

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



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему: Проект холодильника для зберігання плодоовочевої  
продукції місткістю 1000 т. у місті Вінниця

Здобувача

Венгер М.О.

4 курсу

ЕН-141 групи

Керівник

к.т.н., доц. Яковлева О.Ю.

Консультанти:

д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від

01.06.2023р.

протокол № 10

Завідувач кафедри ХУКП

Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса - 2023 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.

«17» березня 2023 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Венгер Максим Олексійович

1. Тема роботи Проект холодильника для зберігання плодоовочевої продукції місткістю 1000 т. у місті Вінниця

Затверджена наказом ОНТУ від 26.08.2022 р. наказ № 490-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 01.06.2023 р.

3. Вихідні дані роботи  
Холодильник зберігання овочів місткістю 1000 т. розташований у м. Вінниця.  
Будівля холодильника одноповерхова, з висотою камер 6 м.. Сітка колон 18 x 12 м.  
для камери з картоплею, 9 x 12 м. для моркви, капусти і буряка, і 6 x 27 м. для цибулі.  
У камерах передбачається тривале зберігання овочів з різним температурним режимом для різних продуктів. Для моркви, капусти і буряка +1°C. Для картоплі +2°C. Для ріпчастої цибулі -1°C. Як холодильний агент передбачається R404a.  
Компресор Bitzer. Теплообмінне обладнання Alfa-Laval.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Постановка завдань проекту,
2. Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер,
3. Визначення теплового навантаження камер,
4. Тепловий розрахунок холодильної системи,
5. Розрахунок повітряного конденсатора, 6. Розрахунок повітроохолоджувача,
7. Підбір компресорів та конденсаторів, розрахунок магістральних трубопроводів,
8. Охорона праці. 9. Список використаних джерел. 10. Специфікація.

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

1. План холодильника, 2. Розрізи холодильника, 3. Схема трубопроводів,
4. Повітроохолоджувач,

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

| Розділ        | Консультант                 | Підпис, дата   |                |
|---------------|-----------------------------|----------------|----------------|
|               |                             | Завдання видав | Завдання видав |
| Охорона праці | д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г. | 17.05.2023     | 22.05.2023     |

7. Дата видачі завдання 17.03.2023 р.

Керівник \_\_\_\_\_ Яковлева О.Ю.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Венгер М.О.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №  | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                         | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|----|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1  | Постановка завдань проекту                                                  | 17.03-20.03.2023               |          |
| 2  | Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер                 | 20.04-25.04.2023               |          |
| 3  | Визначення теплового навантаження камер                                     | 26.04-30.04.2023               |          |
| 4  | Тепловий розрахунок холодильної системи                                     | 01.05-04.05.2023               |          |
| 5  | Розрахунок повітряного конденсатора                                         | 05.05-10.05.2023               |          |
| 6  | Розрахунок повітроохолоджувача                                              | 12.05-15.05.2023               |          |
| 7  | Підбір компресорів та конденсаторів, розрахунок магістральних трубопроводів | 16.05-17.05.2023               |          |
| 8  | Охорона праці                                                               | 18.05-21.05.2023               |          |
| 9  | Список використаної літератури та висновки                                  | 22.05-23.05.2023               |          |
| 10 | Графічна частина                                                            | 24.05-1.06.2023                |          |

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Венгер М.О.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Яковлева О.Ю.

*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 \_\_\_\_\_ Венгер Максим Олексійович \_\_\_\_\_

## ЗМІСТ

стор.

