	22.05.2024

7. Дата видачі завдання 01.03.2024 р.

Керівник Трандафілов В.В.

Завдання прийняв до виконання Пинтій Д.В.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат	23.05-25.05.2024	виконано
2	Вступ	17.03-20.03.2024	виконано
3	Техніко-економічне обґрунтування проекту	20.04-25.04.2024	виконано
4	Визначення будівельної площі камер холодильника	26.04-30.04.2024	виконано
5	Розрахунок товщини теплоізоляції камер	01.05-04.05.2024	виконано
6	Розрахунок теплоприпливів	05.05-10.05.2024	виконано
7	Тепловий розрахунок і підбір компресорів	12.05-15.05.2024	виконано
8	Розрахунок повітроохолоджувача	16.05-17.05.2024	виконано
9	Розрахунок повітряного конденсатора	20.05-23.05.2024	виконано
10	Розрахунок і підбір іншого обладнання	20.05-23.05.2024	виконано
11	Розрахунок трубопроводів	23.05-25.05.2024	виконано
12	Техніко-комерційна модернізація	17.05-22.05.2024	виконано
13	Охорона праці	17.05-22.05.2024	виконано
14	Список використаної літератури	24.05-25.05.2024	виконано
15	Специфікація обладнання	23.05-30.05.2024	виконано
16	Презентація в PowerPoint	23.05-30.05.2024	виконано

Здобувач-дипломник Пинтій Д.В.

Керівник роботи Трандафілов В.В.

*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 Пинтій Данило Вадимович

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається з: 97 сторінок тексту, 11 рисунків, 13 таблиць, 16 посилань на літературні джерела. Холодильна установка торгівельно-закупівельної бази, яка є об'єктом даного дослідження, розташована у південній Україні, в Одеській області в м. Чорноморськ.

Будівля холодильника одноповерхова з висотою камер 6 м, з сіткою колон 9x12 м. В одній камері з температурним режимом  $-18^{\circ}\text{C}$  передбачається тривале зберігання замороженого м'яса місткістю 100 т. П'ять камер з температурним режимом  $-4^{\circ}\text{C}$  передбачені для збереження охолодженого м'яса місткістю 600 т.

В якості холодильного агенту була прийнята азеотропна суміш R507A. За даними і проведеним тепловим розрахунком підібрані пропанові компресора фірми BOCK, теплообмінне обладнання фірми Alfa-Laval. Також була розроблена техніко-комерційна модернізація щодо зниження споживання електроенергії та інших ресурсів холодильної установки, яка приводить до підвищення досконалості холодильної системи до 10%.

**Ключові слова:** холодильна установка, м'ясо, R507a, утилізація тепла.

## SUMMARY

The qualification work consists of: 99 pages of text, 10 figures, 11 tables, 16 references to literary sources. The refrigeration plant of the trading and purchasing base, which is the object of this study, is located in southern Ukraine, in the Odesa region, in the Chornomorsk city.

The refrigerator building is one-story with a chamber height of 6 m, with a grid of 9x12 m columns. In one chamber with a temperature regime of  $-18^{\circ}\text{C}$ , long-term storage of frozen meat with a capacity of 100 tons is provided. Five chambers with a temperature regime of  $-4^{\circ}\text{C}$  are provided for preservation of chilled meat with a capacity of 600 tons.

An azeotropic mixture of R507A was used as a refrigerant. According to the data and thermal calculation, propane compressors from the BOCK company and heat exchange equipment from the Alfa-Laval company were selected. A technical and commercial modernization was also developed to reduce the consumption of electricity and other resources of the refrigeration plant, which leads to an increase in the perfection of the refrigeration system by up to 10%.

**Key words:** refrigerating plant, meat, R507a, heat recovery.

						Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

	Сторінка
РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	6
1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	17
2. ВИЗНАЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ПЛОЩІ КАМЕР ХОЛОДИЛЬНИКА	18
3. РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ КАМЕР	20
4. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОПРИПЛИВІВ	32
5. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК І ПІДБІР КОМПРЕСОРІВ	43
6. РОЗРАХУНОК ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА	47
7. РОЗРАХУНОК ПОВІТРЯНОГО КОНДЕНСАТОРА	59
8. РОЗРАХУНОК І ПІДБІР ІНШОГО ОБЛАДНАННЯ	67
9. РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВОДІВ	68
10. ТЕХНІКО-КОМЕРЦІЙНА МОДЕРНІЗАЦІЯ	69
11. ОХОРОНА ПРАЦІ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	96
СПЕЦИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ	97

					КРБ.ХУКП.1.487-03.3.1		
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			
Розробив		Пинтії Д.В.			Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Трандафілов В.В.			5	97	
Н. Контр.		Трандафілов В.В.			ОНТУ гр. ХМ-751		

Проект реконструкції  
холодильника торгівельно-  
закупівельної бази для збереження  
м'ясопродуктів у м. Чорноморськ

## ВСТУП

Враховуючи аграрний потенціал України, варто звернути особливу увагу на підтримку на сучасному рівні сільськогосподарських підприємств і підприємств м'ясомолочної промисловості.

Обробка холодом є одним з найбільш ефективних методів консервації харчових продуктів. Втрати плодів, овочів і картоплі при використанні традиційних технологій зберігання без штучного холоду складають не менше 30%. На прикладі урожаю 1990 р., коли падіння сільськогосподарського виробництва ще не досягало сьогоденного рівня було показано, що при мінімальних 30%-вих втратах картоплі при зберіганні і транспортуванні кількість безрезультатно використаних орних земель склало приблизно 429 тис. га, а сума марних енергетичних витрат – приблизно 13,95 Гвт.ч. При цьому так само був завданий величезного екологічного збитку навколишньому середовищу. В той же час при використанні штучного холоду для збереження загубленої маси картоплі необхідно було б витратити всього 0,529.109 кВт.ч або всього 3,8% загальної величини попередніх енергетичних витрат, вкладених у виробництво картоплі.

Відповідно до даними по Україні в цілому в тваринництві витрачається приблизно 40% енергій споживаної всім сільським господарством, і це свідчить про надзвичайно високу приховану енергетичну цінність кінцевої продукції цієї галузі. У зв'язку з тим, що забійний вихід м'яса великої рогатої худоби складає всього 54-63% енергетичних витрат, віднесених до забійної маси, значно вище. Очевидно, що втрати кінцевої продукції тваринництва в процесі зберігання і транспортування надають дуже значну дію на рівень енергоспоживання в сільськогосподарській галузі в цілому.

Аналіз існуючих методів обробки і зберігання м'яса, виконаний в роботі, свідчить про те, що застосування штучного холоду у даній галузі альтернативи не має.

						Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потрібно відзначити, що система зберігання сільськогосподарської продукції відрізняється від холодильних систем інших галузей сезонною періодичністю і змінною динамікою надходження вантажів.

Само по собі використання штучного холоду надає позитивна дія на природне середовище, з погляду раціонального використання сільськогосподарської сировини і продуктів харчування. Дійсно, в останні десятиліття технологічний розвиток промисловості орієнтований на реалізацію мерів направлених на економію енергетичних ресурсів і зниження антропогенного навантаження на природу. В той же час, з кожним роком потреба в сільськогосподарських продуктах харчування збільшується, що пов'язане із зростанням чисельності населення нашої планети. З іншого боку, постійно зменшується кількість і якість земельних ресурсів. Виробництво продуктів харчування вимагає достатньо великих витрат енергії. Тому зниження втрат сільськогосподарської сировини при його зберіганні дуже важливе.

У зв'язку з вищесказаним можна відзначити, що застосування холодильних технологій зберігання сільськогосподарської продукції є безальтернативним способом зменшення енергетичних втрат і негативної техногенної дії на навколишнє середовище, а так само захисту населення від харчового і енергетичного дефіциту.

Очевидно, що застосування холодильних технологій доцільне тільки в тих випадках, коли зменшення екологічного збитку від втрат продукції не супроводжується таким зростанням негативної дії виробництва холоду на навколишнє середовище, при якому його застосування стає даремним і навіть шкідливим.

Перспективу використання різних методів холодильної технології, слід оцінювати, виходячи з можливості економії продуктів харчування, забезпечення високоякісними продуктами населення, що збільшується, в

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умовах обмеженості сільськогосподарських земель, води, енергії, необхідних для інтенсифікації сільського господарства. За даними Міжнародного Інституту Холоду (МІХ) створення безперервного холодильного ланцюга дозволяє заощадити до 30% найбільш цінних продуктів тваринництва і рослинництва, які зараз безповоротно втрачаються.

В даний час зусилля багатьох учених направлені на розробку сучасних систем, що охолоджують, апаратів і пристроїв, що дозволяють підвищити ефективність безперервного холодильного ланцюга. У роботах відмічено, що запобігання втратам продуктів при використанні холоду – це зрештою збереження їх якості, економія праці, енергії, палива, води і інших ресурсів, зменшення забруднення природного середовища, зниження антропогенного навантаження на екосистеми.

При цьому слід зазначити, що дуже важливу роль при створенні безперервного холодильного ланцюга грає рефрижераторний транспорт, зокрема залізничні вагони-рефрижератори, призначені для перевезення в охолоджену або заморожену вигляді плодово-овочевої і м'ясної сировини.

У зв'язку зі всім сказаним вище, завдання розробки залізничного рефрижераторного транспорту слід вважати достатньо актуальним.

Як відомо в основі м'ясо переробки, очолююче місце займає «холод», це і камери охолодження, камери схову, камери заморожування, що переробляють цехи, в яких теж необхідно підтримувати певні кліматичні умови, не кажучи про камери дозрівання і плиткові установки заморожування блокового м'яса.

Зупинимося небагато на заморожуванні м'яса, і тут теж можуть бути різні підходи в рішенні цього питання, і всі вони мають право на життя.

Основним критерієм якості заморожування є швидкість утворення кристалів льоду з вологи що знаходиться в клітках продукту.

Чим швидкість заморожування вища, тим менше вологи буде виділено з клітки в міжклітинний простір, а отже менше мікроелементів буде виведено

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з цією вологою, при швидкому заморожуванні вітаміни і мікроелементи не віддаляються з клітинної рідини. Окрім цього розміри кристалів льоду при швидкому заморожуванні менші, ніж, при повільній, що значно впливає на якість і зовнішній вигляд продукту.

Для заморожування м'яса в тушах використовуються холодильні камери, процес заморожування буває одне або двофазним. Перевага однофазного заморожування полягає в тому, що продукт при цьому не втрачає у вазі, і зберігаються всі корисні споживчі властивості. Але витрати на електроенергію при цьому зростають, ніж при двофазному заморожуванні. Тут право вибору виробника, для інформації - в розвинених країнах застосовується в основному однофазне заморожування м'яса.

#### Збереження м'яса за допомогою низьких температур

«М'ясо» - харчовий продукт забою у вигляді туші (напівтуші, чверті, полуфабрикату), що представляє сукупність м'язової, жирової, сполучної і кісткової тканини.

«Свіже м'ясо» - продукція, що отримується з тварин безпосередньо після забою і що зберігається тільки за допомогою охолодження.

«Парне м'ясо» - м'ясо після забою, до настання стадії того, що посмертного залякнуло.

«Охолоджене м'ясо» - парне м'ясо, що пройшло цикл охолодження з температурою в стегні 0, – 4°C, після завершення стадії того, що посмертного залякнуло, з не зволоженою поверхнею, що має скориночку підсихання.

«Заморожене м'ясо» - парне або охолоджене м'ясо, піддане заморожуванню до температури в товщі м'язів не вище -8°C.

М'ясні продукти охолоджують до температур, близьких до їх криоскопічної температури почала утворення кристалів льоду з тканинних соків. Якщо м'ясо охолоджене до температури, що вище рекомендується, це погіршує його якість і зменшує терміни зберігання. На тривалість зберігання

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

охолоджених м'ясних продуктів впливають також швидкість охолодження і вид упаковки.

Те, що залякнуло мускулатури після забою тварини є наслідком розвитку складних взаємозв'язаних ферментативних процесів. Початок того, що залякнуло супроводжується зниженням вологудерживаючої здатності м'язів. Услід за цим поступає особливий протеолітичний процес, званий автолизом, або дозріванням, внаслідок чого збільшується ніжність м'яса і поліпшується його аромат.

Автоліз – процес розщеплювання складових частин м'язових тканин під впливом ферментів, що містяться в них, не втрачають своїх властивостей після забою тварини. ферменти діють в початковій стадії автолізу особливо інтенсивно. разом з амінокислотами — кінцевими продуктами автолітичного розпаду білків – утворюються так звані м'ясні підстави, азотисті з'єднання.

Низька температура (навіть до  $-25^{\circ}\text{C}$ ) не инактивує ферменти, а тільки знижує їх активність. З цього витікає, що м'ясо дозріває при низьких температурах, але автолітичні процеси протікають повільніше і тому завершуються через більш тривалий час. Так, наприклад, за даними проф. Головкина Н. А. яловиче м'ясо при зберіганні в мороженому вигляді (температура  $-12^{\circ}\text{C}$ ) дозріває за три місяці. Ці ж процеси завершуються в яловичому м'ясі за 15 ч при температурі  $+12^{\circ}\text{C}$ .

Встановлено, що із збільшенням швидкості охолодження м'яса знижуються втрати маси але при цьому сповільнюються автолітичні процеси, які не встигають завершитися в м'ясі до кулінарної обробки.

На підставі досліджень різних авторів (Х. Німайер, Х. Бурці, А.П. Шеффер І. Г. Чумак і ін.) в області технології охолодження м'яса сформульовані основні вимоги до режимів обробки м'ясопродуктів:

а) В цілях зменшення розвитку мікрофлори м'ясо повинне поступати на охолодження негайно після первинної обробки, щоб поверхневий шар напівтуші як можна швидше піддавався дії низьких температур.

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) Тривалість охолодження повинна бути мінімальною, що гарантує найменші втрати маси і отримання хорошого забарвлення м'яса.

в) Для протікання процесів автолізу відповідних стадій дозрівання і досягнення потрібній консистенції охолоджене м'ясо витримують в камерах схову 2+3 доби.

г) Для протікання процесів автолізу і досягнення потрібної консистенції м'ясо витримують при температурі +12 °С протягом 15 ч або обробляють струмом. При цьому можна сумістити декілька технологічних операцій - оброблення, фасову, упаковку маркіровку і укладання м'яса в контейнери.

Подальшу термічну обробку необхідно проводити з максимальною швидкістю, при цьому якісні і смакові показники м'яса будуть найбільш високі.

#### Охолодження м'яса

На характер і глибину змін в м'ясі при охолодженні впливають вигляд і якість сировини, а також режими холодильної обробки. Залежно від величини туш, температури, відносної вологості, циркуляції повітря і часу процесу охолодження, втрати маси м'яса складають від 0,7 до 2,6%.

Охолоджують м'ясні напівтуші в повітряному середовищі різними способами:

- а) шокове охолодження;
- б) швидке охолодження;
- в) надшвидке охолодження.

Розрізняють по стадіях охолодження:

- а) одностадійне;
- б) двохстадійне;
- в) трьохстадійне.

Одностадійний метод охолодження парного м'яса (швидке охолодження)

						Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одностадійне охолодження свинячих, яловичих напівтуш здійснюється в холодильних камерах при температурі повітря  $0 \div -3^{\circ}\text{C}$ , швидкостях руху повітря  $0,5 \div 2$  м/с, відносній вологості  $85 \div 90\%$ , протягом  $24 \div 36$  ч.

Норма усихання для одностадійного охолодження складає  $1,4 \div 2$  % від маси парного м'яса.

Парне м'ясо завантажують в камеру, заздалегідь охолоджену до необхідної температури  $0^{\circ}\text{C}$ . Проте, після завантаження камери парним м'ясом температура в камері підвищується унаслідок великих теплових потоків. Тому збільшується час процесу охолодження і підвищуються вагові втрати.

Перевага цього методу в тому, що із-за великого часу охолодження попереджається скорочення м'язів м'яса при охолодженні. Недоліки методу – значні втрати у вазі (при великих об'ємах), потрібні додаткові площі для розміщення камер охолодження

#### Двохстадійний метод охолодження парного м'яса (шокове охолодження)

Після забою туші проходять через камеру охолодження на підвісному конвеєрі, піддаються дії повітряного потоку при низьких температурах, визначуваних холодильною технологією. При постійній продуктивності лінії забою теплове навантаження на холодильне устаткування залишається постійним за часом. За рахунок цього в камері підтримується постійна температура повітря, швидко знижується температура на поверхні продукту, сповільнюються біологічні процеси в м'ясі, значно зменшуються вагові втрати в порівнянні з швидким охолодженням.

Охолодження свинячих напівтуш на першому етапі здійснюється в холодильних камерах при температурі повітря  $-6 \div -12^{\circ}\text{C}$ , швидкостях руху повітря  $2 \div 3$  м/с, відносній вологості  $85 \div 90\%$ , протягом 2 ч.

						Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Охолодження яловичих напівтуш на першому етапі здійснюється в холодильних камерах при температурі повітря  $-3 \div -5^{\circ}\text{C}$ , швидкостях руху повітря  $1 \div 2$  м/с, відносній вологості 85 - 90%, протягом  $3 \div 5$ ч. Подальше охолодження проводиться в холодильних приміщеннях з температурою  $0 \div +2^{\circ}\text{C}$ , швидкостях руху повітря  $0,1 \div 0,3$  м/с, відносній вологості  $90 \div 95\%$ , протягом  $12 \div 24$ ч.

Норма усихання для двохстадійного методу охолодження складає  $1,1 \div 1,6$  % від маси парного м'яса.

Охолоджене м'ясо по цьому методу має великі терміни зберігання, володіє гарним товарним виглядом, володіє високою стійкістю при зберіганні.

Слід пам'ятати, що при одностадійному методі охолодження м'яса в напівтушах час процесу достатньо великий, поверхня туш покривається суцільною товстою скориночкою підсихання, яка під дією вологого повітря може набухати, що знижує стійкість м'яса. При двохстадійному методі охолодження м'яса в напівтушах час процесу значно менший, на поверхні туші утворюється проникна і прозора скориночка підсихання, що забезпечує поглинання кисню і сприяє стабілізації червоного кольору і гарному товарному вигляду протягом тривалого часу.

#### Заморожування м'яса в напівтушах

Заморожуванню м'яса запобігає розвиток мікробіологічних процесів і різко знижує швидкість ферментативних і фізико-хімічних реакцій, забезпечує тривале низькотемпературне зберігання. Заморожене м'ясо відповідно до НТД охолоджують до температури в товщі м'язів не вище  $-8^{\circ}\text{C}$ . При заморожуванні з м'ясного соку (після переходу інтервалу температур  $-0,6 \div +1,2^{\circ}\text{C}$ ) починається виморожування води. Кількість і величина кристалів льоду, що утворюються при замерзанні рідини, рівномірність розподілу його між клітками і міжклітинною речовиною, а також по товщині продукту залежать від швидкості заморожування.

						Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При повільному заморожуванні (при  $T_{кам} = -10 \div -20^{\circ}\text{C}$ ) і відносно невеликій швидкості тепловідводу, змінюється первинне співвідношення об'ємів міжклітинного і внутріклітинного простору в результаті дифузії вологи і фазового переходу води: у міжклітинній речовині утворюються крупні кристали, а в клітках, які зневоднюються, кристалів немає. Від розмірів кристалів льоду, що утворюються, залежить ступінь збереження цілісності структури тканин, оскільки крупні кристали льоду можуть розривати м'язові волокна.

При швидкому заморожуванні м'яса (при  $T_{кам} = -30 \div -35^{\circ}\text{C}$ ) кристали льоду утворюються не тільки в міжклітинному просторі, але і безпосередньо в клітках. Швидкому заморожуванню запобігає дифузійний перерозподіл вологи і розчинених речовин, що сприяє утворенню дрібних, рівномірно розподілених кристалів. В цьому випадку характер розподілу води, що виморозила, мало відрізняється від характеру розподілу її в свіжому м'ясі і майже не викликає гістологічних змін в м'язовій тканині. М'ясо швидкого заморожування має рожевий відтінок, після відтавання менше відрізняється за смаковими і живильними властивостями від охолодженого. У такому м'ясі білки денатурують у меншій мірі, втрати м'ясного соку при розморожуванні зменшуються унаслідок збереження здатності білків до набухання.

Властивості м'яса після його зберігання істотним чином залежать від глибини автолітичних змін тканин до моменту повного заморожування. У м'ясі, замороженому в парному стані однофазним способом, активність ферментів зберігається досить добре. Процес дозрівання його після розморожування багато в чому аналогічний дозріванню не мороженого м'яса і приводить до підвищення ніжності і накопичення продуктів, що надають доброму смаку і аромату. Двофазне заморожування м'яса, замороженого до моменту дозволу того, що посметрого залякнуло, по смакових властивостях не відрізняється від м'яса, замороженого в парному стані. Проте під час розморожування і подальшій обробці таке м'ясо втрачає багато м'ясного соку унаслідок порушення в процесі автолізу багатьох

									Арк.
									14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

мікроструктур і цілісності мембран. Дозрівання такого м'яса після розморожування не завжди приводить до достатнього поліпшення ніжності, що пояснюється втратою активності ферментів. М'ясо в напівтушах заморожують на підвісних шляхах спеціальних камер однофазним або двофазним способом. При однофазному способі м'ясо в напівтушах заморожується без попереднього охолодження. Технологічні вимоги, що пред'являються до процесу заморожування м'яса, передбачають швидке його протікання і завершення до настання того, що послеубойного залякнуло.

Вимоги до процесу однофазного заморожування парного м'яса:

$$t_{\text{кам}} = -30 \div -35^{\circ}\text{C};$$

Час заморожування – не більше 24 ÷ 30 ч (яловичина), 18 ÷ 24ч свинина);

Швидкість повітряного потоку більше 2 м/с.

Завантаження і розвантаження камер повинні проводитися безперервно.

При двофазному способі м'ясо в напівтушах заморожується після попереднього охолодження до температури в стегні 0 ÷ +4°C.

Гідністю однофазного способу є скорочення тривалості заморожування м'яса, ефективніше використання виробничих площ. Втрати маси при однофазному заморожуванні залежно від категорії угодованої – 1,6 ÷ 2,1%, при двофазному заморожуванні вони збільшуються до 2,0 ÷ 2,6%.

### М'ясожирове виробництво

Комплекси по забою свиней і КРС об'єднують в собі багато виробничих етапів, починаючи від прийому тварин до видачі готовій продукції. М'ясожирове виробництво є найважливішою ланкою в ланцюжку будь-якого забійного комплексу, яке не може обходитися без холодильного устаткування.

Охолодження необхідне:

сировинні приміщення;

						Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перехідні галереї, коридори, експедиції;  
обробка субпродуктів;  
санітарні камери;  
камери схову голів, червоних органів і так далі

#### Ковбасне виробництво

Виробітку доброякісних ковбасних виробів можна забезпечити лише при дотриманні певних температурних і воложностних режимів.

Холодильна техніка в ковбасному виробництві дозволяє:

а) знизити температуру в приміщеннях для зберігання сировини, готової продукції і засолу м'яса до температури, близької до 0°C, що уповільнює процеси життєдіяльності бактерій;

б) підтримувати температуру у виробничих приміщеннях в межах +10 ÷ +12°C, що перешкоджає появі і розмноженню мух;

в) забезпечити виробництво ковбасних виробів льодом і крижаною водою.

Проектований холодильник умовною місткістю 600 тонн є холодильним складом підприємства, дрібнооптової торгової фірми. По умові Завдання на проектування, торговий холодильник повинен забезпечити зберігання м'ясної групи товарів.

На підставі умов і вимог для камер збереження м'ясних продуктів використовуємо двох ступінчасту холодильну установку на температуру кипіння мінус 35°C обладнану поршневыми компресорами із холодоагентом R717(аміак) з безпосереднім кипінням в трубах повітроохолоджувача. Для камери попереднього охолодження, вибираємо одноступінчасту холодильну установку на температуру кипіння мінус 10°C. Усі камери забезпечені пристінностельовими повітроохолоджувачами. Перед вступом парного м'яса в камеру охолодження його обробляють і упаковують в картонні ящики.

						Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Пропонується проект холодильника, розташованого в місті Чорноморськ. Виділена площадка для будівництва проектованого об'єкта перебуває в промисловій зоні міста й розміри її дозволяють у перспективі розмістити тут склади продтоварів і промтоварів.

Рельєф площадки вимагає великого обсягу планувальних робіт.

Під'їзна залізнична колія відсутня.

Будинок холодильника одноповерховий з висотою камер 6 м, сітка колон 9 x 12 м. В 5-х камерах з температурним режимом  $-4^{\circ}\text{C}$  передбачається тривале зберігання охолодженого м'яса, одна камера  $-18^{\circ}\text{C}$  для зберігання замороженого м'яса. Холодильник повинен забезпечувати населення міста Чорноморськ й окружні райони м'ясом.

Проектом передбачається використання вантажно-розвантажувальних роботах електронавантажувачів.

У цей час повітряне охолодження вважається найбільш кращою системою встаткування холодильних камер для охолоджених і заморожених вантажів. Широке використання повітряного охолодження доцільне внаслідок значних змін характеру вантажів, що зберігаються, способу їхнього впакування, удосконалювання конструкцій повітроохолоджувачів. Характерним для повітроохолоджувачів сучасних конструкцій є значне зниження енергетичних витрат на їхню роботу завдяки оптимізації теплообмінної поверхні. Зменшення потужності електродвигунів повітроохолоджувачів знижують вплив теплового еквівалента на режим зберігання вантажів.