|   |                                                                                   |    |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Постановка завдань проекту .....                                                  | 5  |
| 2 | Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер.....                  | 15 |
| 3 | Визначення теплового навантаження камер .....                                     | 20 |
| 4 | Тепловий розрахунок холодильної системи.....                                      | 33 |
| 5 | Розрахунок повітряного конденсатора .....                                         | 37 |
| 6 | Розрахунок повітроохолоджувача.....                                               | 43 |
| 7 | Підбір компресорів та конденсаторів, розрахунок магістральних трубопроводів ..... | 53 |
| 8 | Охорона праці .....                                                               | 57 |
|   | Список використаної літератури .....                                              | 89 |
|   | Специфікації                                                                      |    |

|           |      |          |        |      |                                                                                         |  |  |  |
|-----------|------|----------|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
|           |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.490-03.2.8                                                                   |  |  |  |
|           |      |          |        |      |                                                                                         |  |  |  |
| Зм.       | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                                                                         |  |  |  |
| Розроб.   |      | Венгер   |        |      | Проект холодильника для зберігання плодоовочевої продукції місткістю 1000т у м. Вінниця |  |  |  |
| Перевір.  |      | Яковлева |        |      |                                                                                         |  |  |  |
|           |      |          |        |      |                                                                                         |  |  |  |
| Н. Контр. |      | Яковлева |        |      |                                                                                         |  |  |  |
|           |      |          |        |      | Лит.      Лист      Листов<br>4      89                                                 |  |  |  |
|           |      |          |        |      |                                                                                         |  |  |  |
|           |      |          |        |      | ОНТУ гр. ЕН-1416                                                                        |  |  |  |

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається з: 89 сторінок друкованого тексту, 6 рисунків, 9 таблиць, 5 посилань на літературні джерела. В кваліфікаційній роботі поставлено та вирішено завдання розробки проєкту холодильника для зберігання плодовоовочевої продукції місткістю 1000т у місті Вінниця. Холодильна установка овочесховища – це парокомпресійна холодильна машина, яка є об'єктом даного дослідження, розташована у Вінниці. У відповідності з необхідними технологічними вимогами і кліматичними умовами загальне проектування підприємства було орієнтоване на зберігання овочів які користуються особливим попитом у споживачів: картопля, капуста, морква, цибуля і буряк. Згідно з умовами зберігання приймаємо температуру повітря камер зберігання:

- моркви, капусти і буряка  $t_k = +1^{\circ}\text{C}$  відносну вологість повітря  $\phi_k = 0.9$ ,
- картоплі  $t_k = +2^{\circ}\text{C}$  і  $\phi_k = 0.9$ ,
- ріпчастої цибулі  $t_k = -1^{\circ}\text{C}$  і  $\phi_k = 0.9$ .

Вибираючи найкращий варіант холодоагенту для вашої промислової холодильної системи, необхідно враховувати багато факторів. Незважаючи на те, що вплив на навколишнє середовище є рушійною силою майбутнього холодоагентів, користувачі все одно **повинні враховувати:**

- ✓ **сумісність машин,**
- ✓ **витрати на розстрочку,**
- ✓ **технічне обслуговування**
- ✓ **та проблеми безпеки під час процесу прийняття рішень.**

Парокомпресійна холодильна машина працює на R404a.

**Ключові слова:** парокомпресійна холодильна машина – овочесховище – холодильний ланцюг

## ABSTRACT

The qualification work consists of 89 pages of printed text, 6 figures, 9 tables, 5 references to literary sources. In the qualification work, the task of developing a project for the cold storage of fruit and vegetable products with a capacity of 1000 tons in the city of Vinnytsia was set and solved.

The refrigerating plant of the vegetable storage is a vapor compression refrigerating machine, which is the object of this study, located in Vinnytsia. In accordance with the necessary technological requirements and climatic conditions, the general design of the enterprise was focused on the storage of vegetables that are in particular demand among consumers: potatoes, cabbage, carrots, onions and beets. According to the storage conditions, we accept the air temperature of the storage chambers:

- carrots, cabbage and beets  $t_{\text{cold room}} = +1^{\circ}\text{C}$ , relative air humidity  $\phi_{\text{cold room}} = 0.9$ ,
- potatoes  $t_{\text{cold room}} = +2^{\circ}\text{C}$  and  $\phi_{\text{cold room}} = 0.9$ ,
- onion  $t_{\text{cold room}} = -1^{\circ}\text{C}$  and  $\phi_{\text{cold room}} = 0.9$ .

There are many factors to consider when choosing the best refrigerant for your industrial refrigeration system. Although environmental impact is the driving force behind future refrigerants, users still need to consider:

- machine compatibility,
- installment costs,
- maintenance
- and security issues during the decision-making process.

The vapor compression refrigeration system runs on R404a.

**Keywords:** vapor compression refrigerating machine - vegetable storage - refrigerating chain

## 1 Постановка завдань проекту

Метою даної роботи є проектування холодильника, призначеного для зберігання овочів. Орієнтовна сумарна ємкість фруктосховища, виходячи із завдання на проектування складає 1000 тонн. Місце розміщення холодильника – м. Вінниця. Співвідношення вантажів картоплі, капусти, моркви і ріпчастої цибулі, що зберігаються, орієнтування 2:1:1:1, відповідно.

Зберігання овочів триває досить довго, іноді довше, ніж вирощування. Всі овочеві, та і плодові, культури належать до так званих гетеротрофів. В період зростання активно накопичують живильні речовини, а під час зберігання - витрачають. Вони продовжують жити: дихають, випаровують вологу, дворічники готуються до вегетації наступного року. Основне завдання під час їх зберігання - створити такі умови, щоб втрати маси, живильних речовин і якості були мінімальними.

Придатність овочів до зберігання залежить, перш за все, від їх біологічних властивостей. Залежно від здатності зберігатися без значних якісних і кількісних втрат їх умовно ділять на три групи:

- перша - вегетативні органи дворічних рослин: коренеплоди, цибулини і качани. Їх біологічне призначення полягає в тому, щоб сформувати насіння на другий рік життя. Після прибирання ці органи знаходяться у стадії спокою. Тривалість цієї стадії залежить не тільки від культури, але і від сорту або гібрида. У пізньостиглих сортів вона значно довша, ніж у середньостиглих, а у ранніх - іноді відсутній взагалі. Тому на зберігання закладають тільки пізні сорти.

У стадії спокою зовнішній вигляд, консистенція і навіть смак овочів цієї групи при зберіганні в оптимальних умовах майже не змінюються. Тому успішне їх зберігання залежить від уміння створити ці оптимальні умови.

- друга - генеративні органи однорічних овочів - плоди (огірки, помідори, перець солодкий, баклажани і тому подібне). Їх біологічна роль в житті

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 5    |

рослини - забезпечити живильними речовинами насіння до повного їх дозрівання. Коли насіння дозріває і здібні до проростання, ці органи стають не потрібними - вони відмирають. У овочів цієї групи періоду спокою немає, тому тривалість їх зберігання визначається, перш за все, ступенем зрілості при прибиранні і інтенсивністю процесів післяжнивного дозрівання.

- третя - листя однорічних і багаторічних зеленних овочевих культур (шпинат, салат, кріп, петрушка и.т.). З часу відділення їх від материнської рослини листя вже не виконує ніяких біологічних функцій. У них досить велика поверхня випаровування і зміст вільної води. Тому навіть при недовгому їх зберіганні особливу увагу треба приділяти захисту від в'янення.

Кожна овочева культура має характерні особливості і для успішного зберігання вимагає відповідних умов: температури, вологості і газового складу повітря. Але, щоб урожай зберігався з мінімальними втратами, цього недостатньо. Починати треба з підбору сортів і умов вирощування. Найбільший період зберігання мають пізньостиглі сорти.

Овочі, вирощені в умовах оптимального живильного режиму, накопичують більше сухих речовин, Сахаров, клітковини, вітамінів, тому період зберігання їх буде великим. Органічні добрива в оптимальних нормах захищають рослини від хвороб, наприклад, парші картоплі, оскільки сприяють розвитку корисних бактерій і грибів, що пригнічують хвороботворні організми. А здорові овочі, як відомо, краще зберігаються. Досліджено, що лежкість овочів підвищує високий рівень калія в ґрунті в період вирощування. Хорошими джерелами калія є гній, компост, сидерати (зелені добрива).