Будівництво холодильника в місті Чорноморськ виявилось доцільно, це пояснюється фактичним зниженням потреб даного міста в харчовій продукції.

						Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ВИЗНАЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ПЛОЩІ КАМЕР ХОЛОДИЛЬНИКА

### 2.1 Розрахунок будівельної площі для камер збереження охолодженого м'яса

Вантажний об'єм:

$$V_{\text{гр}} = \frac{E}{q_v} = \frac{600}{0,35} = 1714 \text{ м}^3 \quad (2.1)$$

де  $q_v = 0,35 \text{ т/м}^3$  - норма навантаження умовного вантажу

Вантажна площа:

$$F_{\text{гр}} = \frac{V_{\text{гр}}}{h_{\text{гр}}} = \frac{1714}{4} = 428 \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

Будівельна площа:

$$F_{\text{стр}} = \frac{F_{\text{гр}}}{\beta} = \frac{428}{0,85} = 503 \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт використання окремої площі

Кількість будівельних прямокутників (приймаємо сітку колон  $9 \times 12 \text{ м.}$ )

$$n_{\text{стр}} = \frac{F_{\text{стр}}}{f_{\text{стр}}} = \frac{503}{108} = 4,65 \quad (2.4)$$

приймаємо  $n_{\text{стр}}^{\text{д}} = 5$

де  $f_{\text{стр}} = 9 * 12 = 108 \text{ м}^2$  - площа одного будівельного прямокутника

Дійсна ємкість холодильника полягає:

$$E^{\text{д}} = E * \frac{n_{\text{стр}}^{\text{д}}}{n_{\text{стр}}} = 600 * \frac{5}{4,65} = 645 \text{ тонн} \quad (2.5)$$

### 2.2 Розрахунок будівельної площі для камер збереження замороженого м'яса

Вантажний об'єм:

$$V_{\text{гр}} = \frac{E}{q_v} = \frac{100}{0,35} = 286 \text{ м}^3 \quad (2.7)$$

де  $q_v = 0,35 \text{ т/м}^3$  - нормальна навантаження умовного вантажу

Вантажна площа:

					Арк.
					18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$F_{гр} = \frac{V_{гр}}{h_{гр}} = \frac{286}{4} = 71,5 \text{ м}^2 \quad (2.8)$$

Будівельна площа:

$$F_{стр} = \frac{F_{гр}}{\beta} = \frac{71,5}{0,7} = 102 \text{ м}^2 \quad (2.9)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт використання окремої площі

Кількість будівельних прямокутників (приймаємо сітку колон  $9 \times 12 \text{ м}$ .)

$$n_{стр} = \frac{F_{стр}}{f_{стр}} = \frac{102}{108} = 0,94 \quad (2.10)$$

приймаємо  $n_{стр}^{\partial} = 1$

де  $f_{стр} = 9 * 12 = 108 \text{ м}^2$  - площа одного будівельного прямокутника

Дійсна ємкість холодильника полягає:

$$E^{\partial} = E \cdot \frac{n_{стр}^{\partial}}{n_{стр}} = 100 * \frac{1}{0,94} = 106 \text{ тонн} \quad (2.11)$$

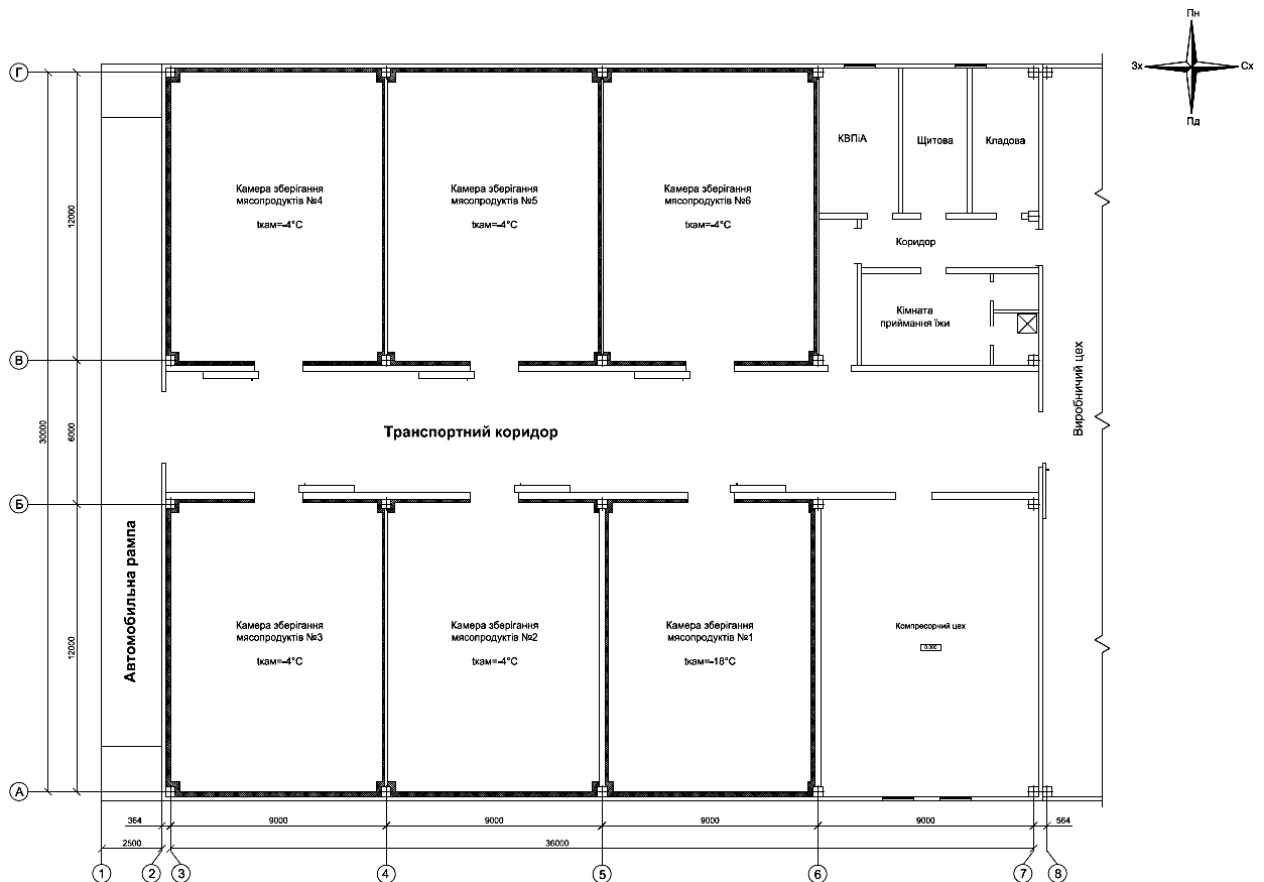


Рисунок 2.1 - План холодильника

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	19

### 3 РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ КАМЕР

Місто Чорноморськ відноситься до середньої кліматичної зони, і літня температура повітря  $33^{\circ}\text{C}$ . Середньорічна температура повітря  $9,8^{\circ}\text{C}$ .

Коефіцієнти теплопередачі обгороджувальних стін камери  $t_{\text{КАМ}} = -18^{\circ}\text{C}$

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін камер  $-18^{\circ}\text{C} / +33^{\circ}\text{C}$

$$K_{\text{ЗС}} = 0,25 \text{Вт} / (\text{м}^2 * \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі перегородок між камерами  $-18^{\circ}\text{C} / +24^{\circ}\text{C}$

$$K_{\text{НО}} = 0,33 \text{Вт} / (\text{м}^2 * \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін камери  $-18^{\circ}\text{C} / +18^{\circ}\text{C}$

$$K_{\text{ЗС}} = 0,3 \text{Вт} / (\text{м}^2 * \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі перегородок між камерами  $-18^{\circ}\text{C} / -4^{\circ}\text{C}$

$$K_{\text{ВН}(-18/-4)} = 0,28 \text{Вт} / (\text{м}^2 * \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі бесчердачного покриття камери  $-18^{\circ}\text{C} / +33^{\circ}\text{C}$

$$K_{\text{БП}} = 0,24 \text{Вт} / (\text{м}^2 * \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі підлоги, що обігривається, на ґрунті  $-18^{\circ}\text{C} / +1^{\circ}\text{C}$

$$K_{\text{ПД.}} = 0,23 \text{Вт} / (\text{м}^2 * \text{К})$$

Коефіцієнти теплопередачі обгороджувальних стін камер  $t_{\text{КАМ}} = -4^{\circ}\text{C}$

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін камер  $-4^{\circ}\text{C} / +33^{\circ}\text{C}$

$$K_{\text{НС}} = 0,35 \text{Вт} / (\text{м}^2 * \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі перегородок між камерами  $-4^{\circ}\text{C} / +18^{\circ}\text{C}$

$$K_{\text{НО}} = 0,41 \text{Вт} / (\text{м}^2 * \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі перегородок між камерами  $-4^{\circ}\text{C} / -4^{\circ}\text{C}$

$$K_{\text{ВН}} = 0,58 \text{Вт} / (\text{м}^2 * \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі бесчердачного покриття  $-4^{\circ}\text{C} / +33^{\circ}\text{C}$

$$K_{\text{БП}} = 0,34 \text{Вт} / (\text{м}^2 * \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі підлоги, що обігривається, на ґрунті  $-4^{\circ}\text{C} / +1^{\circ}\text{C}$

$$K_{\text{ПД.}} = 0,41 \text{Вт} / (\text{м}^2 * \text{К})$$

						Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщину теплоізоляційного шару розраховую по формулі :

$$\delta_{I3} = \left[ \frac{1}{\kappa} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] * \lambda_{I3} = [M] \quad (3.1)$$

де  $\kappa$ - коефіцієнт теплопередачі Вт/(м<sup>2</sup>К).

$\alpha_n$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої Вт/(м<sup>2</sup>К).

$\alpha_k$  - коефіцієнт тепловіддачі камери Вт/(м<sup>2</sup>К).

$\lambda_{I3}$  - коефіцієнт теплопровідності ізоляції Вт/(м<sup>2</sup>К).

$\delta_{I3}$  - товщина ізоляції м.

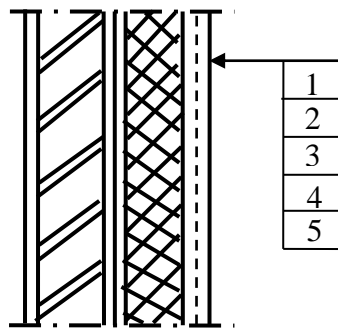
$\delta_i$  - товщина матеріалу м.

$\lambda_i$  - коефіцієнт теплопровідності матеріалу Вт/(м<sup>2</sup>К).

Дійсний коефіцієнт теплопередачі розраховую по формулі:

$$k_D = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{en}} + \frac{\delta_{I3}}{\lambda_{I3}}} = \left[ \frac{Вт}{м^2 * К} \right] \quad (3.2)$$

Розраховую товщину ізоляції для зовнішніх стін камер  $-18^{\circ}C / +33^{\circ}C$  (ЗОВ).



1. Теплоізоляція з сендвіч-панелі

$\delta$  - ? м.  $\lambda = 0,022$  Вт/(м \* К).

2. Пароізоляція - 2 шару гідроізола на бітумній мастиці

$\delta$  - 0,004 м.  $\lambda$  - 0,25 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,004}{0,25} = 0,016 \frac{м^2 К}{Вт}$$

3. Штукатурка цементно-піщана

$\delta$  - 0,02 м.  $\lambda$  - 1 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{м^2 К}{Вт}$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	21

4. Кладка цегляна на цементному розчині

$\delta - 0,38$  м.  $\lambda - 0,81$  Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,38}{0,81} = 0,469 \frac{m^2 K}{Bm}$$

5. Штукатурка складним розчином

$\delta - 0,02$  м.  $\lambda - 1$  Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{m^2 K}{Bm}$$

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,016 + 0,02 + 0,469 + 0,02 = 0,528 \frac{m^2 * K}{Bm}$$

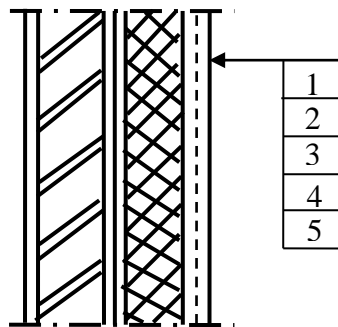
$$\delta_{из} = \left[ \frac{1}{K_{нс}} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] * \lambda_{из} = \left[ \frac{1}{0,25} - \left( \frac{1}{23} + 0,528 + \frac{1}{9} \right) \right] * 0,033 = 0,073 \text{ м.}$$

Приймаю товщину сендвіч-панелі 80 мм

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

$$k_d = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{он}} + \frac{\delta_{ИЗ}}{\lambda_{ИЗ}}} = \frac{1}{\frac{1}{23} + 0,528 + \frac{1}{9} + \frac{0,08}{0,022}} = 0,232 \frac{Bm}{m^2 * K}$$

Розраховую товщину ізоляції для зовнішніх стін камер  $-4^{\circ}C / +33^{\circ}C$  (ЗОВ.)



1. Теплоізоляція з сендвіч-панелі

$\delta - ?$  м.  $\lambda = 0,022$  Вт/(м \* К).

2. Пароізоляція - 2 шару гідроізола на бітумній мастиці

$\delta - 0,004$  м.  $\lambda - 0,25$  Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,004}{0,25} = 0,016 \frac{m^2 K}{Bm}$$

3. Штукатурка цементно-піщана

$\delta - 0,02$  м.  $\lambda - 1$  Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{m^2 K}{Bm}$$

4. Кладка цегляна на цементному розчині

$\delta - 0,38$  м.  $\lambda - 0,81$  Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,38}{0,81} = 0,469 \frac{m^2 K}{Bm}$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	22

### 5. Штукатурка складним розчином

$\delta$  - 0,02 м.  $\lambda$  - 1 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{m^2 K}{Bm}$$

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,016 + 0,02 + 0,469 + 0,02 = 0,528 \frac{m^2 * K}{Bm}$$

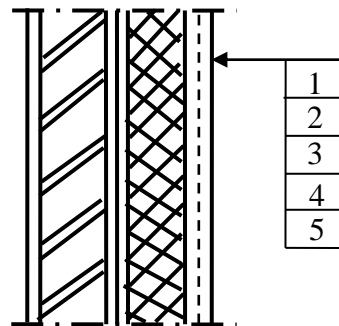
$$\delta_{из} = \left[ \frac{1}{K_{ис}} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] * \lambda_{из} = \left[ \frac{1}{0,35} - \left( \frac{1}{23} + 0,528 + \frac{1}{9} \right) \right] * 0,022 = 0,048 м.$$

Приймаю товщину шару сендвіч-панелі 80 мм

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

$$k_D = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{ИЗ}}{\lambda_{ИЗ}}} = \frac{1}{\frac{1}{23} + 0,528 + \frac{1}{9} + \frac{0,08}{0,022}} = 0,232 \frac{Bm}{m^2 * K}$$

Розраховую товщину ізоляції для перегородок  $-18^{\circ}C / +24^{\circ}C$  (НО.)



#### 1. Теплоізоляція з сендвіч-панелі

$\delta$  - ? м.  $\lambda$  = 0,022 Вт/(м \* К).

#### 2. Пароізоляція - 2 шару гідроізола на бітумній мастиці

$\delta$  - 0,004 м.  $\lambda$  - 0,3 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,004}{0,25} = 0,016 \frac{m^2 K}{Bm}$$

#### 3. Штукатурка цементний - піщана

$\delta$  - 0,02 м.  $\lambda$  - 1 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{m^2 K}{Bm}$$

#### 4. Кладка цегляна на цементному розчині

$\delta$  - 0,24 м.  $\lambda$  - 0,81 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,24}{0,81} = 0,296 \frac{m^2 K}{Bm}$$

#### 5. Штукатурка складним розчином

$\delta$  - 0,02 м.  $\lambda$  - 1 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{m^2 K}{Bm}$$

						Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,016 + 0,02 + 0,296 + 0,02 = 0,352 \frac{m^2 K}{Bm}$$

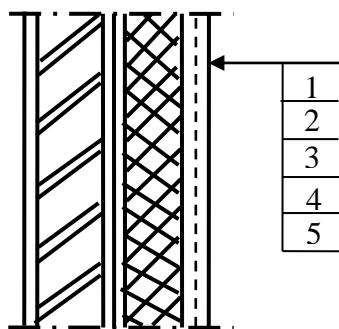
$$\delta_{из} = \left[ \frac{1}{K_{вн}} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right) \right] * \lambda_{из} = \left[ \frac{1}{0,33} - \left( \frac{1}{9} + 0,352 + \frac{1}{11} \right) \right] * 0,022 = 0,54 м.$$

Приймаю товщину ізоляційного шару 80 мм.

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

$$k_D = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}} = \frac{1}{\frac{1}{9} + 0,352 + \frac{1}{9} + \frac{0,08}{0,022}} = 0,237 \frac{Bm}{m^2 * K}$$

Розраховую товщину ізоляції для перегородок між камерами  $-18^{\circ}C / -4^{\circ}C$  (ОХ.)



1. Теплоізоляція з сендвіч-панелі

$\delta$  - ? м.  $\lambda = 0,022 \text{ Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

2. Пароізоляція - 2 шару гідроізола на бітумній мастиці

$\delta$  - 0,004 м.  $\lambda$  - 0,3  $\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,004}{0,25} = 0,016 \frac{m^2 K}{Bm}$$

3. Штукатурка цементний - піщана

$\delta$  - 0,02 м.  $\lambda$  - 1  $\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{m^2 K}{Bm}$$

4. Кладка цегляна на цементному розчині

$\delta$  - 0,24 м.  $\lambda$  - 0,81  $\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,24}{0,81} = 0,296 \frac{m^2 K}{Bm}$$

5. Штукатурка складним розчином

$\delta$  - 0,02 м.  $\lambda$  - 1  $\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{m^2 K}{Bm}$$

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,016 + 0,02 + 0,296 + 0,02 = 0,352 \frac{m^2 K}{Bm}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

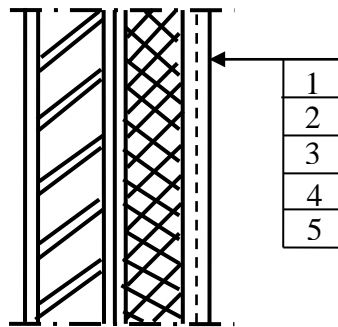
$$\delta_{uz} = \left[ \frac{1}{K_{вн}} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right) \right] * \lambda_{uz} = \left[ \frac{1}{0,28} - \left( \frac{1}{9} + 0,352 + \frac{1}{9} \right) \right] * 0,022 = 0,066 \text{ м.}$$

Приймаю товщину ізоляційного шару 80 мм.

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

$$k_D = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{ИЗ}}{\lambda_{ИЗ}}} = \frac{1}{\frac{1}{9} + 0,352 + \frac{1}{9} + \frac{0,08}{0,022}} = 0,237 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}}$$

Розраховую товщину ізоляції для зовнішніх стін камер  $-18^{\circ}\text{C} / +18^{\circ}\text{C}$  (ЗОВ.)



1. Теплоізоляція з сендвіч-панелі

$\delta$  - ? м.  $\lambda = 0,022 \text{ Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

2. Пароізоляція - 2 шару гідроізола на бітумній мастиці

$\delta$  - 0,004 м.  $\lambda$  - 0,25  $\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,004}{0,25} = 0,016 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

3. Штукатурка цементно-піщана

$\delta$  - 0,02 м.  $\lambda$  - 1  $\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

4. Кладка цегляна на цементному розчині

$\delta$  - 0,38 м.  $\lambda$  - 0,81  $\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,38}{0,81} = 0,469 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

5. Штукатурка складним розчином

$\delta$  - 0,02 м.  $\lambda$  - 1  $\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,016 + 0,02 + 0,469 + 0,02 = 0,525 \frac{\text{м}^2 * \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\delta_{uz} = \left[ \frac{1}{K_{нс}} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] * \lambda_{uz} = \left[ \frac{1}{0,3} - \left( \frac{1}{8} + 0,525 + \frac{1}{9} \right) \right] * 0,022 = 0,057 \text{ м.}$$

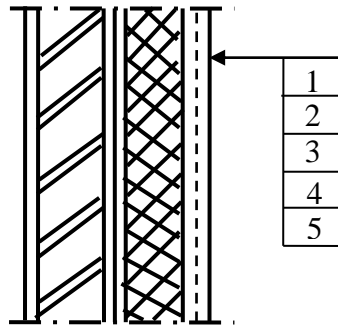
					Арк.
					25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Приймаю товщину ізоляційного шару 80 мм

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

$$k_D = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + 0,525 + \frac{1}{9} + \frac{0,08}{0,022}} = 0,227 \frac{Вт}{м^2 * К}$$

Розраховую товщину ізоляції для зовнішніх стін камер  $-4^{\circ}C / +18^{\circ}C$  (ЗОВ.)



1. Теплоізоляція з сендвіч-панелі

$\delta$  - ? м.  $\lambda = 0,022$  Вт/(м \* К).

2. Пароізоляція - 2 шару гідроізола на бітумній мастиці

$\delta$  - 0,004 м.  $\lambda$  - 0,25 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,004}{0,25} = 0,016 \frac{м^2 К}{Вт}$$

3. Штукатурка цементно-піщана

$\delta$  - 0,02 м.  $\lambda$  - 1 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{м^2 К}{Вт}$$

4. Кладка цегляна на цементному розчині

$\delta$  - 0,38 м.  $\lambda$  - 0,81 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,38}{0,81} = 0,469 \frac{м^2 К}{Вт}$$

5. Штукатурка складним розчином

$\delta$  - 0,02 м.  $\lambda$  - 1 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{м^2 К}{Вт}$$

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,016 + 0,02 + 0,469 + 0,02 = 0,525 \frac{м^2 * К}{Вт}$$

$$\delta_{из} = \left[ \frac{1}{K_{нс}} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] * \lambda_{из} = \left[ \frac{1}{0,41} - \left( \frac{1}{8} + 0,525 + \frac{1}{9} \right) \right] * 0,022 = 0,037 м.$$

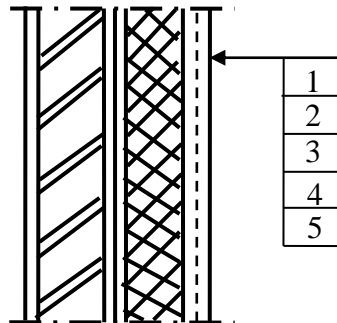
Приймаю товщину ізоляційного шару 40 мм

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

$$k_D = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{ИЗ}}{\lambda_{ИЗ}}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + 0,525 + \frac{1}{9} + \frac{0,04}{0,022}} = 0,39 \frac{Вт}{м^2 * К}$$

Розраховую товщину ізоляції для перегородок між камерами  $-4^{\circ}C / -4^{\circ}C (ВН)$



1. Теплоізоляція з шару сендвіч-панелі  
 $\delta$  - ? м.  $\lambda = 0,022 \text{ Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

2. Пароізоляція - 2 шару гідроізола на бітумній мастиці  
 $\delta$  - 0,004 м.  $\lambda$  - 0,3  $\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,004}{0,25} = 0,016 \frac{м^2 К}{Вт}$$

3. Штукатурка цементно-піщана  
 $\delta$  - 0,02 м.  $\lambda$  - 1  $\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{м^2 К}{Вт}$$

4. Кладка цегляна на цементному розчині  
 $\delta$  - 0,24 м.  $\lambda$  - 0,81  $\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,24}{0,81} = 0,296 \frac{м^2 К}{Вт}$$

5. Штукатурка складним розчином  
 $\delta$  - 0,02 м.  $\lambda$  - 1  $\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \frac{м^2 К}{Вт}$$

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,016 + 0,02 + 0,296 + 0,02 = 0,352 \frac{м^2 К}{Вт}$$

$$\delta_{из} = \left[ \frac{1}{K_{вн}} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right) \right] * \lambda_{из} = \left[ \frac{1}{0,58} - \left( \frac{1}{8} + 0,352 + \frac{1}{9} \right) \right] * 0,022 = 0,025 \text{ м.}$$

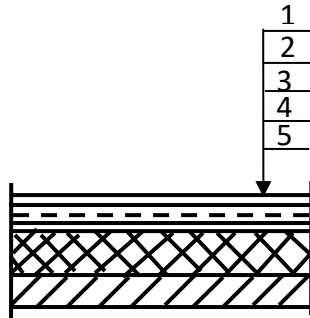
Приймаю товщину ізоляційного шару 40 мм.