Надлишок живильних речовин, як і їх брак, негативно впливають на лежкість овочів при зберіганні. Так, при надлишку в ґрунті азотних добрив овочі зростають водянистими і містять мало сухих речовин і вуглеводів. В результаті вони не можуть довго зберігатися.

На тривалість зберігання овочів також впливає механічний склад ґрунту. Так, картопля і коренеплоди, вирощені на піщаному або суглинному ґрунті, зберігаються краще, ніж ті, що вирощені на важкому глинистому ґрунті.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 6    |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

Тому під ці овочі краще відводити легкі структурні ґрунти з високим вмістом кисню (не менше 16%).

Більший період зберігання буде у овочів, вирощених в умовах оптимального температурного і водного режимів. Продукція, вирощена в умовах тривалої холодної і дощової погоди, зберігається погано, нестійка до хвороб, характеризується підвищеною інтенсивністю дихання. Сухе жарке літо сприяє зменшенню періоду вегетації рослин. Плоди утворюються волокнисті з низькими живильними властивостями і біохімічним складом. В результаті період їх зберігання буде також недовгим.

Характерною особливістю овочів всіх груп є наявність в них великої кількості води (65-96%) з розчиненими в ній живильними речовинами, тому вони є хорошим субстратом для розвитку фіто-патогених мікроорганізмів. Високий вміст води обумовлює високу інтенсивність біохімічних процесів, які відбуваються в овочах після прибирання. Крім того, щоб уникнути в'янення, овочі потрібно зберігати при високій вологості повітря в сховищі (70-98%). У таких умовах навіть незначні коливання температури сприятимуть появі вільної вологи на продукції і, в результаті, - швидкому виникненню і розвитку хвороб. Тому сховища для овочів винні обов'язково добре провітрюватися.

Обмін речовин з навколишнім середовищем у плодів супроводжується рядом біохімічних і фізіологічних процесів. З них найбільш важливими є дихання і випаровування вологи. В процесі дихання відбувається розпад вуглеводів, органічних кислот і інших органічних речовин, що супроводжується поглинанням кисню, виділенням вуглекислого газу, води і тепло і зменшенням ваги плодів. В результаті звільняється енергія, необхідна рослинним організмам для виконання їх життєвих функцій. Унаслідок поглинання кисню і виділення вуглекислого газу змінюється склад зовнішнього середовища.

Інтенсивність дихання різна для різних видів овочів може служити біологічним показником, вказуючим на придатність їх для тривалого зберігання. Із збільшенням інтенсивності дихання терміни зберігання зменшуються.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 7    |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

При підвищенні температури навколишнього середовища дихання овочів посилюється. На посилення активності також сильно впливають і коливання температури при зберіганні, тому підтримка постійної температури в камері, за інших рівних умов, забезпечує мінімальні втрати ваги і якості продукту. Також підтримці постійної температури і вологості повітря в камері сприяє його циркуляція в приміщенні.

Овочі стеблового (не кореневого) походження мають здібності до відновлення тканин з механічними пошкодженнями, даний механізм дозволяє попередити розвиток ряду захворювань. Дана особливість виявляється у свіжоприбраних овочів, проте, у момент початку утворення паростків здатність до відновлення тканин повністю втрачається.



Капусту завантажують в камери зберігання в ящикових піддонах. В якості оптимальної зазвичай рекомендується температура від 0 до + 1 ° С, однак, для білокачанної капусти допускається температура до -0,8 ° С. Зменшення температури нижче -0,8 ° С може призвести до подмороження тканин листя. Відносна вологість повинна підтримуватися в межах 90-95%.

Перемішування повітря в закритому просторі дозволяє забезпечити рівномірність температури і відносної вологості. Рекомендована кратність циркуляції - від 20 до 30 об'ємів на годину. Повітрообмін необхідний для видалення тепла і запобігання накопичення надлишкової двоокису вуглецю, що виділяються при диханні. При використанні природного охолодження в ті періоди, коли вже не представляється можливим проводити вентилявання за допомогою зовнішнього повітря, слід укорочувати цикли і часто оновлювати атмосферу в приміщенні.