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

$$k_D = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{ИЗ}}{\lambda_{ИЗ}}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + 0,352 + \frac{1}{9} + \frac{0,1}{0,022}} = 0,418 \frac{Вт}{м^2 * К}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Розраховую товщину ізоляції покриття камер збереження замороженого м'яса



1. 5 шарів гідроізола на бітумному стягуванні

$\delta$  - 0,012 м.  $\lambda$  - 0,25 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,012}{0,25} = 0,048 \frac{m^2 K}{Bm}$$

2. Стягування з бетону по металевій сітці

$\delta$  - 0,040 м.  $\lambda$  - 1,86 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,04}{1,86} = 0,022 \frac{m^2 K}{Bm}$$

3. Пароізоляція (шар пергаміну)

$\delta$  - 0,001 м.  $\lambda$  - 0,15 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,001}{0,15} = 0,007 \frac{m^2 K}{Bm}$$

4. Залізобетонна плита покриття

$\delta$  - 0,22 м.  $\lambda$  - 1,5 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,22}{1,5} = 0,147 \frac{m^2 K}{Bm}$$

5. Теплоізоляція з сендвіч-панелі

$\delta$  - ? м.  $\lambda$  = 0,022 Вт/(м \* К).

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,048 + 0,022 + 0,007 + 0,147 = 0,224 \frac{m^2 K}{Bm}$$

$$\delta_{из} = \left[ \frac{1}{K_{он}} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] * \lambda_{из} = \left[ \frac{1}{0,24} - \left( \frac{1}{23} + 0,224 + \frac{1}{7} \right) \right] * 0,022 = 0,087 \text{ м.}$$

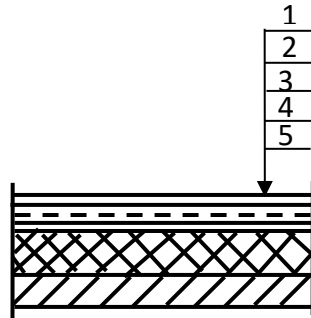
Приймаю товщину ізоляційного шару - 100 мм.

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

$$k_D = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{он}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}} = \frac{1}{\frac{1}{23} + 0,224 + \frac{1}{7} + \frac{0,1}{0,022}} = 0,202 \frac{Bm}{m^2 * K}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Розрахувати товщину ізоляції покриття камер збереження охолодженого м'яса



1. 5 шарів гідроізола на бітумному стягуванні

$$\delta - 0,012 \text{ м. } \lambda - 0,25 \text{ Вт/(м}^* \text{К).} \quad R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,012}{0,25} = 0,048 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

2. Стягування з бетону по металевій сітці

$$\delta - 0,040 \text{ м. } \lambda - 1,86 \text{ Вт/(м}^* \text{К).} \quad R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,04}{1,86} = 0,022 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

3. Пароізоляція (шар пергаміну)

$$\delta - 0,001 \text{ м. } \lambda - 0,15 \text{ Вт/(м}^* \text{К).} \quad R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,001}{0,15} = 0,007 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

4. Залізобетонна плита покриття

$$\delta - 0,22 \text{ м. } \lambda - 1,5 \text{ Вт/(м}^* \text{К).} \quad R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,22}{1,5} = 0,147 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

5. Теплоізоляція з сендвіч-панелі

$$\delta - ? \text{ м. } \lambda = 0,022 \text{ Вт/(м}^* \text{К).}$$

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,048 + 0,022 + 0,007 + 0,147 = 0,224 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\delta_{из} = \left[ \frac{1}{K_{он}} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] * \lambda_{из} = \left[ \frac{1}{0,34} - \left( \frac{1}{23} + 0,224 + \frac{1}{7} \right) \right] * 0,022 = 0,056 \text{ м.}$$

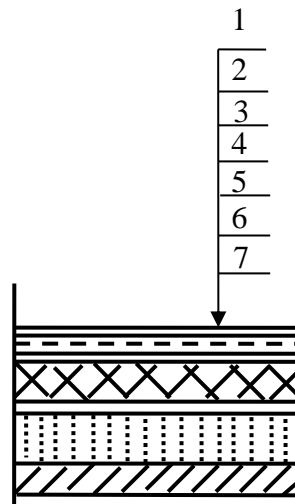
Приймаю товщину ізоляційного шару - 80 мм.

Дійсний коефіцієнт теплопередачі

$$k_D = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{он}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}} = \frac{1}{\frac{1}{23} + 0,224 + \frac{1}{7} + \frac{0,080}{0,022}} = 0,247 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}}$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	29

Розраховую товщину ізоляції для підлоги камер збереження замороженого м'яса



1. Монолітне бетонне покриття з важкого бетону.

$$\delta - 0,04 \text{ м. } \lambda - 1,86 \text{ Вт/(м}^* \text{К)} \quad R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,04}{1,86} = 0,022 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

2. Армобетонная стягування

$$\delta - 0,08 \text{ м. } \lambda - 1,86 \text{ Вт/(м}^* \text{К)}. \quad R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,08}{1,86} = 0,043 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

3. Пароізоляція (1 шар пергаміну)

$$\delta - 0,001 \text{ м. } \lambda - 0,15 \text{ Вт/(м}^* \text{К)}. \quad R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,001}{0,15} = 0,006 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

4. Керамзіт

$$\delta - ? \text{ м. } \lambda - 0,15 \text{ Вт/(м}^* \text{К)}.$$

5. Цементно-піщаний розчин

$$\delta - 0,025 \text{ м. } \lambda - 0,98 \text{ Вт/(м}^* \text{К)}. \quad R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,025}{0,98} = 0,026 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

6. Ущільнений пісок

$$\delta - 1,35 \text{ м. } \lambda - 0,58 \text{ Вт/(м}^* \text{К)}. \quad R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{1,35}{0,58} = 2,338 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

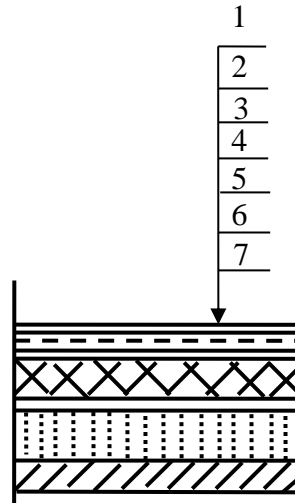
7. Бетонна підготовка з електронагрівачами

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,022 + 0,043 + 0,006 + 0,026 + 2,338 = 2,435 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\delta_{uz} = \left[ \frac{1}{K_{nc}} - \left( \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right) \right] * \lambda_{uz} = \left[ \frac{1}{0,23} - \left( \frac{1}{7} + 2,435 \right) \right] * 0,15 = 0,265 \text{ м}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Розрахувати товщину ізоляції для підлоги камер збереження охолодженого м'яса



1. Монолітне бетонне покриття з важкого бетону.

$\delta$  - 0,04 м.  $\lambda$  - 1,86 Вт/(м \* К)

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,04}{1,86} = 0,022 \frac{m^2 K}{Wm}$$

2. Армобетонная стягування

$\delta$  - 0,08 м.  $\lambda$  - 1,86 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,08}{1,86} = 0,043 \frac{m^2 K}{Wm}$$

3. Пароізоляція (1 шар пергаменту)

$\delta$  - 0,001 м.  $\lambda$  - 0,15 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,001}{0,15} = 0,006 \frac{m^2 K}{Wm}$$

4. Керамзіт

$\delta$  - ? м.  $\lambda$  - 0,15 Вт/(м \* К).

5. Цементно-піщаний розчин

$\delta$  - 0,025 м.  $\lambda$  - 0,98 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,025}{0,98} = 0,026 \frac{m^2 K}{Wm}$$

6. Ущільнений пісок

$\delta$  - 1,35 м.  $\lambda$  - 0,58 Вт/(м \* К).

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{1,35}{0,58} = 2,338 \frac{m^2 K}{Wm}$$

7. Бетонна підготовка з електронагрівачами

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = 0,022 + 0,043 + 0,006 + 0,026 + 2,338 = 2,435 \frac{m^2 K}{Wm}$$

$$\delta_{из} = \left[ \frac{1}{K_{нс}} - \left( \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right) \right] * \lambda_{из} = \left[ \frac{1}{0,34} - \left( \frac{1}{7} + 2,435 \right) \right] * 0,15 = 0,054 м$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

#### 4 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОПРИПЛИВІВ

Тепловий баланс охолоджуваного приміщення.

Рівняння теплового балансу:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = Q_0 \quad (4.1)$$

де  $Q_1$  - теплопритоки через обгороджування, Вт;  
 $Q_2$  - теплопритоки від вантажів, Вт;  
 $Q_3$  - теплопритоки від вентиляції Вт;  
 $Q_4$  - експлуатаційні теплопритоки, Вт;  
 $Q_5$  - теплопритоки від дихання продуктів рослинного походження Вт;

Теплоприпливи через обгороджування.

Тепло через обгороджування проникає в камеру унаслідок наявності різниці температур  $Q_{1T}$  і поглинання теплоти сонячної радіації  $Q_{1C}$ .

$$Q_1 = Q_{1T} + Q_{1C} \quad (4.2)$$

Теплоприпливи унаслідок теплопередачі

$$Q_{1T} = k_o F (t_n - t_e) \quad (4.3)$$

де  $k_o$  - дійсний коефіцієнт теплопередачі обгороджування, визначений після прийняття товщини ізоляційного шару, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$F$  - теплопередаюча поверхня обгороджування, м<sup>2</sup>;

$t_n$  - розрахункова зовнішня температура повітря, °С;

$t_e$  - розрахункова температура повітря в камері, °С;

$$t_n = t_{cp.m.l.} \quad (4.4)$$

де  $t_{cp.m.l.}$  - середньомісячна температура о 13 годині найжаркішого місяця для м. Херсон  $t_n = 33$  °С

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплоприпливи від сонячної радіації визначаємо по формулі:

$$Q_{1C} = k_{\dot{a}} \cdot F \cdot \delta t_c \quad (4.5)$$

де  $\delta t_c$  - надлишкова різниця температур, викликана дією сонячної радіації.

для плоскої крівлі покритої гідроізолом  $\delta t_c = 18,9 \text{ }^\circ\text{C}$

Теплоприпливи через стіни, що відокремлюють камеру від неохолоджувальних приміщень:

$$Q_{1T} = k_{\dot{a}} \cdot F \cdot \delta t_{\dot{a}} \quad (4.6)$$

де  $\delta t_{\dot{a}}$  - розрахункова температурна різниця,  $^\circ\text{C}$

$$\delta t_{\dot{a}} = 0,7(t_n - t_k) \quad (4.7)$$

Теплоприпливи через підлогу

$$Q_{1T} = (k_{\text{усл}} \cdot F_{\text{зони}})(t_n - t_k) \quad (4.8)$$

де  $k_{\dot{o}\ddot{n}\ddot{e}}$  - умовний коефіцієнт теплопередачі відповідної зони підлоги двометрової ширини,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

Для зон, розташованих від зовнішніх стін

на відстані до 2м -  $k_{\dot{o}\ddot{n}\ddot{e}} = 0,47 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

від 2 до 4м -  $k_{\dot{o}\ddot{n}\ddot{e}} = 0,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

від 4 до 6м -  $k_{\dot{o}\ddot{n}\ddot{e}} = 0,12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

для решти площі -  $k_{\dot{o}\ddot{n}\ddot{e}} = 0,07 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

## Теплоприпливи від вантажів

$$Q_2 = \frac{G * (h_1 - h_2) * \tau_u}{0,0864 * \tau_p} \quad (4.9)$$

де  $G$  - добовий вступ продукту, т/сут;  
 $h_1 - h_2$  - різниця ентальпій, відповідна поч. і кінцевою  $T$ , кДж/кг;  
 $\tau$  - тривалість холодильної обробки, год. ;  $\tau = 24$  години

## Експлуатаційні теплоприпливи

Цей вид теплоприпливів виникає унаслідок наявності освітлення в камерах, перебування в них людей, роботи електродвигунів, відкриття дверей. Теплоприпливи слід визначати по кожному пункту окремо.

$$Q_4 = Q_4^I + Q_4^{II} + Q_4^{III} + Q_4^{IV} \quad (4.10)$$

де  $Q_4^I$  - теплоприпливи від освітлення, Вт.  
 $Q_4^{II}$  - теплоприпливи від електродвигунів, Вт;  
 $Q_4^{III}$  - теплоприпливи від перебування людей, Вт;  
 $Q_4^{IV}$  - теплоприпливи при відкритті дверей, Вт.

Розрахунок теплоприпливів від електричного освітлення.

$$Q_4^I = q_4' * j_{ce} * F_{cmp} \quad (4.11)$$

де  $q_4'$  - питома норма напруги світильників загального освітлення  
 $j_{ce}$  - коефіцієнт одночасної роботи світильників  
 $F_{cmp}$  - будівельна площа охолоджуваного приміщення.

Розрахунок теплоприпливів від електричних двигунів.

$$Q_4^{II} = 1000 * j_{\partial e} * \sum N_{\partial e} \quad (4.12)$$

де  $j_{\partial e}$  - коефіцієнт одночасності роботи електродвигунів.  
 $\sum N_{\partial e}$  - сума потужностей електродвигунів.

$$\sum N_{\partial e} = 1,2 * (Q_1 + Q_2 + Q_3) * m \quad (4.13)$$

$(Q_1 + Q_2)$  - сума теплоприпливів для всіх камер, кВт.  
 $m$  - коефіцієнт обумовлений як відношення потужності ел.дв. до

						Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

холодопродуктивності.

Розрахунок теплоприпливів від працюючих людей.

$$Q_4''' = q_4''' * n \quad (4.14)$$

де

$q_4'''$  - теплоприпливів однієї працюючої людини.

$n$  - кількість людей.

$$q_4''' = 270 - 6 * t_{\kappa} \quad (4.15)$$

Розрахунок теплоприпливів від відкриття дверей.

$$Q_4^{IV} = F * B \quad (4.16)$$

де  $F$  – будівельна площа камер (1 – 4), м<sup>2</sup>;

$B$  - питомий приплив тепла від відкритих дверей, Вт/м<sup>2</sup>.

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		













Таблиця 4.13 –Звідна таблиця теплоприпливів камери збереження заморожених продуктів  $t_{КАМ} = -18^{\circ}C$

№ Камери	$Q_{II} = Bm$	$Q_{KM} = Bm$
1	10577	
$\Sigma$		10577

Теплове навантаження компресорів

$$Q_{KM} = \frac{\varepsilon_y}{b_K} * Q_0 \quad (4.18)$$

$$Q_{KM}^{-18(XP)} = \frac{1,05}{0,9} * 10577 = 12,34кВт$$

Теплове навантаження випарника

$$Q_{II1} = 1,15 * Q_0 \quad (4.19)$$

$$Q_{II1} = 1,15 * 10577 = 12,16кВт$$

Таблиця 4.14 –Звідна таблиця теплоприпливів камер зберігання охолоджених продуктів  $t_{КАМ} = -4^{\circ}C$

№ Камери	$Q_{II} = Bm$	$Q_{KM} = Bm$
2	9372	
3	9872,3	
4	9872,3	
5	9133,6	
6	9513,3	
$\Sigma$		47762,9

Теплове навантаження компресорів

$$Q_{KM}^{-4(XP)} = \frac{\varepsilon_y}{b_K} * Q_0 = \frac{1,05}{0,9} * 47762,9 = 55,72кВт$$

Розрахунок необхідної поверхні приладів охолодження вестимемо по камері з найбільшими теплопритоками, в нашому випадку це камера №3.

Теплове навантаження випарника

$$Q_{II3} = 1,15 * 9872,3 = 11,35кВт$$



R 507 A

$$t_k = 45^{\circ}\text{C}, P_k = 1,8 \text{ МПа}$$

$$t_3 = t_k - \Delta t_k = 45 - 5 = 40^{\circ}\text{C} \quad (5.1)$$

$$t_1 = t_3 - \Delta t_{\text{ИДР}} = 40 - 20 = 20^{\circ}\text{C} \quad (5.2)$$

$$t_o = -30^{\circ}\text{C}, P_o = 0,21 \text{ МПа}$$

$$h_4 = h_3 + h_6 - h_1 = 378,2 + 250,1 - 389 = 228,1 \text{ кДж/кг} \quad (5.3)$$

Таблица 5.1 - Параметры холодильного агента для камеры с  $t_{\text{КАМ}} = -18^{\circ}\text{C}$

№ точки	t, °C	P, МПа	V, м <sup>3</sup> /кг	i, кДж/кг
1	20	0,21	0,113	389
2	94,5	1,8	0,015	443,2
3	40	1,8	-	378,2
4	20	1,8	-	228,1
5	-30	0,21	-	228,1
6	-25	0,21	-	350,1

$$t_o = -15^{\circ}\text{C}, P_o = 0,21 \text{ МПа}$$

$$h_4 = h_3 + h_6 - h_1 = 252,1 + 361 - 384,1 = 229 \text{ кДж/кг}$$

Таблица 5.2 - Параметры холодильного агента для камер с  $t_{\text{КАМ}} = -4^{\circ}\text{C}$

№ точки	t, °C	P, МПа	V, м <sup>3</sup> /кг	i, кДж/кг
1	20	0,4	0,055	384,1
2	90,1	1,8	0,014	425,8
3	40	1,8	-	252,1
4	21,2	1,8	-	229
5	-15	0,4	-	229
6	-10	0,4	-	361

1. Тепловий розрахунок і підбір компресорів для камери з  $t_{КАМ} = -18^{\circ}C$

$$Q_{KM}^{-18(XP)} = 12.34 \text{ кВт}$$

1. Питома масова холодопродуктивність.

$$q_0 = i_6 - i_5 = 350,1 - 228,1 = 122 \text{ кДж / кг} \quad (5.4)$$

2. Питома об'ємна холодопродуктивність

$$q_v = q_0 / v_1 = 122 / 0,194 = 1080 \text{ кДж / кг} \quad (5.5)$$

3. Витрата пари

$$M_A = Q_0 / q_0 = 12.34 / 122 = 0,1 \text{ кг / с} \quad (5.6)$$

4. Питоме тепло конденсації

$$q_K = i_2 - i_3 = 443,2 - 259,8 = 183,4 \text{ кДж / кг} \quad (5.7)$$

5. Тепловий потік в конденсаторі

$$Q_K = M_A * q_K = 0,1 * 183,4 = 18,5 \text{ кВт} \quad (5.8)$$

6. Питома адиабатна робота компресора

$$l = i_2 - i_1 = 443,2 - 389 = 54,2 \text{ кДж / кг} \quad (5.9)$$

7. Дійсна об'ємна продуктивність

$$V_D = M_A * v_1 = 0,1 * 0,113 = 0,0113 \text{ м}^3 / \text{с} \quad (5.10)$$

8. Коефіцієнт подачі, що враховує вплив мертвого простору

$$\lambda_c = 1 - c * \left[ \left( \frac{P_K}{P_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] = 1 - 0,015 * \left[ \left( \frac{1,8}{0,21} \right)^{1,05} - 1 \right] = 0,9 \quad (5.11)$$

9. Коефіцієнт, що враховує об'ємні втрати

$$\lambda'_w = (T_0 + \theta) / (\alpha * T_K + \beta * \theta) = (243 + 50) / (1,12 * 318 + 0,5 * 50) = 0,77 \quad (5.12)$$

10. Коефіцієнт подачі

$$\lambda = \lambda_c * \lambda'_w = 0,9 * 0,77 = 0,693 \quad (5.13)$$

11. Теоретичний об'єм, описаний поршнями

$$V_h = V_D / \lambda = 0,0113 / 0,693 = 0,0163 \text{ м}^3 / \text{с} \quad (5.14)$$

Підбираю поршневий компресор ВОСК НГ5/830-4

$$V_h = 0,02 \text{ м}^3 / \text{с}$$

2. Тепловий розрахунок і підбір компресорів для камер з  $t_{КАМ} = -4^{\circ}C$

$$Q_{KM}^{-4} = 55,72 \text{ кВт}$$

1. Питома масова холодопродуктивність

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_0 = 361 - 229 = 132 \text{ кДж / кг}$$

2. Питома об'ємна холодопродуктивність

$$q_v = 132 / 0,055 = 2400 \text{ кДж / кг}$$

3. Витрата пари

$$M_{A(OXЛ)} = 55,72 / 132 = 0,422 \text{ кг / с}$$

4. Питоме тепло конденсації

$$q_K = 425,8 - 252,1 = 173,7 \text{ кДж / кг}$$

5. Тепловий потік в конденсаторі

$$Q_{K(OXЛ)} = 0,422 * 173,7 = 73,3 \text{ кВт}$$

6. Питома адиабатна робота компресора

$$l = 425,8 - 384,1 = 41,7 \text{ кДж / кг}$$

7. Дійсна об'ємна продуктивність

$$V_{Д(OXЛ)} = 0,422 * 0,055 = 0,0232 \text{ м}^3 / \text{с}$$

8. Коефіцієнт подачі, що враховує вплив мертвого простору

$$\lambda_c = 1 - c * \left[ \left( \frac{P_K}{P_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] = 1 - 0,015 * \left[ \left( \frac{1,8}{0,4} \right)^{\frac{1}{1}} - 1 \right] = 0,9$$

9. Коефіцієнт, що враховує об'ємні втрати

$$\lambda'_w = (T_0 + \theta) / (\alpha * T_K + \beta * \theta) = (258 + 50) / (1,12 * 318 + 0,5 * 50) = 0,78$$

10. Коефіцієнт подачі

$$\lambda = \lambda_c * \lambda'_w = 0,9 * 0,78 = 0,702$$

11. Теоретичний об'єм, описаний поршнями

$$V_{h(OXЛ)} = 0,0232 / 0,702 = 0,034 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Підбираю поршневий компресор ВОСК НГ7/1620-4S

$$V_h = 0,039 \text{ м}^3 / \text{с}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

## 6 РОЗРАХУНОК ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА

6.1 Розрахунок повітроохолоджувача для камери з  $t_{КАМ} = -18^{\circ}C$

При проведенні розрахунку приймаю наступні параметри:  
теплове навантаження  
для камери збереження замороженого м`яса

$$Q_0^{КАМ.№1} = 12,16 \text{кВт}$$

температура повітря в приміщенні, що охолоджує  $t_k = -18^{\circ}C$ ;

відносна вологість повітря в камері  $\varphi = 95\%$

робоче тіло R507A

Геометричні розміри ребристої труби повітроохолоджувача, виготовленого методом литва під тиском:

труба:

зовнішній діаметр  $d_{ТР} = 0,025 \text{м}$ ;  
внутрішній діаметр  $d_{ВН} = 0,02 \text{м}$ ;  
товщина стінки  $\delta_T = 0,0025 \text{м}$   
матеріал (сталь)  $\lambda_T = 45 \text{Вт} / (\text{м} * \text{К})$

ребро:

висота  $h = 0,024 \text{м}$   
товщина у вершини  $\delta_{BP} = 0,0008 \text{м}$ ;  
товщина в підстави  $\delta_{OP} = 0,0012 \text{м}$ ;  
крок  $u = 0,012 \text{м}$ ;  
матеріал (алюміній)  $\lambda_p = 180 \text{Вт} / (\text{м} * \text{К})$ ;  
компоновка пучка труб шаховий пучок.

Товщина алюмінієвого чохла на зовнішній поверхні сталевій труби рівна  $\delta = 1,5 \text{мм}$ ; тоді зовнішній діаметр з врахуванням алюмінієвого чохла буде рівний:  $d_H = d_{ТР} + 2 * \delta = 0,025 + 2 * 0,0015 = 0,028 \text{м}$  (6.1)

Приймаємо діаметр ребра:

$$D = d_H + 2 * h = 0,028 + 2 * 0,024 = 0,076 \text{м};$$
 (6.2)

Крок труб в пучку:

поперечний (впоперек потоку повітря):

$$S_1 = (D + 2 * \delta_H) + 0,003 \text{м} = (0,076 + 2 * 0,003) + 0,003 = 0,085 \text{м};$$
 (6.3)

подовжній (уздовж потоку повітря):

$$S_2 = S_1 = (D + 2 * \delta_H) + 0,002 \text{м} = (0,076 + 2 * 0,003) + 0,002 = 0,085 \text{м}.$$
 (6.4)

діагональний:

$$S'_2 = \left[ S_2^2 + (S_1 / 2)^2 \right]^{0,5} = \left[ (0,085)^2 + (0,085 / 2)^2 \right]^{0,5} = 0,095 \text{м}.$$
 (6.5)

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

### 6.1.1 Тепловий розрахунок

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

Задаємося величиною підохолодження повітря в повітроохолоджувачі  $\Delta t_B = 2^\circ C$ .

Визначаємо температуру повітря на виході апарату:

$$t_2 = t_{\text{ВЫХ.В}} = t_k - \Delta t_B = -18 - 2 = -20^\circ C. \quad (6.6)$$

Визначаємо середню температуру повітря:

$$t_{\text{CP.В}} = 0,5 * (t_2 + t_k) = 0,5 * (-20 + -18) = -19^\circ C. \quad (6.7)$$

Приймаємо температуру кипіння фреону:

$$t_0 = t_{\text{CP.В}} - (10 \dots 15) = -19 - 11 = -30^\circ C. \quad (6.8)$$

Визначуваній температурний натиск:

$$\theta = t_{\text{CP.В}} - t_0 = -19 + 30 = 11^\circ C. \quad (6.9)$$

Вибираю теплофізичні властивості вологого повітря при визначальній температурі  $t_{\text{CP.В}} = -19^\circ C$ :

$\nu_B = 11,79 * 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$  - коефіцієнт кінематичної в'язкості,

$\lambda_B = 2,28 * 10^{-2} \text{ Вт} / (\text{м} * \text{К})$  - коефіцієнт теплопровідності,

$\text{Pr}_B = 0,716$  - число Прандтля,

$\rho_B = 1,395 \text{ кг} / \text{м}^3$  - щільність,

$C_B = 1,009 \text{ кДж} / (\text{кг} * \text{К})$  - питома теплоємність сухого повітря

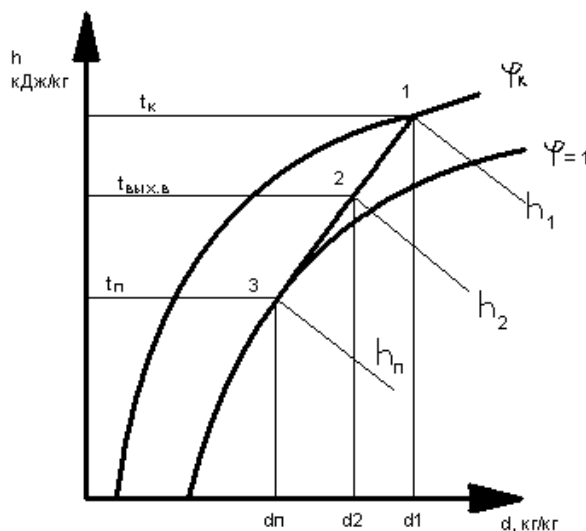


Рисунок 6.1 - Процес зміни стану повітря в повітроохолоджувачі в наступній послідовності:  $1 \rightarrow II \rightarrow 2$  (см. рис)

Для цього задаємося середньою температурою поверхні повітроохолоджувача (інею)  $t_{II}$  з умови, що  $t_0 < t_{II} < t_k$ , використовуючи приблизне співвідношення :

$$t_{II} = t_k - (0,1 \div 0,8) * \theta = -18 - 0,4 * 11 = -22,4^\circ C. \quad (6.10)$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	48

По діаграмі  $h-d$ , с допомогою розрахункових залежностей, приведених нижче, визначаємо параметри повітря ( $h, d, t$ ).

Таблиця 6.1 - Параметри повітря

№ точки	$t, ^\circ C$	$d \cdot 10^{-3}, \text{кг} / \text{кг}$	$h, \text{кДж} / \text{кг}$	$\varphi, \%$
1	-18	0,8	-16	90
2	-20	0,66	-18	94
3(п)	-22,4	0,5	-21	100

Грунтуючись на принципі подібності трикутників (см. мал), можна записати:

$$(d_1 - d''_{II}) / (t_1 - t_{II}) = (d_1 - d_2) / (t_1 - t_2) \quad (6.11)$$

Звідси невідоме значення вмісту вологи повітря на виході апарату буде рівне:

$$\begin{aligned} d_2 &= d_1 - ((t_1 - t_2) * (d_1 - d''_{II}) / (t_1 - t_{II})) = \\ &= 0,8 * 10^{-3} - ((-18 + 20) * (0,8 * 10^{-3} - 0,5 * 10^{-3}) / (-18 + 22,4)) = 0,66 * 10^{-3} \text{ кг} / \text{кг}. \end{aligned} \quad (6.12)$$

Відносна вологість повітря, на виході з апарату буде рівна:

$$\varphi_2 = d_2 / d''_2 = 0,66 / 0,7 = 0,95 \quad (6.13)$$

де  $d''_{II}$  и  $d''_2$  - відповідно, вміст вологи насиченого повітря при  $t_{II}$  и  $t_2$ .

Ентальпію повітря в точках 1,2 і 3 при негативних значеннях температури поверхні апарату (інею) знаходимо по залежностям

$$h_1 = 1,0078 * t_1 + (2835 + 2,09 * t_1) * d_1 = 1,0078 * (-18) + (2835 + 2,09 * (-18)) * 0,8 * 10^{-3} = -16 \text{ кДж} / \text{кг}$$

$$h_2 = 1,0078 * (-20) + (2835 + 2,09 * (-20)) * 0,66 * 10^{-3} = -18 \text{ кДж} / \text{кг}$$

$$h_3 = 1,0078 * (-22,4) + (2835 + 2,09 * (-22,4)) * 0,5 * 10^{-3} = -21 \text{ кДж} / \text{кг}$$

Переходимо до розрахунку геометричних характеристик теплопередаючого елемента.

#### Геометричні характеристики поверхні ребристого елемента вільного від інею

Площа зовнішньої поверхні ребра

$$\begin{aligned} F_p &= 0,5 * \pi * (D^2 - d_H^2) + \pi * D * \delta_{BP} = \\ &= 0,5 * 3,14 * ((0,076)^2 - (0,028)^2) + 3,14 * 0,076 * 0,0008 = 8,03 * 10^{-3} \text{ м}^2; \end{aligned} \quad (6.14)$$

Площа зовнішньої і поверхні труби між двома суміжними ребрами

$$F_T = \pi * d_H * (u - \delta_{OP}) = 3,14 * 0,028 * (0,012 - 0,0012) = 9,5 * 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (6.15)$$

Площа внутрішньої поверхні труби ребристого елемента

$$F_B = \pi * d_B * u = 3,14 * 0,02 * 0,012 = 7,5 * 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (6.16)$$

Площа зовнішньої поверхні труби ребристого елемента

$$F_H = F_p + F_T = 8,03 * 10^{-3} + 9,5 * 10^{-4} = 8,98 * 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (6.17)$$

Коефіцієнт  $\beta$  і міра обрешітання теплообмінної поверхні  $\varphi$

$$\beta = F_H / F_B = 8,98 * 10^{-3} / 7,5 * 10^{-4} = 12 \quad (6.18)$$

$$\varphi = F_H / (\pi * d_H * u) = 8,98 * 10^{-3} / (3,14 * 0,028 * 0,012) = 8,5 \quad (6.19)$$

#### Геометричні характеристики поверхні інею, що осів на ребристому елементі при товщині шару інею $\delta_{IH} = 0,002 \text{ м}$ .

					Арк.
					49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Площа зовнішньої поверхні інею на ребрі рівна:

$$F_{PI} = 0,5 * \pi * ((D + 2 * \delta_{IH})^2 - (d_H + 2 * \delta_{IH})^2) + \pi * (D + 2 * \delta_{IH}) * (\delta_P + 2 * \delta_{IH}) =$$

$$= 0,5 * 3,14 * ((0,076 + 2 * 0,003)^2 - (0,028 + 2 * 0,003)^2) +$$

$$+ 3,14 * (0,076 + 2 * 0,003) * (0,0008 + 2 * 0,003) = 1,05 * 10^{-2} \text{ м}^2. \quad (6.20)$$

Зовнішня поверхня інею на трубці між двома суміжними ребрами має площу:

$$F_{TI} = \pi * (d_H + 2 * \delta_{IH}) * (u - (\delta_{OP} + 2 * \delta_{IH})) =$$

$$= 3,14 * (0,028 + 2 * 0,002) * (0,012 - (0,0012 + 2 * 0,002)) = 5,1 * 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (6.21)$$

Повна площа зовнішньої поверхні інею на ребристому елементі рівна:

$$F_{HI} = F_{PI} + F_{TI} = 0,0105 + 0,00051 = 1,1 * 10^{-2} \text{ м}^2 \quad (6.22)$$

Коефіцієнт обрешення поверхні  $\beta^{II}$ , покритої інеєм, рівний:

$$\beta^{II} = F_{HI} / F_B = 1,1 * 10^{-2} / 7,5 * 10^{-4} = 14,7 \quad (6.23)$$

Мінімальний живий перетин одного ребристого елемента, покритого шаром інею прийнятої величини, рівний:

$$f_{Ж} = u * (S_1 - d_H - 2 * \delta_{IH}) - 2 * h * (\delta_{CP,P} + 2 * \delta_{IH}) =$$

$$= 0,012 * (0,082 - 0,028 - 2 * 0,003) - 2 * 0,024 * (0,001 + 2 * 0,003) = 2,9 * 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (6.24)$$

Задаємося швидкістю повітря в живому перетині повітроохолоджувача  $\omega_B = 4 \text{ м/с}$ .

Визначуваний режим руху повітря - число Рейнольдса

$$Re = (\omega_B * d_H) / \nu_B = (4 * 0,028) / 11,79 * 10^{-6} = 9500 \quad (6.25)$$

Число Нуссельта для труб, виготовлених методом литва під тиском :

$$Nu = (1 - n) * C_z * C_s * \varphi^{-0,5} * Re^n = (1 - 0,7) * 0,95 * 1 * (8,5)^{-0,5} * 9500^{0,7} = 62,6 \quad (6.26)$$

$$\text{де } C_s = (S_1 - d_H) / (S_2 - d_H) = (0,082 - 0,028) / (0,082 - 0,028) = 1 \quad (6.27)$$

коефіцієнт, форми пучка

$C_z = 0,95$ - коефіцієнт, що враховує кількість рядів в пучку уздовж потоку

$$\text{повітря; } n = 0,61 * \varphi^{0,08} = 0,61 * (8,5)^{0,08} = 0,7 \quad (6.28)$$

$$m = S_2 + \varphi^{-0,48} = 0,085 + (8,5)^{-0,48} = 0,03 \quad (6.29)$$

Конвективний коефіцієнт тепловіддачі на стороні повітря рівний:

$$\alpha_K = \frac{Nu * \lambda_B}{d_H} = \frac{62,6 * 2,28 * 10^{-2}}{0,028} = 51 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}} \quad (6.30)$$

де  $d_H$  - визначальний розмір, м.

Коефіцієнт вологи виділення за цих умов рівний:

$$\xi = 1 + \frac{(d_K'' * \varphi_K - d_{II}'') * (r - h_{II})}{C_B' * (t_K - t_{II})} =$$

$$= 1 + \frac{(1 * 10^{-3} * 0,9 - 0,6 * 10^{-3}) * (2835 + 46,8)}{0,98 * (-18 - (-22,4))} = 1,2 \quad (6.31)$$

де  $r = 2835 \text{ кДж/кг}$  - питома теплота фазового переходу при  $t_{II} < 0^\circ \text{C}$  ;

					Арк.
					50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$d''_{II} = 0,6 * 10^{-3} \text{ кг} / \text{кг}$  - вологосодержание вологого повітря в пограничному шарі в поверхні інею при  $t_{II} = -22,4^\circ \text{C}$  і відносною вологістю  $\varphi = 1$ ;

$h_{II} = 2,09 * t_{II} = 2,09 * (-22,4) = -46,8 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія інею;

$C'_B = 1,009 + 1,87 * d_m = 1,009 + 1,87 * (-17) * 10^{-3} = 0,98 \text{ кДж/(кгК)}$  - питома

теплоємність вологого повітря;

$d_m = 0,5 * (d_K + d_2) = 0,5 * (-16 - 18) * 10^{-3} = -17 * 10^{-3} \text{ кг} / \text{кг}$  - вологосодержание повітря при визначальній температурі.

Приведений коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зовнішньої поверхні теплопередаючого елементу з врахуванням термічного опору шару інею знайдемо як:

$$\alpha_{IP} = \left( \frac{1}{\alpha_K * \xi} + \frac{\delta_{III}}{\lambda_{III}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{51 * 1,2} + \frac{0,003}{0,2} \right)^{-1} = 32 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}} \quad (6.32)$$

де  $\lambda_{III} = 0,2 \text{ Вт} / (\text{м} * \text{К})$  - коефіцієнт теплопровідності інею.

Коефіцієнт ефективності ребра знайдемо як:

$$E = \frac{th(mh)}{mh} = \frac{th(0,61)}{0,61} = 0,88 \quad (6.33)$$

де  $mh' = \sqrt{\frac{2 * \alpha_{IP}}{\delta_{CP.P} * \lambda_P}} * h' = \sqrt{\frac{2 * 32}{0,001 * 180}} * 0,032 = 0,61$  - безрозмірний комплекс (6.34)

$\lambda_P = 180 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$  - коефіцієнт теплопровідності матеріалу ребра

$$h' = h * (1 + 0,805 * \log(\frac{D}{d_H})) = 0,026 * (1 + 0,805 * \log(\frac{0,076}{0,028})) = 0,032 \text{ м} - \quad (6.35)$$

умовна висота ребра.

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елементу

$$\begin{aligned} \alpha_{IP.H} &= \alpha_{IP} * (F_P * E * \psi * C_K + F_{TP}) / F_H = \\ &= 32 * (8,03 * 10^{-3} * 0,88 * 0,97 * 1 + 9,5 * 10^{-4}) / 8,98 * 10^{-3} = 27,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}} \end{aligned} \quad (6.36)$$

де  $\psi = 1 - 0,058 * mh' = 1 - 0,058 * 0,61 = 0,97$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддачі по висоті ребра;

$C_K$  - коефіцієнт враховує контактне термічне спротивлення між трубою і ребром. Для біметалічної литої поверхні він рівний  $C_K = 1$ .

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні фреону в трубах апарату

$$\alpha_O = (103,2 + 0,19 * t_O) * q_B^{0,25} = (103,2 + 0,19 * (-30)) * 3060^{0,25} = 725 \text{ Вт} / (\text{м}^2 * \text{К}) \quad (6.38)$$

де  $q_B$  - щільність теплового потоку, отнесеного до внутрішньої поверхні труби

$$q_B = \alpha_K * \xi * (t_{CP.B} - t_{II}) * \beta^{II} = 51 * 1,2 * (-19 - (-22,4)) * 14,7 = 3060 \text{ Вт} / \text{м}^2 \quad (6.39)$$

Коефіцієнт теплопередачі,отнесений до зовнішньої поверхні інею, рівний:

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	51

$$K_H^H = \left( \frac{1}{\alpha_{\text{пр.н}}} + \frac{\varphi^* \delta_T}{\lambda_T} + \frac{\beta_H}{\alpha_O} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{27,8} + \frac{8,5 * 0,0025}{45} + \frac{14,7}{725} \right)^{-1} = 17,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}} \quad (6.40)$$

віднесений до зовнішньої «сухої» поверхні інею, рівний:

$$K_H = K_H^H * \frac{\beta}{\beta^H} = 17,7 * \frac{12}{14,7} = 14,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}} \quad (6.41)$$

Перевіряємо значення раніше прийнятої температури поверхні інею.

Розрахункова різниця температур повітря і поверхні інею рівна:

$$\Delta t_P = \frac{q_H}{\alpha_K * \xi} = \frac{195}{51 * 1,2} = 3,2^\circ \text{C} \quad (6.42)$$

де  $q_H$  - щільність теплового потоку, віднесеного до зовнішньої поверхні інею,

рівна:  $q_H = K_H^H * (t_{\text{ср.в}} - t_O) = 17,7 * (-19 - (-30)) = 195 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ . (6.43)

Відносна погрішність прийнятої і розрахункової різниці температур рівна:

$$\delta = \left| \frac{\Delta t_P - \Delta t}{\Delta t_P} \right| * 100\% = \left| \frac{3,2 - 3,4}{3,2} \right| * 100\% = 6\% < 7\%, \quad (6.44)$$

де  $\Delta t = t_{\text{ср.в}} - t_{\text{п}} = -19 - (-22,4) = 3,4^\circ \text{C}$  - прийнята різниця температур повітря і поверхні інею.

Знаходимо площу зовнішньої поверхні повітроохолоджувача

$$F = Q_0 / K * (t_k - t_0)$$

где  $Q_0$  - теплоприток в камеру №1  $Q_0^{KAM.№1} = 12,16 \text{кВт}$

$$F_{\text{к1}} = 12,16 * 10^{-3} / 14,5 * (-18 + 30) = 70 \text{ м}^2$$

Обираємо 2 повітроохолоджувача для камери №1 Alfa Laval VFBE 402 B7,

характеристики занесено до таблиці 6.2

Таблиця 6.2 – Характеристики повітроохолоджувача

Площадь поверхности, м <sup>2</sup>	39,7
Холодопроизводительность при $\Delta t = 10^\circ \text{C}$ , кВт	7,18
Шаг ребер	7
Вентиляторы :	
- кол-во	2
- диаметр, мм	400
- частота вращения, об/с	16,2/21,67
- мощность, кВт	0,4
- расход воздуха, м <sup>3</sup> /с	2,1
Мощность электронагревателей, кВт	3

## 6.2 Розрахунок повітроохолоджувача для камери з $t_{КАМ} = -4^{\circ}C$

При проведенні розрахунку приймаю наступні параметри:  
теплове навантаження  
для камер збереження охолодженого м`яса

$$Q_0^{КАМ.№3} = 11,35кВт$$

температура повітря в приміщенні, що охолоджує  $t_k = -4^{\circ}C$ ;

відносна вологість повітря в камері  $\varphi = 90\%$

робоче тіло R507A

Геометричні розміри ребристої труби повітроохолоджувача, виготовленого методом литва під тиском:

труба:

зовнішній діаметр  $d_{ТР} = 0,025м$ ;

внутрішній діаметр  $d_{ВН} = 0,02м$ ;

товщина стінки  $\delta_T = 0,0025м$

матеріал (сталь)  $\lambda_T = 45Вт / (м * К)$

ребро:

висота  $h = 0,024м$

товщина у вершини  $\delta_{BP} = 0,0008м$ ;

товщина в підстави  $\delta_{OP} = 0,0012м$ ;

крок  $u = 0,012м$ ;

матеріал (алюміній)  $\lambda_p = 180Вт / (м * К)$ ;

компоновка пучка труб шаховий пучок.

Товщина алюмінієвого чохла на зовнішній поверхні сталевій труби рівна  $\delta = 1,5мм$ ; тоді зовнішній діаметр з врахуванням алюмінієвого чохла буде рівний:  $d_H = d_{ТР} + 2 * \delta = 0,025 + 2 * 0,0015 = 0,028м$

Приймаємо діаметр ребра:

$$D = d_H + 2 * h = 0,028 + 2 * 0,024 = 0,076м;$$

Крок труб в пучку:

поперечний (впоперек потоку повітря):

$$S_1 = (D + 2 * \delta_H) + 0,003м = (0,076 + 2 * 0,003) + 0,003 = 0,085м;$$

подовжній (уздовж потоку повітря):

$$S_2 = S_1 = (D + 2 * \delta_H) + 0,002м = (0,076 + 2 * 0,003) + 0,003 = 0,085м.$$

діагональний:

$$S'_2 = \left[ S_2^2 + (S_1 / 2)^2 \right]^{0,5} = \left[ (0,085)^2 + (0,085 / 2)^2 \right]^{0,5} = 0,095м.$$

### 6.2.1 Тепловий розрахунок

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

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Задаємося величиною підохолодження повітря в повітроохолоджувачі  $\Delta t_B = 2^\circ C$ .

Визначаємо температуру повітря на виході апарату:

$$t_2 = t_{\text{ВЫХ.В}} = t_k - \Delta t_B = -4 - 2 = -6^\circ C.$$

Визначаємо середню температуру повітря:

$$t_{\text{CP.В}} = 0,5 * (t_2 + t_k) = 0,5 * (-6 + (-4)) = -5^\circ C.$$

Приймаємо температуру кипіння фреону:

$$t_0 = t_{\text{CP.В}} - (10...15) = -5 - 10 = -15^\circ C.$$

Визначуваній температурний натиск:

$$\theta = t_{\text{CP.В}} - t_0 = -5 + 15 = 10^\circ C.$$

Вибираю теплофізичні властивості вологого повітря при визначальній температурі  $t_{\text{CP.В}} = -5^\circ C$ :

$\nu_B = 13,28 * 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$  - коефіцієнт кінематичної в'язкості,

$\lambda_B = 2,44 * 10^{-2} \text{ Вт} / (\text{м} * \text{К})$  - коефіцієнт теплопровідності,

$\text{Pr}_B = 0,707$  - число Прандтля,

$\rho_B = 1,293 \text{ кг} / \text{м}^3$  - щільність,

$C_B = 1,005 \text{ кДж} / (\text{кг} * \text{К})$  - питома теплоємність сухого повітря

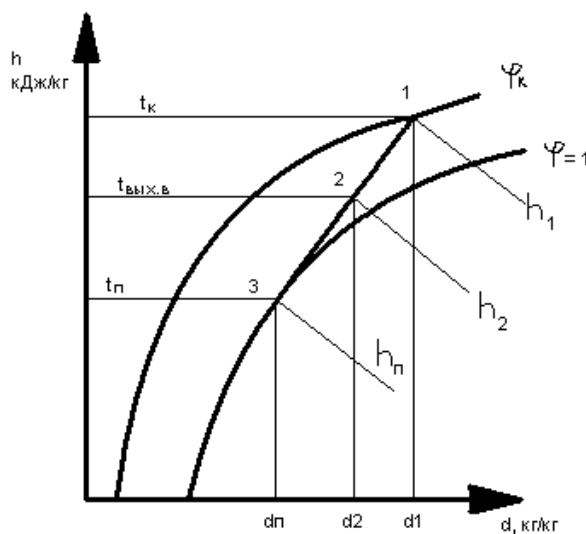


Рисунок 6.2 - Процес зміни стану повітря в повітроохолоджувачі в наступній послідовності: 1 → П → 2 (см. рис)

Для цього задаємося середньою температурою поверхні повітроохолоджувача (інею)  $t_n$  з умови, що  $t_0 < t_n < t_k$ , використовуючи приблизне співвідношення :

$$t_n = t_k - (0,1 \div 0,8) * \theta = -4 - 0,4 * 10 = -8^\circ C.$$

По діаграмі  $h-d$ , з допомогою розрахункових залежностей, приведених нижче, визначаємо параметри повітря ( $h, d, t$ ).

Таблиця 6.3 - Параметри повітря

№ точки	$t, ^\circ C$	$d \cdot 10^{-3}, \text{кг} / \text{кг}$	$h, \text{кДж} / \text{кг}$	$\varphi, \%$
1	-4	3,4	9,64	90
2	-6	3	6,47	94
3(п)	-8	2,6	2,9	100

Грунтуючись на принципі подібності трикутників (см. мал.), можна записати:

$$(d_1 - d''_{п}) / (t_1 - t_{п}) = (d_1 - d_2) / (t_1 - t_2),$$

Звідси невідоме значення вологосодержання повітря на виході апарату:

$$d_2 = d_1 - ((t_1 - t_2) * (d_1 - d''_{п}) / (t_1 - t_{п})) =$$

$$= 3,4 * 10^{-3} - ((-4 + 6) * (3,4 * 10^{-3} - 2,6 * 10^{-3}) / (-4 + 8)) = 3,04 * 10^{-3} \text{ кг} / \text{кг}.$$

Відносна вологість повітря, на виході з апарату буде рівна:

$$\varphi_2 = d_2 / d''_2 = 3 / 3,2 = 0,94,$$

де  $d''_{п}$  и  $d''_2$  - відповідно, вологосодержание насиченого повітря при  $t_{п}$  и  $t_2$ .

Ентальпію повітря в точках 1,2 і 3 при негативних значеннях температури поверхні апарату (інею) знаходимо по залежностям

$$h_1 = 1,0078 * t_1 + (2835 + 2,09 * t_1) * d_1 = 1,0078 * (-4) + (2835 + 2,09 * (-4)) * 3,4 * 10^{-3} = 9,64 \text{ кДж} / \text{кг};$$

$$h_2 = 1,0078 * (-6) + (2835 + 2,09 * (-6)) * 3 * 10^{-3} = 6,47 \text{ кДж} / \text{кг}$$

$$h_3 = 1,0078 * (-8) + (2835 + 2,09 * (-8)) * 2,6 * 10^{-3} = 2,9 \text{ кДж} / \text{кг}$$

Переходимо до розрахунку геометричних характеристик теплопередаючого елемента.

Геометричні характеристики поверхні ребристого елемента вільного від інею

Площа зовнішньої поверхні ребра

$$F_p = 0,5 * \pi * (D^2 - d_H^2) + \pi * D * \delta_{BP} =$$

$$= 0,5 * 3,14 * ((0,076)^2 - (0,028)^2) + 3,14 * 0,076 * 0,0008 = 8,03 * 10^{-3} \text{ м}^2;$$

Площа зовнішньої поверхні труби між двома суміжними ребрами

$$F_T = \pi * d_H * (u - \delta_{op}) = 3,14 * 0,028 * (0,012 - 0,0012) = 9,5 * 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Площа внутрішньої поверхні труби ребристого елемента

$$F_B = \pi * d_B * u = 3,14 * 0,02 * 0,012 = 7,5 * 10^{-4} \text{ м}^2,$$

Площа зовнішньої поверхні труби ребристого елемента

$$F_H = F_p + F_T = 8,03 * 10^{-3} + 9,5 * 10^{-4} = 8,98 * 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт  $\beta$  і міра обребрення теплообмінної поверхні  $\varphi$

$$\beta = F_H / F_B = 8,98 * 10^{-3} / 7,5 * 10^{-4} = 12,$$

$$\varphi = F_H / (\pi * d_H * u) = 8,98 * 10^{-3} / (3,14 * 0,028 * 0,012) = 8,5.$$

Геометричні характеристики поверхні інею, що осів на ребристому елементі при товщині шаруючи  $\delta_{ин} = 0,002 \text{ м}$ .