Суміш зовнішнього повітря і повітря складського приміщення можна застосовувати за умови, що її температура вище 0 ° С.



*Рис. 1 Камера зберігання овочів*

При використанні штучного охолодження і перемішування повітря в замкнутому просторі повітрообмін повинен здійснюватися через регулярні проміжки часу протягом усього періоду зберігання. В обох випадках рекомендується забезпечити потік повітря 100 куб.м на 1 куб.м продукції на годину.

Середній термін лежкості при зберіганні для пізніх сортів капусти при дотриманні вищевказаних вимог до неї становить 3-6 місяців в залежності від місця вирощування, ботанічного сорту і фізичних умов зберігання.

Періодичну циркуляцію здійснюють при відхиленні температури і відносної вологості повітря від встановлених. Обмін повітря в камері здійснюють через повітроохолоджувач або нагрівальні прилади: в період охолодження - щодоби, в наступний період - через кожні 3 доби. Кількість додається зовнішнього повітря - 2-3 обсягу незавантаженої камери на добу.

Після закінчення зберігання зачищені качани капусти можна зберігати протягом 2-3 тижнів при температурі до +10 ° С.

Моркву можна зберігати в ящикових піддонах, ящиках, мішках або навалом. Навалом рекомендована висота насипу 2-3 метра. При зберіганні в мішках максимальна висота штабеля 3 метри. Температура зберігання по-

винна підтримуватися в межах  $0 \dots + 5^{\circ} \text{C}$ . Оптимальна температура зберігання  $0 \dots + 1^{\circ} \text{C}$ . Відносна вологість від 95 до 98%. У камерах з примусовою системою вентиляції (без штучного охолодження), в яких температура змінюється від  $+1$  до  $+ 5^{\circ} \text{C}$ , відносна вологість повітря повинна підтримуватися в межах від 90 до 95%.

Циркуляція повітря повинна забезпечувати можливість підтримки температури і відносної вологості повітря постійними і рівномірними. Циркуляція повітря повинна бути досить інтенсивною, тобто від 100 до 120  $\text{м}^3/\text{т}$  за годину, якщо морква зберігають навалом, а висота насипу може наближатися до встановленого максимального значення. Середній термін лежкості при зберіганні - 4..6 місяців.

Після закінчення повного завантаження камери температуру повітря в ній доводять до  $0 \dots + 1^{\circ} \text{C}$  не більше ніж за добу, а потім підтримують в цих межах до закінчення зберігання. Температура повітря в "холодній" точці вільного простору корисного об'єму камери повинна бути не нижче  $-1^{\circ} \text{C}$ . Відносна вологість повітря в камері повинна бути 90-95%.



*Рис. 2 Камера зберігання моркви*

Після закінчення охолодження (через 5 діб після досягнення заданого температурного режиму) циркуляцію проводять періодично по 0.5 години з

кратністю не більше 6 обсягів незавантаженої камери в 1 ч при загальній тривалості не більше 3 години на добу.

Періодичну циркуляцію здійснюють при відхиленні температури і відносній вологості повітря від встановлених. Повітряно-обмін в камері здійснюють через повітроохолоджувач або нагрівальні прилади: в період охолодження - щодоби, в наступний період - через кожні 3 доби. Кількість додається зовнішнього повітря - 2-3 обсягу незавантаженої камери на добу.

Після закінчення зберігання або під час вивантаження моркви з камери забезпечують умови виключають конденсацію вологи на її поверхні, наприклад, обдувають морква теплим повітрям, доводячи температуру її поверхні до значень на 0.5-1.5 ° С вище температури точки роси повітря приміщення, в яке вона вивантажується.