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	55

Площа зовнішньої поверхні інею на ребрі рівна:

$$F_{PI} = 0,5 * \pi * ((D + 2 * \delta_{IH})^2 - (d_H + 2 * \delta_{IH})^2) + \pi * (D + 2 * \delta_{IH}) * (\delta_P + 2 * \delta_{IH}) =$$

$$= 0,5 * 3,14 * ((0,076 + 2 * 0,003)^2 - (0,028 + 2 * 0,003)^2) +$$

$$+ 3,14 * (0,076 + 2 * 0,003) * (0,0008 + 2 * 0,003) = 1,05 * 10^{-2} \text{ м}^2.$$

Зовнішня поверхня інею на трубці між двома суміжними ребрами має площу:

$$F_{TI} = \pi * (d_H + 2 * \delta_{IH}) * (u - (\delta_{OP} + 2 * \delta_{IH})) =$$

$$= 3,14 * (0,028 + 2 * 0,002) * (0,012 - (0,0012 + 2 * 0,002)) = 5,1 * 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Повна площа зовнішньої поверхні інею на ребристому елементі рівна:

$$F_{HI} = F_{PI} + F_{TI} = 0,0105 + 0,00051 = 1,1 * 10^{-2} \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт обрешення поверхні  $\beta^H$ , покритої інеєм, рівний:

$$\beta^H = F_{HI} / F_B = 1,1 * 10^{-2} / 7,5 * 10^{-4} = 14,7.$$

Мінімальний живий перетин одного ребристого елемента, покритого шаром інею прийнятої величини, рівний:

$$f_{Ж} = u * (S_1 - d_H - 2 * \delta_{IH}) - 2 * h * (\delta_{CP,P} + 2 * \delta_{IH}) =$$

$$= 0,012 * (0,082 - 0,028 - 2 * 0,003) - 2 * 0,024 * (0,001 + 2 * 0,003) = 2,9 * 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Задаємося швидкістю повітря в живому перетині повітроохолоджувача  $\omega_B = 4 \text{ м/с}$ .

Визначуваний режим руху повітря - число Рейнольдса

$$Re = (\omega_B * d_H) / \nu_B = (4 * 0,028) / 13,28 * 10^{-6} = 8434.$$

Число Нуссельта для труб, виготовлених методом литва під тиском :

$$Nu = (1 - n) * C_Z * C_S * \varphi^{-0,5} * Re^n = (1 - 0,7) * 0,95 * 1 * (8,5)^{-0,5} * 8434^{0,7} = 54,8,$$

де  $C_S = (S_1 - d_H) / (S_2 - d_H) = (0,082 - 0,028) / (0,082 - 0,028) = 1$ - коефіцієнт, форми пучка

$C_z = 0,95$ - коефіцієнт, що враховує кількість рядів в пучку уздовж потоку

повітря;  $n = 0,61 * \varphi^{0,08} = 0,61 * (8,5)^{0,08} = 0,7$ ,

$$m = S_2 + \varphi^{-0,48} = 0,085 + (8,5)^{-0,48} = 0,03.$$

Конвективний коефіцієнт тепловіддачі на стороні повітря рівний:

$$\alpha_K = \frac{Nu * \lambda_B}{d_H} = \frac{54,8 * 2,44 * 10^{-2}}{0,028} = 47,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}},$$

де  $d_H$  - визначальний розмір, м.

Коефіцієнт вологи виділення за цих умов рівний:

$$\xi = 1 + \frac{(d_K'' * \varphi_K - d_H'') * (r - h_H)}{C_B' * (t_K - t_H)} =$$

$$= 1 + \frac{(3,5 * 10^{-3} * 0,9 - 2,6 * 10^{-3}) * (2835 + 9,2)}{1,02 * (-4 - (-8))} = 1,35$$

де  $r = 2835 \text{ кДж/кг}$  - питома теплота фазового переходу при  $t_H < 0^\circ \text{C}$ ;

$d_H'' = 3,27 * 10^{-3} \text{ кг/кг}$  - вологосодержание вологого повітря в пограничному шарі в поверхні інею при  $t_H = -8^\circ \text{C}$  і відносною вологістю  $\varphi = 1$ ;

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	56

$h_{II} = 2,09 * t_{II} = 2,09 * (-8) = -9,2$  кДж/кг – ентальпія інею;

$C'_B = 1,009 + 1,87 * d_m = 1,005 + 1,87 * 8,1 * 10^{-3} = 1,02$  кДж/(кгК) – питома теплоємність вологого повітря;

$d_m = 0,5 * (d_K + d_2) = 0,5 * (9,64 + 6,47) * 10^{-3} = 8,1 * 10^{-3}$  кг/кг - влагосодержание повітря при визначальній температурі.

Приведений коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зовнішньої поверхні теплопередаючого елемента з врахуванням термічного опору шару інею знайдемо як:

$$\alpha_{IP} = \left( \frac{1}{\alpha_K * \xi} + \frac{\delta_{III}}{\lambda_{III}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{47,8 * 1,35} + \frac{0,003}{0,2} \right)^{-1} = 32,8 \frac{Bm}{m^2 * K},$$

де  $\lambda_{III} = 0,2 Bm / (m * K)$  - коефіцієнт теплопровідності інею.

Коефіцієнт ефективності ребра знайдемо як:

$$E = \frac{th(mh)}{mh} = \frac{th(0,61)}{0,61} = 0,88,$$

де  $mh' = \sqrt{\frac{2 * \alpha_{IP}}{\delta_{CP.P} * \lambda_P}} * h' = \sqrt{\frac{2 * 32,8}{0,001 * 180}} * 0,032 = 0,61$  - безрозмірний комплекс,

$\lambda_P = 180 \frac{Bm}{m * K}$  - коефіцієнт теплопровідності матеріалу ребра

$h' = h * (1 + 0,805 * \log(\frac{D}{d_H})) = 0,026 * (1 + 0,805 * \log(\frac{0,076}{0,028})) = 0,032 m$  - умовна висота ребра.

бра.

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елемента

$$\alpha_{IP.H} = \alpha_{IP} * (F_P * E * \psi * C_K + F_{TP}) / F_H =$$
$$= 32,8 * (8,03 * 10^{-3} * 0,88 * 0,97 * 1 + 9,5 * 10^{-4}) / 8,98 * 10^{-3} = 28,5 \frac{Bm}{m^2 * K}$$

де  $\psi = 1 - 0,058 * mh' = 1 - 0,058 * 0,61 = 0,97$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддачі по висоті ребра;

$C_K$  - коефіцієнт враховує контактне термічне соприставление між трубою і ребром. Для біметалічної литої поверхні він рівний  $C_K = 1$ .

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні фреону в трубах апарату

$$\alpha_O = (103,2 + 0,19 * t_O) * q_B^{0,25} = (103,2 + 0,19 * (-15)) * 3225^{0,25} = 761 Bm / (m^2 * K)$$

де  $q_B$  - щільність теплового потоку, отнесеного до внутрішньої поверхні труби

$$q_B = \alpha_K * \xi * (t_{CP.B} - t_{II}) * \beta^{II} = 47,8 * 1,35 * (-5 - (-8)) * 14,7 = 3225 Bm / m^2$$

Коефіцієнт теплопередачі, отнесений до зовнішньої поверхні інею, рівний:

$$K_{II}^{II} = \left( \frac{1}{\alpha_{IP.H}} + \frac{\varphi * \delta_T}{\lambda_T} + \frac{\beta_{II}}{\alpha_O} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{28,5} + \frac{8,5 * 0,0025}{45} + \frac{14,7}{761} \right)^{-1} = 18,25 \frac{Bm}{m^2 * K};$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	57

віднесений до зовнішньої «сухої» поверхні інею, рівний:

$$K_H = K_H^{II} * \frac{\beta}{\beta^{II}} = 18,25 * \frac{12}{14,7} = 14,9 \frac{Вт}{м^2 * К}$$

Перевіряємо значення раніше прийнятої температури поверхні інею.

Розрахункова різниця температур повітря і поверхні інею рівна:

$$\Delta t_P = \frac{q_H}{\alpha_K * \xi} = \frac{182,5}{47,8 * 1,35} = 3,64^\circ C,$$

де  $q_H$  - щільність теплового потоку, віднесеного до зовнішньої поверхні інею,

рівна:  $q_H = K_H^{II} * (t_{CP.B} - t_O) = 18,25 * (-5 - (-15)) = 182,5 \frac{Вт}{м^2}.$

Відносна погрішність прийнятої і розрахункової різниці температур рівна:

$$\delta = \left| \frac{\Delta t_P - \Delta t}{\Delta t_P} \right| * 100\% = \left| \frac{3,74 - 3}{3,74} \right| * 100\% = 6,9\% < 7\%,$$

де  $\Delta t = t_{CP.B} - t_{II} = -5 - (-8) = 3^\circ C$  - прийнята різниця температур повітря і поверхні інею.

Знаходимо площу зовнішньої поверхні повітроохолоджувача камери попереднього охолодження:

$$F = Q_0 / K * (t_k - t_0)$$

где  $Q_0$  - теплоприток в камеру №3  $Q_0^{КАМ.№3} = 11,35 кВт$

$$F_{к3} = 11,35 * 10^{-3} / 18,25 * (-4 + 15) = 56,5 м^2$$

Обираємо 2 повітроохолоджувача для камери №3 Alfa Laval RL 55, характеристики занесено до таблиці 6.4

Таблиця 6.4 – Характеристики повітроохолоджувача

Площадь поверхности, м <sup>2</sup>	29
Холодопроизводительность при $\Delta t = 10^\circ C$ , кВт	5,94
Шаг ребер	5.5
Вентиляторы :	
-кол-во	2
-диаметр, мм	350
-частота вращения, об/с	16,2/21,67
-мощность, кВт	0,32
-расход воздуха, м <sup>3</sup> /с	1,3
Мощность электронагревателей, кВт	2,88

## 7 РОЗРАХУНОК ПОВІТРЯНОГО КОНДЕНСАТОРА

Вихідні дані:

Збереження охолодженого м'яса

$$t_{КАМ} = -4^{\circ}C, Q_K = 73,3кВт$$

$t_n = 33^{\circ}C$  - розрахункова температура зовнішнього повітря

$\varphi_n = 60\%$  - відносна вологість зовнішнього повітря

R-507A холодильний агент

Зовнішній діаметр труби  $d_n = 0,022м$

Внутрішній діаметр труби  $d_{вн} = 0,020м$

Товщина ребра у вершини  $\delta_e = 0,001м$

Товщина ребра підстави  $\delta_0 = 0,002м$

Крок ребер  $u = 0,005м$

Висота ребра  $h = 0,024м$

Матеріал труб мідь

Матеріал ребер алюміній

Форма ребер кругле ребро

Розташування труб в пучку шахове

Крок труб по фронту повітря  $S_1 = 0,082м$

Крок труб по діагоналі  $S_2' = 0,082м$

Крок труб по ходу повітря 
$$S_2 = \sqrt{(S_2')^2 - \left(\frac{S_1}{2}\right)^2} = 0,070м \quad (7.1)$$

Тоді діаметр труби в підстави ребер буде рівний

$$d_0 = d_n + 2\delta_0 = 0,022 + 0,003 = 0,025м \quad (7.2)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

## 7.1 Тепловий розрахунок

Задаюся глибиною підігрівання повітря КВО  $\Delta t_g = (4\dots 8)^0 C$ , тоді температура повітря на виході з апарату

$$t_g = t_n + \Delta t_g = 33 + 5 = 38^0 C \quad (7.3)$$

Температура конденсації

$$t_k = t_n + (10\dots 14) = 33 + 12 = 45^0 C \quad (7.4)$$

Середньологарифмічна різниця температур в апараті

$$\theta_{л} = \frac{t_g - t_n}{\ln \frac{t_k - t_n}{t_k - t_g}} = \frac{38 - 33}{\ln \frac{45 - 33}{45 - 38}} = 9,27^0 C \quad (7.5)$$

Задаємося швидкістю повітря в живому перетині апарату  $\omega_g = 9 м/с$

Фізичні параметри повітря при температурі:  $t_{сг} = 0,5 * (33 + 38) = 35,5^0 C$  (7.6)

$\nu = 16,56 * 10^{-6} м^2 / с$  - коефіцієнт кінематичної в'язкості;

$C_p = 1,005 кДж / (кг * К)$  - питома теплоємність;

$\lambda = 0,027 Вт / (м * К)$  - коефіцієнт теплопровідності;

$\rho = 1,14 кг / м^3$  - щільність;

$Pr = 0,7$  - число Прандтля.

Вихідне рівняння для розрахунку конвективного коефіцієнта тепловіддачі на стороні повітря вибираємо по параметром його застосовності. При поперечному обтіканні повітрям шахових пучків труб з круглими литими трапецієвидними ребрами воно має вигляд:

$$Nu = (1 - n) * C_z * C_s^m * \varphi^{-0,5} * Re^n = (1 - 0,72) * 0,9 * (1,27)^{0,31} * (19,6)^{-0,5} * 13587^{0,72} = 65,2 \quad (7.7)$$

Де  $C_z = 0,9$  - коефіцієнт, що враховує кількість рядів труб уздовж потоку повітря

$$C_s = \frac{S_1 - d_0}{S_2 - d_0} = \frac{0,082 - 0,025}{0,07 - 0,025} = 1,27 - \text{коефіцієнт форми пучка}; \quad (7.8)$$

$$\varphi = (F_p + F_{mp}) / F_0 = (7,6 * 10^{-3} + 0,24 * 10^{-3}) / 0,4 * 10^{-3} = 19,6 - \text{міра обрєбрення}; \quad (7.9)$$

$F_{mp} = \pi * d_0 * (u_p - \delta_{op}) = 3,14 * 0,025 * (0,005 - 0,002) = 0,24 * 10^{-3} м^2$  - площа зовнішньої поверхні труб між ребрами ;  $d_0$  - діаметр труб підстава ребер, м;

$F_p = 1,57 * (D_p^2 - d_0^2) + \pi * D_p * \delta_a = 1,57 * ((0,073)^2 - (0,025)^2) + 3,14 * 0,073 * 0,001 = 7,6 * 10^{-3} м^2$  - площа поверхні одного ребра ;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

$F_0 = \pi * d_0 * u = 3,14 * 0,025 * 0,005 = 0,4 * 10^{-3} \text{ м}^2$  - площа зовнішньої поверхні труб з умовно знятим ребром на довжині крока ребер;

$$n = 0,61 * \varphi^{-0,08} = 0,61 * (19,6)^{-0,08} = 0,72; \quad m = S_2 + \varphi^{-0,48} = 0,07 + (19,6)^{-0,48} = 0,31 \quad (7.10)$$

$$Re = \frac{w_{\epsilon} * d_0}{\nu_{\epsilon}} = \frac{9 * 0,025}{16,56 * 10^{-6}} = 13587 \quad (7.11)$$

Конвективний коефіцієнт теплообміну

$$\alpha_k = Nu * \lambda / d_0 = (65,2 * 2,7 * 10^{-2}) / 0,025 = 70 \text{ Вт} / (\text{м}^2 * \text{К}) \quad (7.12)$$

Ефективність ребра без врахування поправки на трапецевидність

Коефіцієнт ефективності ребра

$$E = \frac{th(mh)}{mh} = \frac{th(0,75)}{0,75} = 0,64 \quad (7.13)$$

де  $mh' = \sqrt{\frac{2 * \alpha_k}{\delta_p * \lambda_p}} * h' = \sqrt{\frac{2 * 70}{0,0015 * 180}} * 0,033 = 0,75$  - безрозмірний комплекс (7.14)

$\lambda_p = 180 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$  - коефіцієнт теплопровідності матеріалу ребра

$$h' = h * (1 + 0,35 * \ln(\frac{D_p}{d_0})) = 0,024 * (1 + 0,35 * \ln(\frac{0,073}{0,025})) = 0,033 \text{ м} - \text{умовна висота ребра.}$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні апарата

$$\alpha_{пр.н} = \alpha_k * (E * (F_p / F_H) + (F_{гр} / F_H)) = 70 * (0,64 * (7,6 * 10^{-3} / 7,84 * 10^{-3}) + (0,24 * 10^{-3} / 7,84 * 10^{-3})) = 45,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}} \quad (7.15)$$

де  $F_H = F_p + F_{гр} = 7,6 * 10^{-3} + 0,24 * 10^{-3} = 7,84 * 10^{-3} \text{ м}^2$  - площа зовнішньої поверхні елемента обрешеної труби;

Щільність теплового потоку з боку повітря, віднесена до зовнішньої поверхні апарату

$$q_H = \theta_{\epsilon} / \left[ \left( \frac{1}{\alpha_{пр}} \right) + \left( \left( \frac{\delta_{mp}}{\lambda_{mp}} \right) + \left( \frac{\delta_0}{\lambda_0} \right) + \left( \frac{\delta_m}{\lambda_m} \right) \right) * (F_H / F_0) \right] = \theta_{\epsilon} / \left[ \left( \frac{1}{45,6} \right) + (0,001 / 400 + 0,0015 / 180 + 0,00005 / 0,12) * (7,84 * 10^{-3} / 0,4 * 10^{-3}) \right] = \theta_{\epsilon} / 0,03$$

де  $\delta_{mp} / \lambda_{mp}$  - термічний опір самій труб  $(\text{м}^2 * \text{К}) / \text{Вт}$ ;

$\delta_0 / \lambda_0$  - термічний опір шару масла  $(\text{м}^2 * \text{К}) / \text{Вт}$ ;

$\delta_m / \lambda_m$  - термічний опір з боку повітря  $(\text{м}^2 * \text{К}) / \text{Вт}$ ;

$\theta_{\epsilon} = t_w - t_{ce}$  - температурний натиск на стороні повітря  $^{\circ}\text{C}$ ,

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	61

$t_w$  - температура поверхні апарату;

В розрахунок застосовуємо

$$\delta_m = 0,00005 \text{ м}, \lambda_m = 0,12 \text{ Вт / (м * К)};$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку агента, що конденсується, віднесений у внутрішній поверхні труби

$$\alpha_0 = 1940 * \theta_0^{-0,167} * d_{BH}^{-0,25} = 1940 * \theta_0^{-0,167} * (0,02)^{-0,25} = 5158,7 * \theta_0^{-0,167} \text{ Вт / (м}^2 * \text{К)} \quad (7.16)$$

Де  $\theta_0 = t_k - t_{wв}$  - температурний натиск на стороні х.а.

$t_{wâ}$  - температура внутрішньої поверхні труб апарату;

Щільність теплового потоку з боку агента, віднесена до зовнішньої поверхні апарату

$$q_H = \alpha_0 * (F_{вн} / F_H) * \theta_0 = 5158,7 * (0,31 * 10^{-3} / 7,84 * 10^{-3}) * \theta_0^{0,833} = 204 * \theta_0^{0,833} \text{ Вт / м}^2 \quad (7.17)$$

Де  $F_{вн} = \pi * d_{вн} * u = 3,14 * 0,02 * 0,005 = 0,31 * 10^{-3} \text{ м}^2$  - площа внутрішньої поверхні елементу труби довжині одного кроку ребер;

Будуємо графік залежності :  $q_H = f(\theta_0)$ ;

1 ряд -  $q_H = f(\theta_0)$ ; почало прямий від крапки 0, а кінець прямої буде

$$q_H = \theta_0 / 0,03 = 9,27 / 0,03 = 309 \text{ Вт / м}^2 \quad (7.18)$$

2 ряд-  $q_H = f(\theta_0)$  задаємося в межах зміни  $\theta_0$  і вважаючи початком координат кінцеве значення  $\theta_0$ ;

$$q_H = 204 * \theta_0^{0,833} \text{ Вт / м}^2 \quad (7.19)$$

$$1) q_H = 204 * \theta_0^{0,833} = 204 * (0,5)^{0,833} = 115 \text{ Вт / м}^2$$

$$2) q_H = 204 * \theta_0^{0,833} = 204 * 1^{0,833} = 204 \text{ Вт / м}^2$$

$$3) q_H = 204 * \theta_0^{0,833} = 204 * (1,5)^{0,833} = 286 \text{ Вт / м}^2$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

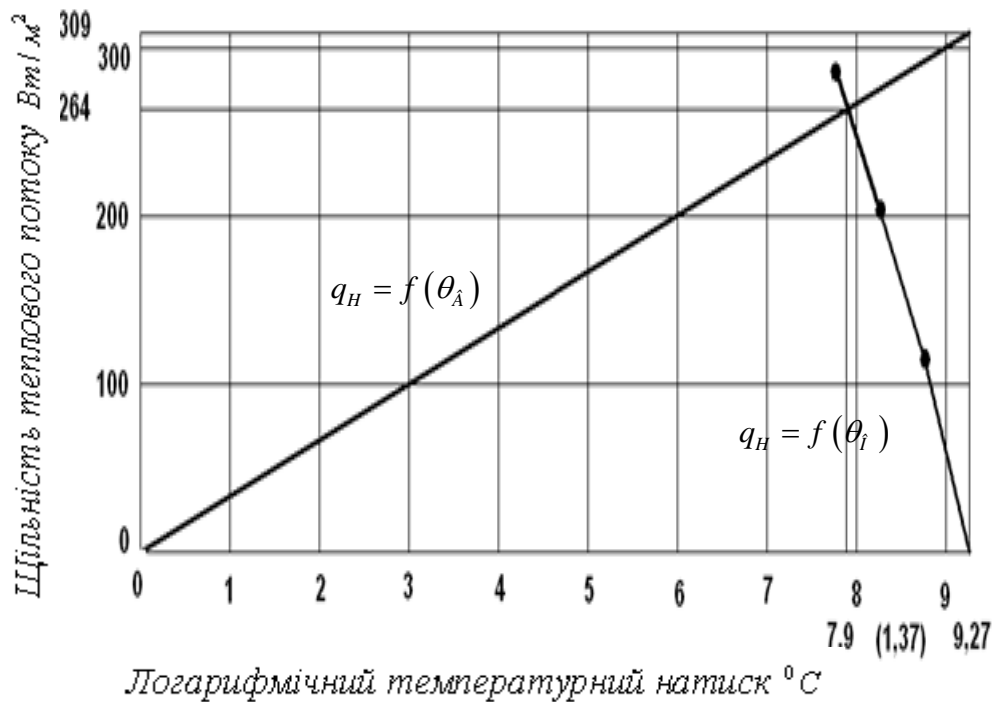


Рисунок 7.1 - Графіки залежностей  $q_H = f(\theta_l)$

У точці пересічення графіків знаходимо дійсне значення щільності теплового потоку, віднесеної до зовнішньої поверхні  $q_H = 264 W/m^2$  і температурні натиски з боку повітря  $\theta_B = 7,9^{\circ}C$  і агента  $\theta_0 = 1,37^{\circ}C$

## 7.2 Конструктивний розрахунок

Зовнішня поверхня КВО

$$F_{HK}^{ЗБ.ОХЛ.} = Q_K / q_H = 73,3 \cdot 10^3 / 264 = 277,6 m^2 \quad (7.20)$$

Витрата повітря через апарат

масовий:

$$G_B^{ЗБ.ОХЛ.} = \frac{Q_K}{C_p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{73,3}{1,005 \cdot (38 - 33)} = 14,6 \text{ кг} / \text{с} \quad (7.21)$$

об'ємний:

$$V_B^{ЗБ.ОХЛ.} = G_B / \rho = 14,6 / 1,14 = 3,22 m^3 / \text{с} = 46105 m^3 / \text{ч} \quad (7.22)$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	63

Живий перетин КВО, що забезпечує набутого значення швидкості повітря

$$F_{ЖС}^{ЗБ.ОХЛ.} = V_B / \omega_B = 12,8 / 9 = 1,42 м^2 \quad (7.23)$$

Зовнішня поверхня одного погонного метра обрешеної труби

$$F_{ПМ} = \pi * d_{Вн} * \beta = 3,14 * 0,02 * 25,3 = 1,59 м^2 \quad (7.24)$$

де 
$$\beta = F_n / F_{вн} = 7,84 * 10^{-3} / 0,31 * 10^{-3} = 25,3 \quad (7.25)$$

Сумарна довжина труб в апараті:

$$\sum L^{ЗБ.ОХЛ.} = F_{НК} / F_{ПМ} = 277,6 / 1,59 = 174,6 м \quad (7.26)$$

Площа живого перетину одного ребристого елемента

$$F_{РЖ} = (S_1 * u) - (2h * \delta_p + d_0 * u) = (0,082 * 0,005) - (2 * 0,024 * 0,0015 + 0,025 * 0,005) = 0,0002 м^2$$

Число ребристих елементів у фронтальному перетині пучка труб апарату

$$n_{РЭ}^{ЗБ.ОХЛ.} = F_{ЖС} / F_{РЖ} = 1,42 / 0,0002 = 7100 шт \quad (7.27)$$

Сумарна довжина труб у фронтальному перетині пучка

$$\sum l_{\Phi}^{ЗБ.ОХЛ.} = u * n_{РЭ} = 0,005 * 7100 = 35,5 м \quad (7.28)$$

Площа вільного(фронтального) перетину апарату на вході повітря

$$S_{\Phi}^{ЗБ.ОХЛ.} = F_{ЖС} * S_1 * u / F_{РЖ} = 1,42 * 0,082 * 0,005 / 0,0002 = 2,91 м^2 \quad (7.29)$$

Орієнтовні геометричні розміри КВО

ширина

$$b^{ЗБ.ОХЛ.} = (S_{\Phi} / z)^{0,5} = (2,91 / 2)^{0,5} = 1,2 м \quad (7.30)$$

довжина

$$L^{ЗБ.ОХЛ.} = b * z = 1,2 * 2 = 2,4 м \quad (7.31)$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	64

Число труб у фронтальному перетині пучка

$$n_{\phi}^{3Б.ОХЛ.} = b / S_1 = 1,2 / 0,082 = 14,6шт \quad (7.32)$$

Результат округлюємо до цілого значення тоді дійсна ширина і довжина теплообмінної секції апарату

$$b_D^{3Б.ОХЛ.} = (n'_{\phi} * S_1) = (15 * 0,082) = 1,23м \quad (7.33)$$

$$L_D^{3Б.ОХЛ.} = S_{\phi} / b_D = 2,91 / 1,23 = 2,36м \quad (7.34)$$

Число труб уздовж потоку повітря

$$n_B^{3Б.ОХЛ.} = \sum L / \sum l_{\phi} = 174,6 / 35,5 = 4,91шт \quad (7.35)$$

Результат округлюємо до цілого значення  $n_e = 5шт$ , тогдa розрахунковий параметри КВО

сумарна довжина труб:

$$\sum L_D^{3Б.ОХЛ.} = L_D * n'_{\phi} * n'_e = 2,36 * 15 * 5 = 177м^2 \quad (7.36)$$

площа зовнішньої поверхні:

$$F_D^{3Б.ОХЛ.} = \sum L_D * \pi * d_{ВН} * \beta = 177 * 3,14 * 0,02 * 25,3 = 281,2м^2 \quad (7.37)$$

висота( глибина) секції:

$$h = S_2 * n'_B = 0,07 * 5 = 0,35м \quad (7.38)$$

Число труб уздовж потоку повинне знаходитися в межах значень, що рекомендуються  $4 \leq n_B \leq 12$ .  $n'_e = 5шт$

### 7.3 Розрахунок аеродинамічного опору

Розрахунок аеродинамічного опору пучка труб з круглими ребрами :

Число Ейлера знайдемо з вираження:

$$Eu = 3,1 * n'_B * \sigma_1^{0,58} * \sigma_2^{0,3} * Re^{-n} = 3,1 * 5 * (3,28)^{0,58} * (2,8)^{0,3} * 13587^{-0,3} = 2,44 \quad (7.39)$$

						Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{де } n = 0,22 * \varphi^{0,105} = 0,22 * (19,6)^{0,105} = 0,3 \quad (7.40)$$

$$\sigma_1 = S_1 / d_0 = 0,082 / 0,025 = 3,28 \quad (7.41)$$

$$\sigma_2 = S_2 / d_0 = 0,07 / 0,025 = 2,8 \quad (7.42)$$

Аеродинамічний опір пучка труб отримаємо так.

$$\Delta P = Eu * \omega^2 * \rho = 2,44 * 9^2 * 1,14 = 225 \text{ Па} \quad (7.43)$$

Розрахункова потужність двигунів вентиляторів апарату

$$N_p^{ЗБ.ЗАМ.} = V_B * \Delta P / (\eta_B * \eta_D) = 12,8 * 225 / (0,76 * 0,96) = 3,95 \text{ Вт} \quad (7.44)$$

Для камер збереження охолодженого м'яса обираємо повітряний конденсатор ACS902A (Alfa Laval), характеристики занесено до таблиці 7.1

Таблиця 7.1 – Характеристики повітряного конденсатора

Площадь поверхности, м <sup>2</sup>	299,5
Мощность при $\Delta T_{\text{перегрева}} = 25\text{K}$ , кВт	98,3
Вентиляторы :	
-кол-во	2
-диаметр, мм	910
-частота вращения, об/с	1,65
-мощность, кВт	4
-расход воздуха, м <sup>3</sup> /с	13,47

## 8 РОЗРАХУНОК І ПІДБІР ІНШОГО ОБЛАДНАННЯ

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

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

$$V_B = 0,25 * \pi * d_{BH}^2 * \Sigma L \quad (8.3)$$

Відповідно до правил техніки безпеки розрахунковий об'єм також збільшується на 20%, оскільки його заповнення не повинне перевищувати 80% . Таким чином місткість лінійного ресивера можна визначити як:

$$V_L = (0,6 * V_B / 0,5) * 1,2 \quad (8.4)$$

Для камер збереження заморожених продуктів  $t_{КАМ} = -18^{\circ}C$

$$V_B = 0,25 * 3,14 * (0,02)^2 * 86,3 = 0,03 м^3$$

$$V_L = (0,6 * 0,03 / 0,5) * 1,2 = 0,05 м^3$$

Для камер збереження охолоджених продуктів  $t_{КАМ} = -4^{\circ}C$

$$V_B = 0,25 * 3,14 * (0,02)^2 * 315,2 = 0,09 м^3$$

$$V_L = (0,6 * 0,09 / 0,5) * 1,2 = 0,1 м^3$$

По місткості підбираємо горизонтальний лінійний ресивер марки 0,1 РВ, місткістю 0,1 м<sup>3</sup>, який може використовуватись при робочому тиску до 1,8 МПа, в діапазоні температур від -15 до +47 °С. Обичайки ресивера зварні, запобіжні клапани мають умовний прохід 15мм.

Масловідділювачі призначені для відділення мастила, що відноситься з компресорів разом з холодильним агентом. Підбір масловідділювачів проводиться по діаметру нагнітального патрубку компресора. Вибираємо масловідділювач з водяним охолодженням типу МОВ-32М.

						Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 9 РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВОДІВ

Діаметр трубопроводів визначаємо по формулі:

$$d_{mp} = \sqrt{\frac{4 * M_A}{\pi * \rho * \omega}} \quad (9.1)$$

де  $M_A$  - масова витрата агенту, м<sup>3</sup>/с

$\omega$  - швидкість пари або рідини в трубопроводі, м/с

$\rho$  – щільність агента за відповідних умов, кг/м<sup>3</sup>

Приймаємо швидкість у трубопроводах: всмоктуючих-  $\omega = 10 \text{ м/с}$ ,  
нагнітальних -  $\omega = 15 \text{ м/с}$ , рідинних-  $\omega = 1 \text{ м/с}$ .

Розраховуємо трубопроводі для камер збереження замороженого м'яса

Розраховуємо всмоктуючий трубопровід

$$d_{BH} = \sqrt{\frac{4 * 0,1}{3,14 * 8,8 * 10}} = 0,038 \text{ м}$$

Приймаємо мідну трубу  $d_v = 40 \text{ мм } \varnothing 45 * 2,5 \text{ мм}$

Розраховуємо нагнітальний трубопровід

$$d_{BH} = \sqrt{\frac{4 * 0,1}{3,14 * 67 * 15}} = 0,01 \text{ м}$$

Приймаємо мідну трубу  $d_v = 15 \text{ мм } \varnothing 20 * 2,5 \text{ мм}$

Розраховуємо трубопровід на зливі з конденсатора в ресивер:

$$d_{BH} = \sqrt{\frac{4 * 0,1}{3,14 * 840 * 1}} = 0,01 \text{ м}$$

Приймаємо мідну трубу  $d_v = 15 \text{ мм } \varnothing 20 * 2,5 \text{ мм}$

Розраховуємо трубопроводі для камер збереження охолодженого м'яса

Розраховуємо всмоктуючий трубопровід

$$d_{BH} = \sqrt{\frac{4 * 0,422}{3,14 * 18,2 * 10}} = 0,053 \text{ м}$$

Приймаємо мідну трубу  $d_v = 54 \text{ мм } \varnothing 58 * 2 \text{ мм}$

Розраховуємо нагнітальний трубопровід

$$d_{BH} = \sqrt{\frac{4 * 0,422}{3,14 * 72 * 15}} = 0,026 \text{ м}$$

Приймаємо мідну трубу  $d_v = 32 \text{ мм } \varnothing 40 * 4 \text{ мм}$

Розраховуємо трубопровід на зливі з конденсатора в ресивер:

$$d_{BH} = \sqrt{\frac{4 * 0,422}{3,14 * 840 * 1}} = 0,025 \text{ м}$$

Приймаємо мідну трубу  $d_v = 25 \text{ мм } \varnothing 32 * 3,5 \text{ мм}$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

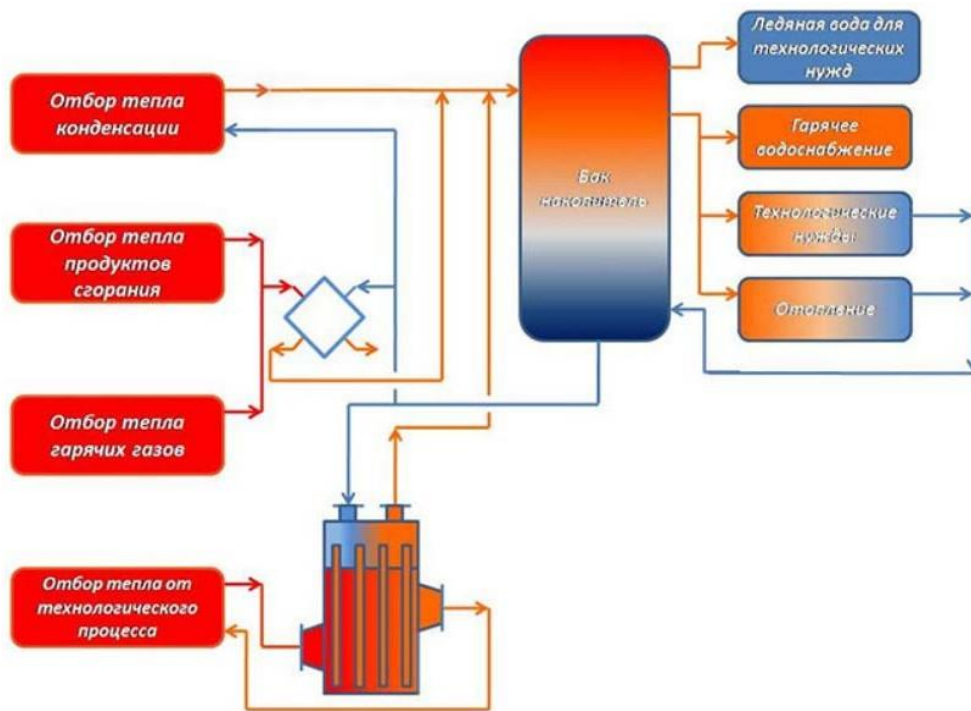
## 10 ТЕХНІКО-КОМЕРЦІЙНА МОДЕРНІЗАЦІЯ

Було проведено техніко-комерційну модернізацію (ТКМ) по зниженню споживання електроенергії та інших ресурсів для їх упровадження в схемне рішення існуючої холодильної установки з детальним описом та специфікацією обладнання, що пропонується.

На сьогоднішній день актуальною проблемою на безлічі підприємств залишається утилізація вторинних енергетичних ресурсів. Більшість технологічних процесів, робота багатьох механізмів і систем супроводжується виділенням великої кількості теплової енергії, яка не використовується, а розсіюється в навколишньому середовищі і називається «скидним теплом».

Найчастіше скидна теплота є низькопотенційна, оскільки має температуру трохи вище температури навколишнього середовища. Виділяють як техногенні системи, створені людьми, так і джерела природного походження. Низькопотенційна енергія - це енергія холоднішого навколишнього середовища, атмосфери і води має такий же тиск як має і перетворювач енергії споживача. Високопотенційна енергія - це та енергія, потенціал якої вище потенціалу споживача (точніше потенціалу перетворювача, який екстрагує енергію з навколишнього середовища для споживача). Принципова відмінність низькопотенційної теплової енергії від високопотенційної в тому, що вона має потенціал, який нижче потенціалу перетворювача, екстрагують енергію з навколишнього середовища для споживача. Джерелами низькопотенційної енергії є природні джерела тепла: земля, вода, повітря; або штучні джерела (вторинні енергетичні ресурси), т. е. теплові відходи (промислові скиди, побутові тепловиділення, що видаляються з вентиляційним повітрям).

						Арк.
						69
Змн.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата		

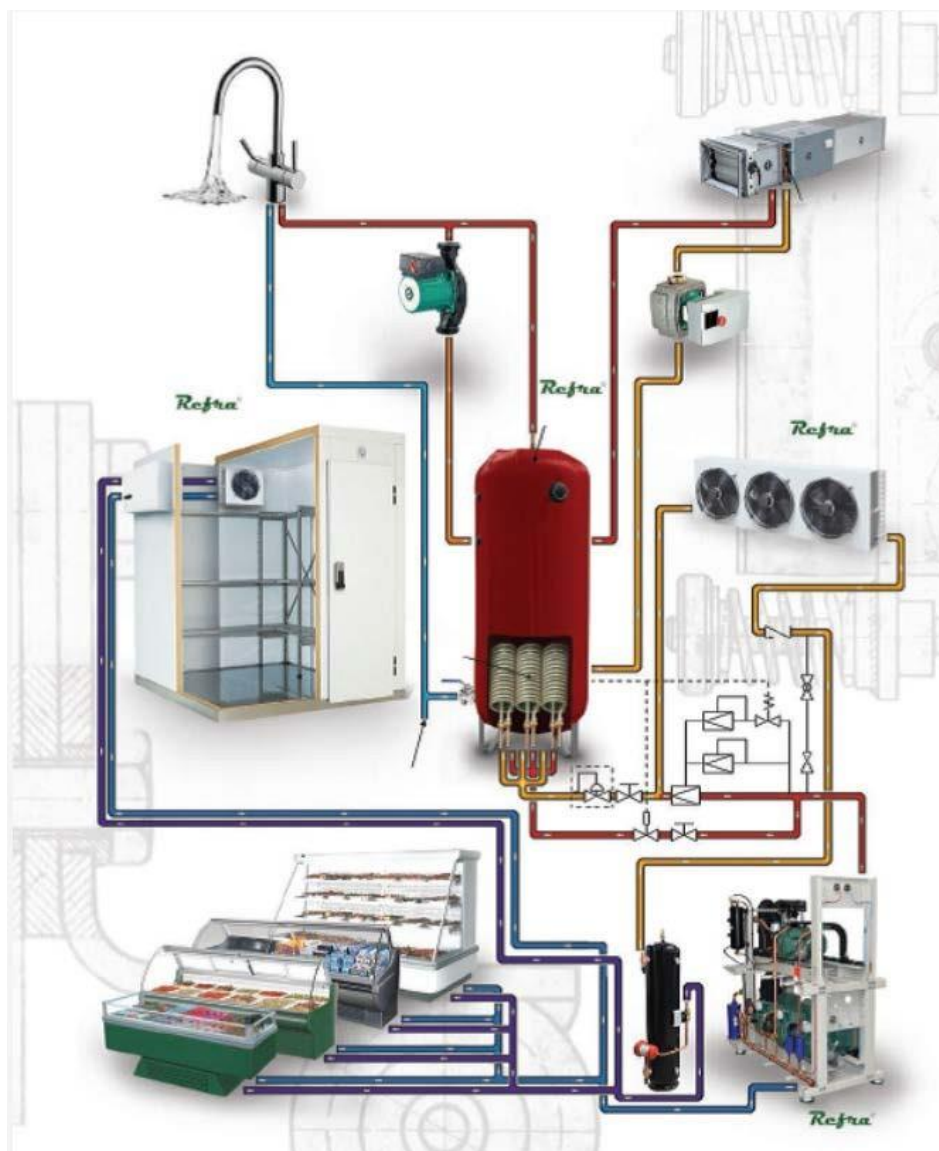


Однією з основних проблем використання низькопотенційної теплової енергії в народному господарстві є її транспортування. Частина теплової енергії в процесі транспортування втрачається - йде через теплову ізоляцію труб (ізоляція не може бути ідеальною). Ці втрати є технологічними (неминучими), вони не можуть бути усунені повністю, хоча можуть бути зменшені за рахунок якісної ізоляції труб, в тому числі і заміною їх на труби з більш досконалих матеріалів, що вимагає великих капіталовкладень. Така ж ситуація виникає і з акумулюванням низькопотенційної теплової енергії. Процес накопичення такої енергії зовсім нераціональний, т. к. виникають такі ж втрати, як і, наприклад, при транспортуванні.

Основними завданнями енергозбереження в Україні сьогодні можна назвати наступні напрямки:

- модернізація виробництва з впровадженням енергоефективних технологій та обладнання;
- підвищення енергоефективності будівель і споруд;
- стимулювання споживачів до раціонального використання електроенергії за рахунок організаційних і нормативних заходів, тарифної політики, субсидування підвищення енергоефективності об'єктів.

						Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Одним з найбільш ефективних сучасних напрямків по економії органічного первинного палива в системах теплопостачання є застосування теплонасосних установок, що дозволяють трансформувати низькотемпературну поновлювану природну енергію і вторинну низькопотенційну теплоту до більш високих температур, придатних для теплопостачання. Теплові насоси використовують (утилізують) розсіяне тепло природного (теплова енергія води, повітря, ґрунту) або техногенного походження (тепло промислових і стічних вод, вентиляційних труб і димових газів, технологічних процесів і т. д.).

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	71

Тепловий насос сумісний з будь-якої циркуляційної системою опалення та вентиляції. Термодинамічно тепловий насос аналогічний холодильній машині.

Однак якщо в холодильній машині основною метою є виробництво холоду шляхом відбору теплоти з будь-якого обсягу випарником, а конденсатор здійснює скидання теплоти в навколишнє середовище, то в тепловому насосі картина зворотна. Конденсатор є теплообмінним апаратом, що виділяють теплоту для споживача, а випарник - теплообмінним апаратом, який утилізує низькопотенційну теплоту: вторинні енергетичні ресурси і (або) нетрадиційні поновлювані джерела енергії.

У нашому випадку на підприємстві буде використана теплота конденсації для обігріву підлоги камер та для забезпечення побутових потреб в гарячій воді. Вода, нагріта теплотою конденсації в пластинчастих форконденсаторах, буде в свою чергу підігрівати розчин пропілен гліколю, що циркулює в трубах підігріву підлоги камер зберігання. Крім того, гаряча вода буде використовуватись для потреб підприємства.

Розрахунок системи обігріву пола камер зберігання заморожених та охолоджених продуктів.

Приймаємо що на підприємстві розташовано шість камер зберігання заморожених продуктів, з температурою в камерах  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Згідно розрахунку в бетонну основу пола камер будуть вмонтовані теплообмінники з пластикових труб, в яких буде циркулювати розчин пропіленгліколю з середньою температурою  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Площа кожної камери  $F_k=108\text{ м}^2$ , коефіцієнт теплопередачі підлоги  $k_k=0.2\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ .

						Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

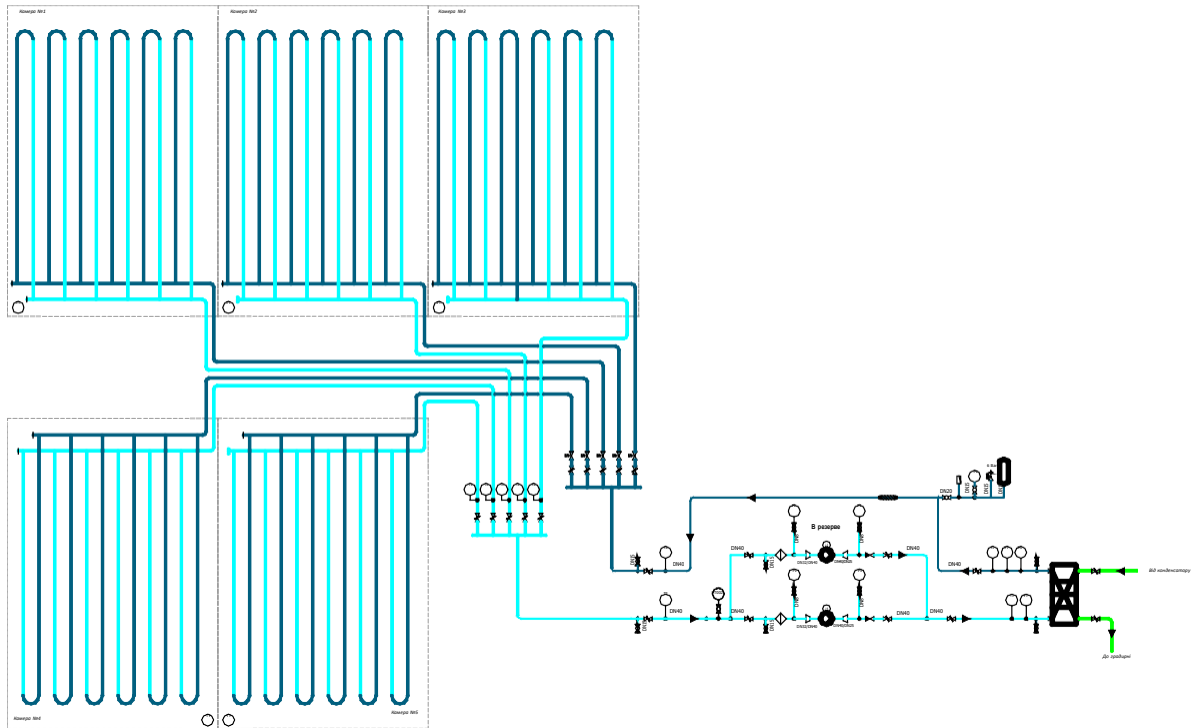


рис. 10.3 – Схема утилізації низькопотенційного тепла

Сумарні теплопритокі к розчину пропіленгліколя, який циркулює в змійовиках:

$$Q_{T1} = 6 \cdot 108 \cdot 0.2 \cdot (3 + 25) = 3024 \text{ Вт}$$

Згідно розрахованого навантаження підбираємо теплообмінник фірми Alfa-Laval:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## AlfaNovaPlate Heat Exchanger

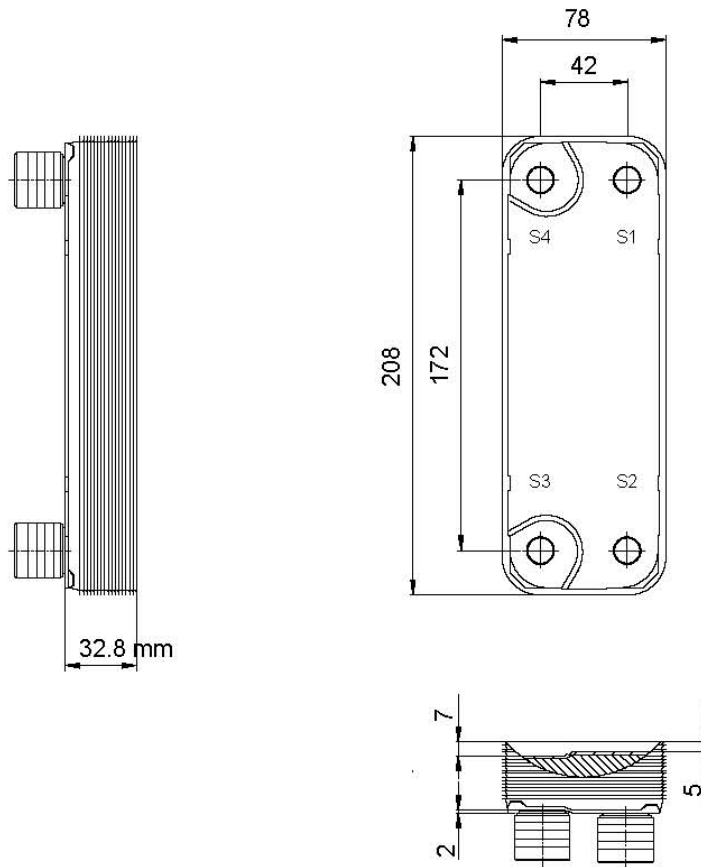
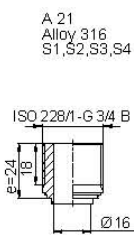
### Техническая спецификация

Модель : AlfaNova 14-10H(A21,A21) (32870 5066 1)  
 Проект : (Untitled 0) Кол-во : 1  
 ItemName : Дата : 16.02.2018

	Холодная сторона		Горячая сторона	
		S4S3		S2S1
Жидкость		Вода		23.0%
Prop.glycol				
Плотность	kg/m <sup>3</sup>	995.0		1026
Удельная теплоемкость	kJ/(kg*K)	4.18		3.99
Теплопроводность	W/(m*K)	0.614		0.480
Вязкость на входе	cP	0.801		4.66
Вязкость на выходе	cP	0.875		3.90
Массовый расход	kg/h	645.4		676.1
Входная температура	°C	30.0		2.0
Выходная температура	°C	26.0		6.0
Потери давления	kPa	17.0		13.2
Теплообменник	kW	3.000		
L.M.T.D.	K	24.0		
O.N.T.C clean conditions	W/(m <sup>2</sup> *K)	4065		
O.N.T.C service	W/(m <sup>2</sup> *K)	1200		
Поверхность теплообмена	m <sup>2</sup>	0.10		
Fouling resistance*10000 m <sup>2</sup> *K/W0.000				
Запас	%	235		
Относительное направление жидкости		Противоток		
Количество ходов		1		1
Материалпластина/ Соединение		Alloy 316 / SS		
СоединениеS1 (Холодный-Выход)		Резьба (внешняя)/ 3/4" ISO 228/1-G		
(A21) Alloy 316				
СоединениеS2 (Холодный-В)		Резьба (внешняя)/ 3/4" ISO 228/1-G		
(A21) Alloy 316				
СоединениеS3 (Горячий-Выход)		Резьба (внешняя)/ 3/4" ISO 228/1-G		
(A21) Alloy 316				
СоединениеS4 (Горячий-В)		Резьба (внешняя)/ 3/4" ISO 228/1-G		
(A21) Alloy 316				
Код давления аппарата		PED		
Расчетное давление at 75.000000 Celsius	Bar	23.0		23.0
Расчетное давление at 225.000000 Celsius	Bar	20.0		20.0
Расчетная температура	°C	-196.0/225.0		
Общие длина x ширина x высота	mm	57 x 77 x 207		
Вес пустой/заполненный	kg	1.30 /		
Package length x width x height	mm	200 x 93 x 233		
Package weight	kg	0.1200		
Price RCPL incl Extras		581 EUR		
-Unit 32870 5066 1		581.00 EUR		

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	74

Note that all unique customer requirements (i.e tolerance) need to be verified thru Alfa Laval.