Термін реалізації моркви після зняття зі зберігання - не більше 10 діб. На підприємствах торгівлі морква зберігають в закритих вентилятованих приміщеннях при температурі 0 .. + 10 ° С включно не більше 3 діб, понад + 10 ° С не більше 2 діб. Вологість 85-90%.

На даному етапі зберігання оптимальною є наступна температура повітря, що поступає:

Для картоплі – від 12 до 18°C

Для коренеплодів від 7 до 13°C (якщо продукція, що поступає, нижче 7°C необхідно використовувати охолодження до температури зберігання)

Охолоджене повітря на даному етапі подається періодично від чотирьох до шести разів на добу по 20-30 хвилин через рівні тимчасові проміжки. Важливо витримувати швидкість потоку повітря, що знаходиться в діапазоні від 0,12 до 0,5 м/с (режим вентиляції уточнюється для кожного конкретного випадку).

У сховищах тих, що мають велику висоту завантаження, не обладнаними спеціалізованими системами примусової вентиляції процеси

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 11   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

загоєння проходять у край поволі. Пояснюється це виникненням плівки з продуктів обміну ( $H_2O + CO_2$ ), що перешкоджає вільному доступу кисню до пошкодженої ділянки. Повітряний потік, що омиває продукт, порушує цю плівку, слідством є вільний доступ кисню до пошкодженої поверхні. Проте, при значних відхиленнях швидкості потоку від тієї, що рекомендується походить пересихання пошкодженої поверхні плоду, здатної привести до тріщин (протікання процесів загоєння стає неможливим).

У разі, коли продукція, що поступає, через низку обставин, прибрана раніше покладеного терміну наявність правильно спроектованих систем активної вентиляції дозволяє збільшити термін зберігання за рахунок зміцнення непошкоджених тканин плоду.

Метою періоду охолодження продукції є поступове зниження температури овочів до такого рівня, при якому пригноблюється розвиток фітопатогенних мікроорганізмів, але не виникають низькотемпературні порушення знижуючи споживчі властивості продукту.

Важливим параметром періоду охолодження є швидкість охолодження овочів. Даний показник впливає як на термін зберігання продукції, так і на якість товару, що зберігається. Оптимальна швидкість охолодження для картоплі складає  $0,25^{\circ}C$  в добу (при збільшенні швидкості охолодження спостерігаються функціональні розлади м'якоті, що виявляються почорнінням).

Для коренеплодів швидкість охолодження повинна бути істотно вище, оскільки при тривалому прибутті в діапазоні температур від  $3$  до  $5^{\circ}C$  зростає вірогідність розвитку захворювань, а так само значному природному спаду маси продукту.

Охолодження лука так само слід проводити в стислі терміни щоб уникнути втрат маси продукту викликаного диханням.

В період основного зберігання за допомогою активного вентилування з маси овочів видаляють тепло, що виділяється, і продукти обміну. Основним

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.490-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                       | 12   |

чинником, що відповідає за якість картоплі і овочів, є температура зберігання. Слід враховувати істотне зниження тепловиділення в період зберігання.

Оптимальною температурою зберігання є:

Для картоплі ранніх сортів з коротким періодом зберігання (Воротинський ранній, Фаленський і тд) – від 2 до 3°C;

Для картоплі з середнім періодом зберігання (Вогник, Форан, і тд.), а так само для картоплі з довгим періодом зберігання (Улюбленець, Разваристий, Лорх і тд.) оптимальна температура зберігання від 3 до 4°C.

Температура зберігання брудної картоплі а так само ураженого фітофторозом повинна бути від 1 до 2°C або нижче.

Для насінної картоплі діапазон зберігання лежить в межах від 1 до 3°C.

Проте, вказані температури зберігання в деяких випадках негативно позначаються на органолептичних властивостях продукту.

Ріпчасту цибулю (продовольчий) краще всього зберігати при температурах від мінус 1 до мінус 3°C.

Посівний лук при температурах від 18 до 25°C або вище.