Frameplate is depressed 2 mm at connection S3/S4  
 Pressureplate is depressed 2 mm / even number of channel plates  
 at connections T3/T4 / uneven number of channel plates at  
 connections T1/T2.  
 T1 T2 T3 T4 locations on back side  
 correspond to S1 S2 S3 S4 on front side

ALL DIMENSIONS IN MILLIMETERS

HEATING SURFACE	0.1040 m <sup>2</sup>	PLATE MATERIAL	Alloy 316	TOTAL LENGTH	56.8
NETWEIGHT	1.300 kg			TOTAL WIDTH	77.0
OPERATING WEIGHT	1.482 kg	PLATE GROUPING	1*4H / 1*5H	TOTAL HEIGHT	207.0

MEDIA	INLET	TEMP.	OUTLET	TEMP.	FLOW RATE	PRESSURE DROP	LIQUID VOL.
Water 23.0% Prop.glycol	S4	30.0 °C	S3	26.0 °C	645.4 kg/h	17.03 kPa	0.08000 dm <sup>3</sup>
	S2	2.0 °C	S1	6.0 °C	676.1 kg/h	13.17 kPa	0.1000 dm <sup>3</sup>

SUPPLIER	REF.	MP NO.	PLATE HEAT EXCHANGER			
AGENT/REF.			<b>AlfaNova 14-10H(A21,A21)</b>			
CUSTOMER NAME / REF. NO.					PED	
SIGN.					DATE 2018-02-16	REV No. 0

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк.
					75



У даній холодильній установці як форконденсатор буде використано зварний пластинчастий теплообмінник, який гратиме роль утилізатора високопотенційного тепла конденсації. Даний апарат встановлюється на загальній лінії нагнітання перед входом в конденсатор. Через апарат протитечією руху гарячої пари протікає вода, яка нагрівається і поступає в бак-акумулятор. Згідно теплового розрахунка за допомогою теплообмінника на лінії високого тиску можливо зняти навантаження 44 кВт з охолодженням пару аміаку з 100 °С до 60 °С. Принципіальна схема представлена на рис.10.4

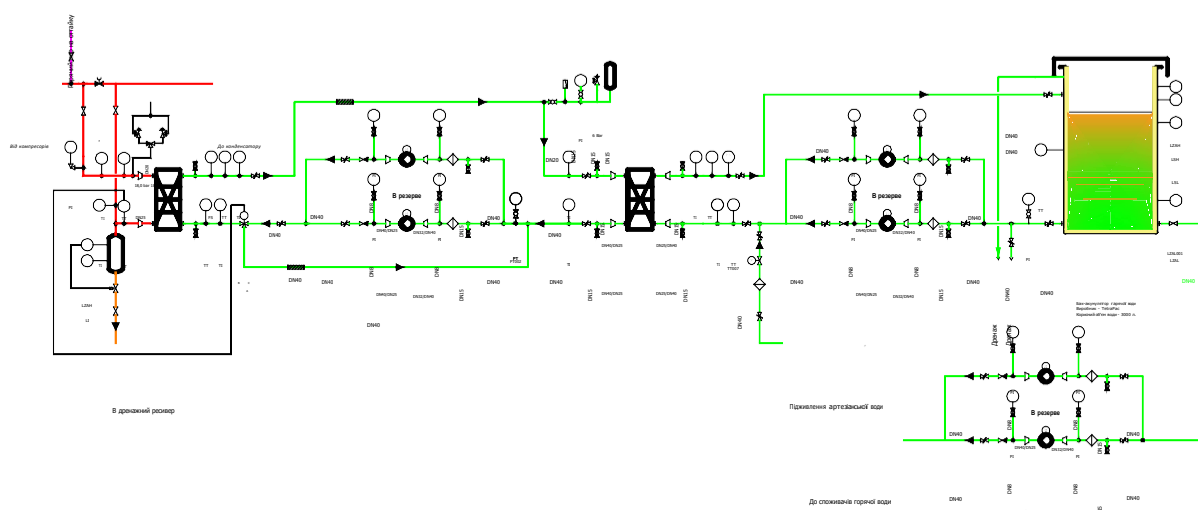


рис. 10.4 – Схема утилізації високопотенційного тепла

Згідно розрахованого навантаження підбираємо теплообмінник фірми Alfa-Laval:

						Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заказчик :  
 Модель : M10-BWFDR  
 Проект : (Untitled 0)  
 Позиция :

Дата : 16.02.2018

Жидкость		Аммиак	Вода
Массовый расход	kg/h	1495	9487
Сконденсировавшаяся жидкость/Выпаренный	kg/h	0.000	0.000
Входная температура	°C	100.0	58.0
Выходная температура (пар/Liquid)	°C	60.0	62.0
Рабочее давление (В/Выход)	bara	13.4/11.7	
Потери давления (Perm/Расч.)	kPa	268/174	100/91.2
Скорость в патрубках (В/Выход)	m/s	6.80/6.81	0.341/0.342
Теплообменник	kW	44.00	
Температурная поправка	K	12.0	
Относительное направление жидкости		Противоток	
Материал платины/ Толщина		ALLOY 304 / 0.50 mm	
Материал сальника		Сварной	NBRP Clip-on
Кольцевое уплотнение		CR	
Материал присоединения			
Диаметр присоединения		See drawing	See drawing
Nozzle orientation			
Код давления аппарата		PED	
Flange rating			
Расчетное давление	bar	25.0	16.0
Тестовое давление	bar	35.7	22.9
Расчетная температура	°C	100.0	70.0
Общие длина x ширина x высота	mm	x x	
Flooded weight	kg	0.00	
Price RCPL incl Extras		7250 EUR	

Згідно характеристик теплообмінника підбираємо насос фірми Grundfos, який буде перекачувати гарячу воду:

Спецификации	Текст с предложением	Видео (0)	Документы (3)	Чертежи CAD	Части системы	Результат подбора
<b>Результат подбора</b>						
Тип	MTR 1-15/15					
Кол-во	1					
Двиг.	0.75 кВт					
					<b>Профиль нагр.</b>	
Расх	24.9 л/мин				Расх	95 %
Работа минимум до	35 %				Напр	100 %
Напр	50.01 м				P1	0.482 кВт
Мощн. P1	0.503 кВт				Общий КПД	40.1 %
Мощн. P2	0.393 кВт				Врем	1113 ч/г
КПД нас.	51.9 %				Потребл. энергии	537 кВт-ч/Год
КПД двиг.	78.0 %				Кол-во	1
КПД агрегата	40.5 % =КПД нас.*КПД эл.двиг					
Общий КПД	40.5 % =КПД относит. рабочей точки					
Потребл. энергии	537 кВт-ч/Год					
Выброс CO2	306 кг/Год					
Стоим	По запросу					
Общие затраты	По запросу					
стоим.жизн.цикл						/5Лет

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Вартість насоса – 450 євро.

Приймаємо, що альтернативою системи подогріву буде електронагрівач, якій був би розташований в резервуарі. Тоді термін окупності враховуємо тільки для устаткування, яке розташовано до бака. Також приймаємо, що вартість допоміжних трубопроводів, арматури та автоматики складає 15% від сумарної вартості теплообмінника та насосів.

Сумарна вартість системи нагріву води (згідно схеми два теплообмінника та чотири насоса):

$$C_1 = 1.3 \cdot (2 \cdot 7250 + 4 \cdot 450) \cdot 33 = 699270 \text{ грн}$$

Економія затрат на електроенергію за рік, при вартості для підприємств 1.7 грн/кВт·год:

$$E_1 = 44 \cdot 1.7 \cdot 24 \cdot 300 = 538560 \text{ грн}$$

Термін окупності системи:

$$T_1 = C_1 / E_1 = 699270 / 538560 = 1.3 \text{ роки}$$

Зведемо головні параметри, які були розраховані, в таблицю.

	Система обігріву пола	Система отримання гарячої води
Вартість устаткування,	39284	699270
Економія затрат на електроенергію за рік, грн.	29784	538560
Термін окупності, рік	1.32	1.3

## 11 ОХОРОНА ПРАЦІ

Повністю безпечних і шкідливих виробництв не існує. Завдання охорони праці - звести до мінімальної вірогідності ураження або захворювання, що працює з одночасним забезпеченням комфорту, при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

Холодоагент R507a не токсичний і не спалахує у всьому діапазоні температур експлуатації. Проте при попаданні повітря в систему і стискуванні можуть утворюватися пальні суміші. R507a розкладається під впливом полум'я з утворенням отруйних і дратівливих з'єднань, таких, як фтористий водень.

Із-за значного потенціалу глобального потепління GWP рекомендується застосовувати R507a в герметичних холодильних системах.

R507a широко використовують у всьому світі як основну заміну R12 для холодильного устаткування, що працює в низкотемпературному діапазоні. Його застосовують в побутових холодильниках, торговельному холодильному низкотемпературному устаткуванні, промислових установках, системах кондиціонування повітря в будівлях і промислових приміщеннях, а також на холодильному транспорті.

Проектування і експлуатація даної птахофабрики регламентуються «Будівельними нормами і правилами», «Правилами пристрою електроустановок», а також «Типовими правилами пожежної безпеки для промислових підприємств. Дане виробництво відноситься до категорії Б (клас вибухонебезпеки В-1б) - вибухопожежне виробництво, в якому використовуються горючі гази, нижня межа займання яких вище 10%, а також рідини з температурою спалаху вище 28 °С або нагріті до температури спалаху і вище.

Проекти холодильних установок розробляються з врахуванням забезпечення раціональних технічних рішень, умов для безпечної експлуатації холодильного устаткування і задовольняють положенням СНіП, що діють.

Холодильне устаткування і трубопроводи розташовані в такому машинному відділенні, в якому можна виробити їх монтаж із забезпеченням висоти для проходу 2,2 м, - від відмітки підлоги до виступаючих частин устаткування (трубопроводів, арматури і ін.).

Забороняється розташовувати в одному приміщенні з холодильною установкою пристрої з відкритим полум'ям або з температурою поверхонь більше 300°C, а також вибухонебезпечне устаткування.

Забороняється розташовувати холодильні установки на сходових майданчиках, під сходами, в коридорах.

Двері машинних відділень, а також охолоджуваних приміщень (холодильних камер) відкриваються у бік виходу.

Ширина проходів в машинному відділенні:

головний прохід і прохід від електрощита до виступаючих частин машини (у там числі до обгороджувальних і фундаменту колон) - становить 1,5 м; між виступаючими частинами машин - 1 м;

						Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

між гладкою стіною і машиною - 0,8м.

Допускається встановлювати холодильне устаткування стороною, що не вимагає обслуговування, в стінах без наявності проходів.

Розміщення холодильного устаткування забезпечує зручність і безпеку обслуговування. Одиначна, рідко використовується арматура, розташована на висоті не більше 3 м., обслуговується з переносних сходів і драбин.

Майданчики, переходи і сходи, що вмонтовані в машинному відділенні, захищені поручнями заввишки 1 м, забезпеченими знизу суцільним металевим зашиванням заввишки 15см.

Рівні і майданчики сходів виготовлені з рифленої листової або круглої сталі. Ширина сходів 60 см, відстань між рівнями по висоті - 20 см, ширина рівнів-12см.

Всі рухомі частини машини, а також машини, апарати і трубопроводи в місцях, де вони можуть піддаватися ударам, захищені.

Фундаменти під компресори (агрегати) відокремлені від фундаментів стін або колон будівлі машинного відділення. При установці агрегатів на перекриттях передбачені заходи, що знижують можливість передачі вібрації на будівельні конструкції відповідно до нормативних документів, що діють.

У схемі трубопроводів передбачена можливість відсмоктування холодоагенту з будь-яких апаратів, судин, повітроохолоджувачів і батарей.

Щоб уникнути пошкодження вантажами або подійомно-транспортними засобами труб з хладоном, їх прокладка в холодильних камерах зроблена уздовж стін, перегородок і проходів без пересічення вантажного об'єму камер.

Технологічні трубопроводи, що проходять через приміщення машинного відділення і не пов'язані з роботою холодильної установки, не мають в межах цього приміщення роз'ємних з'єднань (фланців, замкової арматури і т.д.).

Трубопроводи неагрегованих фреонових установок мають наступне пізнавальне забарвлення;

всмоктуючі-синю;

нагнітальні-червону;

рідинні-сріблясту;

водяні-зелену.

Напрямок руху хладону, вказується стрілками, нанесеними чорною фарбою.

При постійному обслуговуванні холодильної установки персоналом наявність природного освітлення в машинному відділенні обов'язково.

У машинних відділеннях передбачене робоче і аварійне (від незалежного джерела) освітлення. Аварійне освітлення автоматично включається при відключенні основного джерела освітлення. Для освітлення при огляді, ремонті, чищенню і тому подібне застосовуються переносні ручні світильники з мірою захисту IP 54 із запобіжною сіткою напругою не більше 42 В. Для приміщень з періодично обслуговуваними автоматизованими фреоновими установками аварійне освітлення не обов'язкове.

Машинне відділення забезпечене опалюванням і вентиляцією відповідно до вимог СН 245-71 і Сніп II-33-75\*. Температура в машинних і апаратних

						Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відділеннях підтримується на рівні не нижче 16°C при непрацюючому устаткуванні.

Припливна і витяжна (вона ж аварійна) вентиляція в машинних відділеннях примусові з кратністю повітрообміну:

припливна - 3,

витяжна (аварійна)-4 в годину.

Видалення повітря здійснюється поблизу холодильних агрегатів з нижньої зони приміщення згідно СНіП II-33-75\*, при цьому 2/3 загального об'єму повітря видаляється з нижньої частини зони і 1/3 - з верхньої зони. Так як в нас використовується повітряний конденсатор (при установці його в приміщенні) він забезпечений обдуванням зовнішнім повітрям в кількості, що забезпечує робочий режим машини.

Забороняється об'єднувати між собою фреонові трубопроводи агрегатованих холодильних установок заводського постачання (за винятком трубопроводів, що сполучають машини з дренажним ресивером, і аварійного викиду хладону).

Технічний огляд апаратів (посудин) фреонових установок, що підлягають дії "Правил пристрою і безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском", але не реєстрованих в органах Держміськтехнагляду, повинен проводитися підприємством - власником посудин до пуску в роботу, періодично в процесі експлуатації і достроково. Випробування апаратів (посудин) тиском може бути або гідравлічним (із заповненням судини для фреонових холодильних машин маслом), або пневматичним на такий же пробний тиск сухим інертним газом (азотом або вуглекислою) або сухим повітрям з точкою роси не більш мінус 40°C (випробування водою забороняється).  
П р и м і т к а. Допускається випробування на міцність проводити холодоагентом в апаратах, де можливе створення необхідного тиску агенту шляхом наприклад, прокачування підігрітої води або іншого теплоносія через випробуваний апарат.

При технічному огляді до пуску в роботу випробування знов встановленого апарату (посудини) дозволяється не проводити, якщо з моменту проведення такого випробування на заводі - виробнику прошло менше 12 міс, посудина не отримала пошкоджень при транспортуванні до місця установки і монтаж його вироблявся без вживання зварки або паяння елементів, що працюють під тиском.

Якщо термін консервації, встановлений заводом-виробником, більше 12 міс, то в холодильних агрегатах, що поставляються заповненими маслом і газом-консервантом і що зберегли надлишковий тиск до пуску в роботу, при технічному огляді (в межах терміну складської консервації до трьох років) вирішується випробування на міцність апаратів не проводити. Їх слід піддати зовнішньому і в доступних місцях внутрішньому огляду з подальшим випробуванням на щільність разом з системою змонтованих трубопроводів.

Апарати (посудини) піддаються достроковому технічному огляду: після реконструкції і ремонту із застосуванням зварки і паяння частин, що працюють під тиском;

						Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

після бездіяльності в не законсервованому стані (без надлишкового тиску хладону або азоту) більш одного року;

якщо такий огляд необхідний по розсуду особи, що здійснює нагляд або відповідального за їх справний стан і безпечну дію.

Результати технічного огляду апарату (посудини), дозвіл на пуск в роботу з вказівкою терміну наступного технічного огляду записуються в книгу обліку і огляду посудин, а також в паспорт посудини особою, що проводила даний технічний огляд.

Тиск при випробуванні слід піднімати поступово з оглядом апаратів (посудин) досягши 0,3 і 0,6 пробного тиску з припиненням підйому тиску на час огляду. Після цього тиск піднімається до пробного і під цим тиском апарат (посудина) повинен знаходитися протягом 5 хв, після чого тиск поступово знижується до розрахункового, при якому оглядається апарати (посудини) з контролем щільності його швів і роз'ємних з'єднань.

Апарат (посудина) визнається таким, що витримує випробування, якщо:  
у нім не виявиться ознак розриву;

не будуть відмічена теча і потіння в зварних швах, а при пневматичному випробуванні-пропуск газу;

не будуть відмічені видимі залишкові деформації після випробувань.

Система трубопроводів після монтажу має бути ретельно продута і випробувана на міцність і щільність пробним тиском сухого повітря або інертного газу з точкою роси не більш мінус 40°C окремо по сторонах високого і низького тиску. Випробування проводяться при відключених компресорах, приладах контролю і автоматики, а також апаратах, якщо випробування апаратів на міцність не входить в об'єм технічного огляду, до пуску в роботу. Під пробним тиском система трубопроводів (або окремі її ділянки) повинна знаходитися не менше 5 хв.

Після випробувань на міцність система трубопроводів і апаратів (посудин) випробовується на щільність (герметичність) тиском сухого повітря або інертного газу окремо по сторонах високого і низького тиску і витримкою під тиском протягом 18 год. із записом тиску через кожну годину. Протягом перших 6 год. тиск може мінятися унаслідок вирівнювання температур внутрішнього і оточуючого середовищ. Протягом подальших 12 год. тиск не повинен мінятися за умови постійності температури навколишнього повітря, інакше має бути вироблений перерахунок. Випробування на щільність повинне проводитися до ізоляції трубопроводів і апаратів.

Пневматичне випробування апаратів (посудин) і системи трубопроводів пробним тиском проводиться з дотриманням наступних заходів безпеки:

вентиль на наповнювальному трубопроводі від джерела тиску і манометри мають бути виведені за межі охоронної зони. Знаходиться кому-небудь в цій зоні в період нагнітання повітря або інертного газу і при витримці пробного тиску забороняється;

на випробовуваному апараті (посудині) або системі трубопроводів є не

						Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

менше одного запобіжного клапана, відрегульованого на відкриття при тиску, що перевищує відповідний пробний тиск не більш, ніж на 0,1 Мпа (1 кгс/см<sup>2</sup>)

При проведенні випробувань системи трубопроводів і апаратів (посудин) на щільність з визначенням падіння тиску на час випробування охоронну зону не встановлюють.

При пневматичному випробуванні для створення тиску в системі забороняється використовувати фреоновий компресор.

Після закінчення пневматичного випробування проводиться вакуумування системи трубопроводів і апаратів (посудин) з метою їх осушення при температурі навколишнього повітря не менш е15°С.

Після досягнення залишкового тиску від 0,6 до 1,0 кПа (від 5 до 8 мм рт. ст.) рекомендується продовжити вакуумування протягом 18 год., після чого випробувати систему на вакуум. При випробуванні система повинна залишатися під вакуумом протягом 18 год. із записом тиску через кожну годину

Протягом перших 6 год. допускається підвищення тиску не більш, ніж на 0,5 кПа (4 мм рт. ст.). У останній час тиск може змінюватися лише на величину, відповідну зміні температури навколишнього повітря.

Після заповнення установки хладоном проводиться додаткова перевірка щільності всіх з'єднань системи за допомогою втечешукача.

На кожному апараті (посудині) є нанесений фарбою на видному місці або на спеціальній таблиці:

реєстраційний номер;

дозволений тиск;

дата (місяць і рік) проведеного і наступного технічного випробування.

Запобіжний клапан компресора запобігає підвищення різниці тиску нагнітання і всмоктування понад встановлене значення і захищає механізм руху від перевантаження, перепускаючи пару з порожнини нагнітання в порожнину всмоктування.

Запобіжний клапан апарату запобігає підвищення тиску понад допустиме значення і захищає апарат і трубопроводи, автоматично скидаючи пару холодоагента безпосередньо в атмосферу або через проміжний трубопровід в посудину з нижчим тиском.

Справність запобіжних клапанів апаратів перевіряють не рідше за один раз в 6 міс. Після перевірки і регулювання клапани пломбують із складанням акту.

Мінімальна площа перетину запобіжного клапана:

$$F_{\text{кл}} = \frac{G_p}{\mu \cdot V \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot (P_1 - P_2)}}, \text{ м}^2, \quad (11.1)$$

де:  $G_p$  – масова витрата холодильного агента, кг/с;  $G_p = 0,52$  кг/с;

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

$\mu = 0,75$  – коефіцієнт витрати пари для даної конструкції клапана (визначений виготовленням клапана експериментально і записаний в паспорт клапана);

$\rho_{\text{ср}}$  – щільність середовища при тиску  $p_1$ ;  $\rho_{\text{ср}} = 117,25 \text{ кг/м}^3$ ;

$p_1, p_2$  – відповідно максимальний абсолютний тиск перед клапаном і за клапаном,  $p_1 = 2,1 \text{ МПа}$ ;  $p_2 = 1,6 \text{ МПа}$ ;

$B$  – коефіцієнт, що враховує фізико - хімічні властивості речовини при робочих параметрах:

$$B = 1,59 \sqrt{\frac{k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}}; \quad (11.2)$$

$$B = 1,59 \sqrt{\frac{1,29}{1,2+1} \cdot \left(\frac{2}{1,2+1}\right)^{\frac{1}{1,2-1}}} = 0,852;$$

$k$  – показник адіабати,  $k = 1,2$ ;

$$F_{\text{кл}} = \frac{0,52}{0,75 \cdot 0,852 \cdot \sqrt{2 \cdot 117,25 \cdot (2,1 - 1,6) \cdot 10^5}} = 2,37 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (11.3)$$

Визначимо мінімальний діаметр прохідного перетину сідла клапана:

$$d_{\text{кл}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,37 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 0,02 \text{ м}. \quad (11.4)$$

Фреони володіють вельми високою текучістю. Вони здатні проникати через щонайменші нещільності навіть крізь дрібні пори металу. Обслуговуючий персонал не може виявити витік фреону безпосередньо за допомогою органів чуття (як для аміаку), оскільки фреони, при атмосферному тиску є безбарвним газом з дуже слабким запахом, який починає відчуватися лише при вмісті фреону в повітрі більше 20-30% за об'ємом.

Витік фреону приводить до порушення технологічного режиму споживачів холоду, неблагодарно позначається на температурному режимі роботи холодильної машини, викликає перегрів обмотки електродвигуна герметичного компресора і вихід його з ладу.

Розглянемо методи визначення витіку фреонів.

1. Обмілення місць з'єднань елементів холодильної установки. В разі витіку фреону з'являються зростаючі міхури. Щоб піна довше не висихала, в мильний розчин додають гліцерин.

2. Визначення великого витіку агента по масляному витіку в місці розгерметизації (у установках, що використовують фреони і масла з хорошою взаємною розчинністю).

3. Визначення витіку за допомогою галоїдних ламп (найпоширеніший

					Арк.
					85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

метод). Принцип дії галоїдних ламп заснований на тому, що продукти розкладання фреону у присутності розжареної міді забарвлюють безбарвне полум'я пальника і збільшують висоту факела. Висока чутливість галоїдних ламп реалізується повною мірою, якщо витік визначається в добре провітреному приміщенні. Залежно від вживаного палива існує декілька типів галоїдних ламп: спиртні, пропанові, бензинові, ацетиленові, найбільш чутливі при роботі на пропан-бутані.

Судини, ресивери повинні мати справні візуальні покажчики рівня рідини, які повинні застосовуватися плоске (рефлекторне) скло. Показники рівня мають бути обладнані замковими пристосуваннями для їх відключення в разі поломки скла.

Манометри (мановакууметри) комплектовані заводським постачанням є встановлені на кожному компресорі для спостереження за робочим тиском всмоктування, нагнітання, в системі мастила і в картері. Манометри (мановакууметри) встановлені на апаратах, судинах, технологічному устаткуванні з безпосереднім охолодженням, фреонових насосах, а також на розподільних пристроях (рідинних, всмоктуючих, відтаюванні), сполучених трубопроводами з устаткуванням холодильних камер, і на загальних всмоктуючих і нагнітальних трубопроводах, до яких паралельно приєднано декілька компресорів.

Манометр вибирається з такою шкалою, щоб межа виміру робочого тиску знаходилася в другій третині шкали. Між манометром і апаратом (посудиною) встановлений трьохходовий кран або штуцер із замковим органом для під'єднання другого манометра. За наявності можливості перевірити манометр у встановлені терміни, знявши його з посудини, установка трьохходового крану або замінюючого його пристрою не обов'язкова.