При зберіганні продукції важливо виключати градієнт температур, що з'являється. Досягається це шляхом вентилявання насипу. Залежно від виду товару періодичність вентиляції, що зберігається, а так само час подачі повітря варіюється в широких діапазонах:

При зберіганні картоплі і буряка кількість циклів повинна дорівнювати чотирьом циклам в добу (по 20 — 30 хвилин).

При зберіганні лука кількість циклів необхідно понизити до двох (по 20 – 30 хвилин).

Збільшення кількості циклів, що рекомендується, веде до додаткових зменшень маси в наслідку втрати вологи.

Важливо відзначити, що добрі результати при зберіганні навальним способом досягаються тільки при зберіганні одного сорту продукції в оптимальних для нього режимах.

При охолоджуванні яблук картонну або дерев'яну тару з плодами укладають на стоїчних палетах в 3-4 ряди у висоту. Потім палети встановлюються одна на одну, утворюючи штабель. Штабелі компонуються на площі підлоги камери відповідно до проектного рішення так, щоб залишити проїзди для проведення навантажувально-розвантажувальних робіт і забезпечувалася циркуляція повітря в камері, згідно системі повітрярозподілу.

Вид упаковки, характер укладання упаковки на піддоні і самих піддонів в штабель, планування штабелів на вантажній площі камер і їх габарит, тип системи повітрярозподілу і умови обслуговування системи, що охолоджує, є визначальними чинниками у вирішенні проблеми гарантованого збереження якості продукції.

В даний час для станцій попереднього охолодження використовують легкі будівельні конструкції, із застосуванням як будівельно-ізоляційні елементи сендвіч-панелей, що є пінополіуретановими секціями в металевій сорочці.

Як холодильна машина використовуються контейнерні машинні відділення, або децентралізованне устаткування, або в окремому приміщенні, що виконує роль машинного відділення вмонтовується спеціально виготовлена під задані умови агрегатована мультисистема.

## 2 Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер

Дані для розрахунку:

Холодильник для зберігання овочів (відповідно до ГОСТ 4427-82 і ГОСТ 4428-82, а також Рекомендації в галузі зберігання рослинницької продукції ( USA, University of Wisconsin, The Ohio State University) («VEGETABLE CROP HANDBOOK 2009» та ін..) приймаємо температуру в камері при зберігання картоплі ( $G=400$  тон,  $t_k=2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ), капусти ( $G=150$  тон,  $t_k=1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ), моркви ( $G=150$  тон,  $t_k=1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ), буряка ( $G=150$  тон,  $t_k=1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ) та ріпчастої цибулі ( $G=150$  тон,  $t_k=-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ), розташований в Вінницькій області (відповідно до табл.6 [3] приймаємо розрахункову температуру зовнішнього повітря  $t_n=32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , відносну вологість повітря  $\phi_n=0.63$ ).

### 2.1 Розрахунок площ зберігання вантажу

Приймаємо норму завантаження для зберігання картоплі в мішках  $g_w=0.45\text{ т/м}^3$ . Тоді вантажний об'єм складе:  $V_{гр}=G/g_w=350/0.45=775\text{ м}^3$ .

Приймаємо норму завантаження для зберігання капусти в ящиках  $g_w=0.4\text{ т/м}^3$ . Тоді вантажний об'єм складе:  $V_{гр}=G/g_w=150/0.4=375\text{ м}^3$ .

Приймаємо норму завантаження для зберігання буряка в ящиках  $g_w=0.4\text{ т/м}^3$ . Тоді вантажний об'єм складе:  $V_{гр}=G/g_w=150/0.4=375\text{ м}^3$ .

Приймаємо норму завантаження для зберігання моркви в ящиках  $g_w=0.4\text{ т/м}^3$ . Тоді вантажний об'єм складе:  $V_{гр}=G/g_w=150/0.4=375\text{ м}^3$ .