Манометри мають клас не нижче 2,5 (ГОСТ 8625-77) і встановлюються так, щоб їх свідчення були виразно видні. Циферблат розташований у вертикальній площині або з нахилом вперед до 30 градусів. Манометр має червону межу по діленню, відповідному дозволеному робочому тиску в судині.

Всі встановлені манометри опломбовані або мають клеймо перевірки. Перевірка манометрів проводиться щорік, а також кожного разу після проведеного ремонту манометра.

Не рідше за один раз в 6 міс. підприємством виробляється додаткова перевірка робочих манометрів контрольним манометром із записом результатів в журнал контрольних перевірок. За відсутності контрольного манометра допускається виробляти додаткову перевірку перевіреним робочим манометром.

Манометр не допускається до застосування у випадках, коли відсутня пломба або клеймо, прострочений термін перевірки, стрілка манометра при його виключенні не повертається на нульову відмітку шкали, розбито скло або є інші пошкодження, які можуть відбитися на правильності його свідчень.

Посудини що містять рідкий холодоагент, апарати і технологічне устаткування з безпосереднім охолодженням мають справні пружинні запобіжні

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

клапани або плавкі пробки.

До обслуговування холодильних систем допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд і що мають документ про закінчення спеціального навчального закладу або курсів. До самостійного обслуговування холодильних систем допущені працівники лише після проходження під керівництвом досвідченого наставника стажування протягом одного місяця і відповідної перевірки знань.

Виконання робіт в машинних і апаратних відділеннях, а також в холодильних камерах і інших приміщеннях, де є холодильне устаткування, працівниками, не пов'язаними з обслуговуванням холодильної системи і експлуатацією холодильних камер (ремонт, теплоізоляція, фарбування, устаткування і труб і ін.), виробляється після відповідного інструктажу і під спостереженням працівника, відповідального за експлуатацію холодильної системи.

Особі, допущені до технічного обслуговування конкретної системи, окрім загальнотеоретичних знань і вимог Правил безпечної експлуатації холодильної установки, повинні знати:

- пристрій, правила обслуговування і принцип роботи холодильної системи, включаючи систему трубопроводів;
- порядок виконання робіт по пуску, зупинці холодильної системи і її елементів, регулюванню режиму їх роботи (відповідно до інструкцій організації виробника по обслуговуванню встановленого устаткування);
- нормальний режим роботи холодильної системи;
- правила заповнення хладагентом, маслом і холодоносієм;
- порядок ведення експлуатаційного журналу холодильної системи;
- правила користування засобами індивідуального захисту;
- правила охорони праці і надання долікарської допомоги, у тому числі при ураженні електрострумом.

Періодична перевірка знань обслуговуючого персоналу правил, нормативних документів по технічному обслуговуванню холодильної системи і охорони праці, а також практичних дій проводиться не рідше за 1 раз в рік комісією, що складається з фахівців з холодильної техніки і охорони праці. Склад комісії затверджується працедавцем.

У вхід в охолоджувані приміщення (коридор, естакада) вивішені інструкції по охороні праці при проведенні робіт в цих приміщеннях і захисті пристроїв, що охолоджують, і трубопроводів від пошкоджень. Проходи поблизу холодильного устаткування завжди вільні, а підлоги проходів - в справному стані.

Куріння в машинних відділеннях, а також в інших приміщеннях, де встановлено холодильне устаткування, забороняється. Зварка і паяння при ремонті машин, агрегатів, апаратів, трубопроводів холодильних систем, що діють, застосовуються під спостереженням старшого технічного персоналу і за наявності письмового дозволу працівника, відповідального в організації за справний стан, правильну і безпечну експлуатацію холодильних систем.

						Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Холодильні системи є забезпечені первинними засобами пожежогасінні відповідно до норм, що діють. Розміщення і зберігання в приміщеннях холодильних установок сторонніх предметів не допускається.

Перед початком роботи з устаткуванням в закритих приміщеннях переконаються в тому, що розвантажувальні колектори запобіжних клапанів і спускові вентиля виведені за межі приміщення і відключені від всіх повітрозабірників, сполучених з будівлею. Перевіряють, чи добре вентилюється приміщення. При необхідності для розсіювання пари хладагентів можна скористатися допоміжними вентиляційними системами (наприклад, повітродувками або вентиляторами). Перш ніж увійти до закритих приміщень, перевіряють його на наявність кисню. Для випробування на наявність кисню не можна користуватися монітором наявності витоків, оскільки з його допомогою не можна встановити, чи досить в приміщенні кисню для життєдіяльності. Для контролю за наявністю кисню у виробничих приміщеннях мають бути передбачені спеціальні прилади.

Первинну заправку або дозаправку холодильної системи хладагентом (хладоном) в умовах експлуатації рекомендується виконувати по рідкій фазі хладагента, якщо інше не передбачене організацією-изготовителем. При дозаправці використовують капілярну трубку або інший пристрій, що забезпечує дроселювання рідини, для запобігання можливості попадання рідкого холодоагенту у всмоктууючу порожнину компресора.

Перед заповненням холодильної системи агентом слід упевнитися в тому, що в балоні міститься відповідний холодильний агент. Перевірка проводиться по величині тиску пари хладагента при температурі балона, рівній температурі навколишнього повітря. Перед перевіркою балон повинен знаходитися в даному приміщенні не менше 6 годин. Залежність тиску хладагента від температури навколишнього повітря перевіряється по таблиці насиченої пари.

Приміщення розподілюючих пристроїв( РП) підприємства (організації), що примикає до приміщень, належним стороннім організаціями і що має устаткування, що знаходиться під напругою, не сполучається з ними і має окремий вихід, що закривається. Кабельні канали РП закриваються знімними негорючими плитами і містяться в чистоті.

Струмоведачі частини пускорегулюючих і захисних апаратів є захищені від випадкових дотиків. У спеціальних приміщеннях (електромашинних, щитових, станцій управління і т. д.) допускається відкрита (без захисних кожухів) установка апаратів.

В чергового персоналу або особи, відповідальної за електрогосподарство, наявний запас плавких комбінованих вставок. Використання некаліброваних плавких вставок забороняється. Плавкі вставки повинні строго відповідати даному типові запобіжників.

На зовнішніх дверях РП вказуються їх найменування. Всі дроти, шини, кабелі, контрольні затиски і запобіжники маркуються по єдиній системі (ізолюваними бірками, написом або гравіюванням на корпусі або на щитку над

						Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або під затисками і запобіжниками) . На запобіжниках і запобіжних витках, крім того, вказується номінальний струм плавкої вставки. Панелі РП забарвлюються в світлі тони, на них виконуються чіткі написи, які вказують призначення окремих ланцюгів, приводів. На дверях РП вивішуються застережливі плакати відповідно до вимог правил техніки безпеки. Такі написи є на лицьовій і оборотній сторонах панелей.

На всіх ключах, кнопках і рукоятках управління є написи, що вказують операцію, для якої вони призначені (“Включити”, “Відключити”, “Збавити”, “Додати” і ін.) . На сигнальних лампах і інших сигнальних апаратах присутні написи, які вказують характер сигналу (“Вкл.”, “Викл.”, “Перегрів” і ін.).

Огляд і очищення розподільних пристроїв, щитів, складок, щитків від пилу і забруднення проводиться 1 раз в 3 міс.

Заземляючі пристрої електроустановок споживачів відповідають вимогам, що діють. Заземляючі пристрої забезпечують безпеку людей і захист електроустановок, а також експлуатаційні режими роботи. Для тієї частини електроустановки, яка може виявитися під напругою унаслідок порушення ізоляції, є забезпечений надійний контакт із заземлюючим пристроєм, або із заземленими конструкціями, на яких воно встановлене.

Приєднання заземлюючих провідників до заземлення, заземлюючого контуру і до конструкцій, що заземлюються, виконане зваркою, а до корпусів апаратів, машин і опорам повітряних ліній електропередачі - зваркою або надійним болтовим з'єднанням і задовольняти вимогам ГОСТ 10434-82\*.

Відкрито прокладені заземляючі провідники мають помітне забарвлення відповідно до вимог ГОСТ.

Використання землі як фазний або нульовий дріт в електроустановках напругою до 1000 В забороняється.

Тимчасові переносні заземлення, вживані для заземлення струмоведучих частин ремонтної частини електроустановки, що складаються з провідників для закорочення фаз і провідників для приєднання до заземлюючого пристрою, виконане з неізольованих гнучких мідних багатожильних проводів, що мають перетин, відповідний вимогам термічної стійкості при коротких замиканнях.

Для визначення технічного стану заземлюючого пристрою періодично проводяться ;

- а)зовнішній огляд видимої частини заземлюючого пристрою
- б) огляд з перевіркою ланцюга між заземленням і елементами (відсутність обривів і незадовільних контактів в проводці, що сполучає апарат із заземлюючим пристроєм), що заземлюються, а також перевірка пробивних запобіжників трансформаторів;
- в)вимір опору заземлюючого пристрою;
- г)перевірка ланцюга фаза-нуль;
- д)перевірка надійності з'єднань природних заземлень;

						Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

е) вибірковий розтин ґрунту для огляду елементів заземлюючого пристрою, що знаходяться в землі;

є) вимір питомого опору ґрунту для опор ліній електропередачі напругою вище 1000 Вт.

Зовнішній огляд заземлюючого пристрою проводиться на місці з оглядом електроустановки РУ, трансформаторних підстанцій і розподільних пунктів, а також цехових і інших електроустановок.

Про огляди, виявлені несправності і прийняті заходи мають бути зроблені відповідні записи в журналі огляду заземлюючих пристроїв або оперативному журналі.

На кожен заземлюючий пристрій, що знаходиться в експлуатації, є паспорт, що містить схему заземлення, основні технічні дані, дані про результати перевірки стану заземлюючого пристрою, про характер ремонтів і зміни, внесені до даного пристрою.

Захисне заземлення - навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть виявитися під напругою.

Проведемо розрахунок захисного заземлення.  
Розрахункове значення питомого опору ґрунту:

$$\rho_{гр} = \rho_p \cdot \psi, \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (11.5)$$

де:  $\rho_p$  – питомий опір Ом/м;  $\rho_p = 30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  – для чорнозему;

$\psi$  – кліматичний коефіцієнт,  $\psi = 1,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ;

$$\rho_{гр} = 30 \cdot 1,5 = 45 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

Приймаємо електроди сталеві вертикальні трубні: діаметр стрижня  $d = 0,04 \text{ м}$ , довжина стрижня  $l = 3 \text{ м}$ , відстань між стрижнями  $l' = 6 \text{ м}$ .

Відстань від середини стрижня до рівня землі:

$$t = \frac{l}{2} + t_3, \text{ м} \quad (11.6)$$

де:  $t_3$  – відстань від вершини стрижня до рівня землі, м. приймаємо:

$$t_3 = 0,5 \text{ м}.$$

$$t = \frac{3}{2} + 0,5 = 2 \text{ м}.$$

Розраховуємо опір одного вертикального заземлення:

$$R_0 = \frac{\rho_{гр}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot l}{d} \right) + \frac{1}{2} \ln \left( \frac{4t + 1}{4t - 1} \right) \right], \text{ Ом}. \quad (11.7)$$

$$R_0 = \frac{45}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 3}{0,04} \right) + \frac{1}{2} \ln \left( \frac{4 \cdot 2 + 1}{4 \cdot 2 - 1} \right) \right] = 12,27, \text{ Ом}.$$

						Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мінімальна кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_0}{R_{\text{тр}}}, \text{ шт.}, \quad (11.8)$$

де:  $R_{\text{тр}}$  – необхідний опір, Ом;  $R_{\text{тр}} = 4$  Ом;

$$n = \frac{12,27}{4} = 3,07 \text{ шт.}$$

Приймаємо  $n = 4$  шт.

Відношення відстані між стрижнями до довжини стрижня:

$$\frac{l'}{l} = \frac{6}{3} = 2.$$

Опір системи вертикальних стрижньових заземлювачів:

$$R_{\text{сз}} = \frac{R_0}{n \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (11.9)$$

де:  $\eta = 0,85$  – коефіцієнт використання вертикальних стрижньових заземлювачів;

$$R_{\text{сз}} = \frac{12,27}{4 \cdot 0,91} = 3,37 \text{ Ом.}$$

Загальна довжина сполучної смуги (контурне заземлення):

$$L_{\text{п}} = l' \cdot (n-1) = 6 \cdot (4-1) = 18 \text{ м.} \quad (11.10)$$

Визначимо опір розтікання струму сполучної смуги:

$$R_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{тр}}}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{\text{г}} \cdot L_{\text{п}}} \cdot \ln \frac{L_{\text{п}}^2}{d \cdot t_3}, \text{ Ом}, \quad (11.11)$$

де:  $d$  – зовнішній діаметр труби, м;  $d = b \cdot 0,5 = 0,05 \cdot 0,5 = 0,03$  м;

$$R_{\text{п}} = \frac{45}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,94 \cdot 18} \cdot \ln \frac{18^2}{0,03 \cdot 0,5} = 4,23 \text{ Ом.}$$

Загальний опір системи заземлення:

$$R_{\text{с}} = \frac{R_{\text{п}} \cdot R_{\text{сз}}}{R_{\text{п}} + R_{\text{сз}}}, \text{ Ом} \quad (11.12)$$

$$R_{\text{с}} = \frac{4,23 \cdot 3,37}{4,23 + 3,37} = 1,89 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом.}$$

$R_{\text{с}} \leq 4$  Ом, що говорить про правильність розрахунку заземлення.

						Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пожежі на холодильних підприємствах представляють велику небезпеку для тих, хто працює і може заподіяти величезний матеріальний збиток. Питання забезпечення пожежної безпеки виробничих будівель і споруд мають велике значення і регламентуються спеціальними державними постановами і рішеннями.

Пожежна безпека забезпечена заходами пожежної профілактики і активного пожежного захисту. Поняття пожежної профілактики включає комплекс заходів, необхідних для запобігання виникненню пожежі або зменшення його наслідків. Під активним пожежним захистом розуміються заходи, що забезпечують успішну боротьбу з виникаючими пожежами або вибухонебезпечною ситуацією.

Як вже було вказано вище, дане виробництво по вибухопожежній і пожежній небезпеці відноситься до категорії Б (вибухопожежнебезпечні).

Для захисту будівель і споруд від поширення пожежі на весь об'єкт (при його виникненні) передбачають протипожежні перешкоди. До таких перешкод відноситься протипожежні стіни, перегородки, перекриття, зони, тамбури шлюзи і ін. Всі конструкції виконуються з негорючих матеріалів (гіпсові або гіпсоволокнисті плити при вмісті органічної маси 8% (по масі)).

Використання автоматичних засобів виявлення пожеж є одним з основних умов забезпечення пожежної безпеки в на даному підприємстві, оскільки дозволяє оповістити черговий персонал про пожежу і місце його виникнення.

В компресорному цеху присутні сповіщувачі пожежі ручної дії, призначені для видачі дискретного сигналу при натисненні відповідної пускової кнопки, і автоматичної дії для видачі дискретного сигналу досягши заданого значення фізичного параметра (температури, спектру світлового випромінювання, диму і ін.).

Для гасіння пожежі, в основному застосовують вогнегасники. При гасінні пожеж піною широко застосовують генератори високократної піни ГВП і хімічні вогнегасники ОХП-10.

Генератори ГВП мають декілька розмірів: ГВП-200, ГВП-600, ГВП-2000. Відрізняються вони один від одного геометричними розмірами і продуктивністю (від 200 до 2000 л/с).

Вогнегасник ОХП-10 хімічний, пінний (модель 10). Забороняється застосовувати цей тип вогнегасників при гасінні електроустановок, що горять, оскільки піна, що утворюється, електропровідна.

Вуглекислотні вогнегасники застосовують при гасінні пожеж: у електроустановках, що знаходяться під напругою до 1000 В,

Порошкові вогнегасники застосовують при гасінні загорянь на легкових і вантажних машинах.

Пожежне водоймище, призначене для запасу води, розраховується по формулі:

$$V = \frac{g \cdot k \cdot \tau \cdot n}{1000} \cdot 3600, \text{ м}^3, \quad (11.13)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

де:  $k$  - коефіцієнт запасу, приймається  $k = 1,1 \dots 1,2$ ;  
 $n$  - кількість пожеж, шт;  
 $g$  - витрата води на  $1 \text{ м}^2$  приміщення;  
 $\tau$  - час пожежогасіння.

$$V = \frac{10 \cdot 1,2 \cdot 2 \cdot 1}{1000} \cdot 3600 = 86,4 \text{ м}^3.$$

Машинні і апаратні відділення фреонових холодильних установок обладнані системами приточно - витяжною механічною вентиляцією з кратністю повітрообміну в годину, не менше 3 для припливу і 4 для витягу.

Система вентиляції може служити для подачі (припливу) або видалення (витягу) повітря з приміщення або для того і іншого (приточно-витяжною). Вона також може бути загальнообмінною або місцевою.

Розрахуємо повітрообмін в приміщенні за годину:

$$L = k \cdot V, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (11.14)$$

де:  $k$  - кратність вентиляції або повітрообміну:

- приплив  $k_{\text{прит}} = 3$ ;

- витяг, це і аварійна вентиляція  $k_{\text{вит}} = 4$ ;

$V$  - об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ ;

$$V = A \cdot B \cdot H = 12 \cdot 9 \cdot 3 = 216 \text{ м}^3. \quad (11.15)$$

Продуктивність припливної вентиляції:

$$L_{\text{прит}} = k_{\text{прит}} \cdot V, \text{ м}^3/\text{час}; \quad (11.16)$$

$$L_{\text{прит}} = 3 \cdot 216 = 648 \text{ м}^3/\text{час};$$

Продуктивність витяжної (аварійної) вентиляції:

$$L_{\text{вит}} = k_{\text{вит}} \cdot V, \text{ м}^3/\text{час}; \quad (11.17)$$

$$L_{\text{вит}} = 4 \cdot 216 = 864 \text{ м}^3/\text{час};$$

Розрахунок потужності електродвигуна системи вентиляції:

$$N = \frac{k \cdot L \cdot \Delta H \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot \eta_{\text{вен}} \cdot \eta_{\text{пер}}}, \text{ кВт} \quad (11.18)$$

Для припливної вентиляції:

$$N = \frac{1,5 \cdot 648 \cdot 300 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,9} = 0,13 \text{ кВт};$$

Для витяжної (аварійної) вентиляції:

$$N = \frac{1,5 \cdot 864 \cdot 300 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,9} = 0,17 \text{ кВт};$$

						Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При освітленні виробничих приміщень використовують природне освітлення, що створюється світлом неба (прямим і відбитим), штучне, здійснюване електричними лампами, і поєднане, при якому в світлий час доби недостатнє по нормах природне освітлення доповнюється штучним.

Проведемо розрахунок освітлення машинного відділення методом світлового потоку. При цьому вибираємо: джерело світла - лампи люмінесцентні;

систему освітлення - загальне освітлення; тип світильника – ПВЛ;

розміри приміщення: довжина  $A = 12$  м, ширина  $B = 9$  м, висота  $H = 3$  м.

Приймаємо:

$$L/H_p = 1,5$$

де:  $L$  – відстань між центрами світильників, м;

$H_p$  – висота світильників над робочою поверхнею, м.

Визначимо висоту світильників над робочою поверхнею:

$$H_p = H - (H_1 + H_2), \text{ м}, \quad (11.19)$$

де:  $H_1$  – висота робочої поверхні, м;  $H_1 = 0,8$  м;

$H_2$  – відстань від світильника до стелі м;  $H_2 = 0,2$  м;

$$H_p = 3 - (0,8 + 0,2) = 2 \text{ м.}$$

Визначимо відстань між центрами світильників. З рівняння

$L/H_p = 1,5$ , знаходимо, що:

$$L = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ м.}$$

Кількість світильників:

$$n = \frac{A \cdot B}{L^2} = \frac{12 \cdot 9}{3^2} = 12 \quad (11.20)$$

Приймаємо  $n = 12$  шт.

Вдихання пари холодоагента R507a у великих концентраціях може викликати тимчасове притуплення діяльності центральної нервової системи, що супроводжується сонливістю, летаргією і слабкістю. До інших можливих ефектів можна віднести запаморочення, приємне відчуття сп'яніння, а також втрату координації рухів. Тривале вдихання пари хладагента може викликати порушення серцебиття, втрату свідомості, а вдихання дуже великих доз може навіть привести до смертельного результату.

Людину що відчула будь-який з первинних симптомів, необхідно швидко вивести на свіже повітря і забезпечити йому спокій і нерухомість. При зупинці дихання необхідно зробити штучне дихання. Якщо дихання утруднене, дати кисень і викликати лікаря. Такі симптоми можуть виявлятися при дії самих різних концентрацій, а тому при появі будь-якого з цих симптомів слід думати як найшвидше покинути виробниче приміщення, навіть якщо у інших працівників, що знаходяться поруч, ці симптоми не виявляються.

						Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При великому викиді холодоагенту пари можуть концентруватися в поверхні підлоги або на низькорозташованих ділянках і витіснити кисень, що є там, що викликає асфіксію. У випадку, якщо виллється велика кількість рідкого холодоагенту або станеться значний витік, необхідно надіти відповідні засоби індивідуального захисту. При роботі в закритих приміщеннях, наприклад, в підвалах, де могли скупчитися пари хладагента, слід користуватися автономними дихальними апаратами або респіраторами із зовнішньою подачею повітря. Перед входом необхідно перевірити всі виробничі приміщення на наявність кисню за допомогою відповідного контрольного устаткування. Коли перший працівник входить в приміщення, другою повинен залишатися зовні, і між ними має бути протягнутий рятувальний леєр.

Для забезпечення циркуляції повітря на рівні підлоги і в будь-яких підвальних і розташованих низько приміщеннях можна скористатися повітродувками або вентиляцією.

Не слід розраховувати на нюх для оцінки безпеки виробничих приміщень, призначених для персоналу. Єдино надійними способами служать регулярні перевірки на витік і моніторинг якості повітря.

Свідоме вдихання пари холодоагента може привести до смерті.

Попадання агента на шкіру і в очі. При кімнатній температурі пари фреону R 507a не надають серйозної дії на шкіру або очі. Якщо існує небезпека попадання рідких хладагентів на шкіру, потрібно обов'язково носити захисний одяг, у тому числі з довгими рукавами, і рукавички. Серед засобів індивідуального захисту в персоналу мають бути захисні окуляри і лицьовий щиток для захисту очей.

В разі попадання в очі рідкого хладагента їх слід рясно промити водою, а потім звернутися за медичною допомогою. Попадання на шкіру або в очі рідкого хладагента приводить до їх різкого охолодження, викликаючи обмороження. Якщо на працівника виплеснувся рідкий агент, необхідно зразу зняти весь одяг, на який попав холодильний агент, щоб уникнути обширного обмороження. Промити уражену ділянку теплою водою (не холодною і не гарячою). Не слід накладати пов'язки або використовувати мазі. Необхідно якомога швидше звернутися за медичною допомогою.

						Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Свердлов Г.З., Явнель Б.К. "Курсове та дипломне проектування."
2. Чумак И.Г., Нікулініна Д.Г. Холодильні установки проектування., Вища школа, 1988
3. Курильов, Герасимов "Приклади та розрахунки холодильних установок."
4. С.Н. Богданов, О.П. Іванов, А.В. Куприянова Холодильна техніка. Властивості речовин. Довідник. Л.: Машинобудування, 1976 и 1985.
5. Данилова "Збірник задач по процесам теплообміну в харчовій і холодильній промисловості."
6. Н.Н. Кошкін Теплові та конструктивні розрахунки холодильних машин. Л.: Машинобудування, 1976.
7. І.А. Самойлов, В.Г. Ігнат'єв Охорона праці при обслуговуванні холодильних установок. М.: Агропромвидав, 1989.
8. Ужанский В. С. Автоматизація холодильних машин і установок, М.: Легка та харчова промисловість, 1982.
9. Мнацаканов Г.К. Холодильна техніка і технологія, 2006
10. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.alfalaval.ua>
11. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.bitzer.de>
12. Холодильне обладнання [Текст] : підручник / Д. П. Семенюк, О. В. Петренко ; ХДУХТ. — Харків : Світ Книг, 2021. — 633 с.
13. Холодильні установки спеціального призначення: конспект лекцій [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко, Н. О. Піщанська ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса: ОНТУ, 2023. — 99 с. — Електрон. текст. Дані.
14. Плодоовочесховища: проектування, оптимізація, розрахунки [Текст]: підручник / М. Г. Хмельнюк, В. П. Кочетов, А. В. Форсюк, Н. В. Жихарева; під заг. ред. М. Г. Хмельнюка ; Одес. нац. акад. харч. технологій, Нац. ун-т харч. технологій. — Одеса: Бондаренко М. О., 2018. — 228 с.
15. Методичні вказівки та примірний розрахунок по курсовому та дипломному проектуванню з дисципліни "Холодильні машини і установки спеціального призначення" [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса: ОНАХТ, 2019. — 34 с. — Електрон. текст. дані.
16. 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 та ін. ; відп. за вип. М. Г. Хмельнюк; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса: ОНАХТ, 2021. — Електрон. текст. дані: 20 с.

						Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