Приймаємо норму завантаження для зберігання лука в ящиках  $g_w=0.4\text{ т/м}^3$ . Тоді вантажний об'єм складе:  $V_{гр}=G/g_w=200/0.4=500\text{ м}^3$

При розрахунку вантажної площі камер приймаємо, що висота вантажу складає  $h_{гр}=4$  м при будівельній висоті  $h_{стр}=6$  м. Тоді вантажна площа:

$$F_{гр}=V_{гр}/h_{гр}=775/4=194\text{ м}^2 - \text{ картопля}$$

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 15   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

$$F_{гр} = V_{гр} / h_{гр} = 375 / 4 = 94 \text{ м}^3 - \text{буряк}$$

$$F_{гр} = V_{гр} / h_{гр} = 375 / 4 = 94 \text{ м}^3 - \text{капуста}$$

$$F_{гр} = V_{гр} / h_{гр} = 375 / 4 = 94 \text{ м}^3 - \text{морква}$$

$$F_{гр} = V_{гр} / h_{гр} = 500 / 4 = 120 \text{ м}^3 - \text{цибуля}$$

Приймаємо коефіцієнт використання будівельної площі  $\beta_F = 0.8$ , тоді будівельна площа камер:

$$F_{стр} = F_{гр} / \beta_F = 94 / 0.85 = 110 \text{ м}^2$$

$$F_{стр} = F_{гр} / \beta_F = 120 / 0.85 = 141 \text{ м}^2$$

$$F_{стр} = F_{гр} / \beta_F = 94 / 0.85 = 110 \text{ м}^2$$

За необхідною площею вибираємо 1 камеру  $18 \times 12$  м для зберігання картоплі і по одній камері  $9 \times 12$  м для зберігання моркви, капусти та буряка та одну камеру  $6 \times 27$  м цибулі.

## 2.2 Визначення коефіцієнтів теплопередачі огорож

Нормативні коефіцієнти теплопередачі огорож камер схову визначаємо по емпіричних залежностях [3].

Температури в камерах схову картоплі і ріпчастої цибулі відрізняються трохи, тому всі розрахунки проводимо тільки по температурі зберігання картоплі.

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін:

$$K_{нс} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+t_k)} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (2.1)$$

$$K_{нс} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+2)} = 0.4 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі стелі з горищем:

$$K_{чп} = 1.05 K_{нс} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (2.2)$$

$$K_{чп} = 1.05 \cdot 0.4 = 0.42 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі внутрішніх стін і перегородок:

$$K_{вс} = 1.18 K_{нс} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (2.3)$$

$$K_{вс} = 1.18 \cdot 0.4 = 0.47 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 16   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

Товщина ізоляційного шару:

$$\delta_{из} = \left[ \frac{1}{K} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \cdot \lambda_{из} \text{ [м]} \quad (2.4)$$

де  $K$  – відповідний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²К);

$\alpha_n, \alpha_k$  – розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі із зовнішньої і внутрішньої сторін огорожі Вт/(м²К);

$\delta_i$  и  $\lambda_i$  – товщина і коефіцієнт теплопровідності кожного будівельного шару;

$\lambda_{из}$  – розрахункове значення коефіцієнта теплопровідності вибраного ізоляційного матеріалу огорожі, Вт/(м·К).

Визначаємо дійсний коефіцієнт теплопередачі для зовнішніх стін.

Таблиця 2.1 – Конструкція зовнішніх стін

| Найменування і матеріал шару                             | $\delta$ , м | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) |
|----------------------------------------------------------|--------------|-------------------------|
| 1. Штукатурка складним розчином по металевій стінці      | 0.02         | 0.98                    |
| 2. Теплоізоляція з пенополіуретану                       | ?            | 0.022                   |
| 3. Пароізоляція – два шару гідроізола на бітумній основі | 0.004        | 0.3                     |
| 4. Штукатурка цементно-піщана                            | 0.02         | 0.93                    |
| 5. Кладка цегляна на цементному розчині                  | 0.38         | 0.81                    |
| 6. Штукатурка складним розчином                          | 0.02         | 0.93                    |

Приймаємо для відповідних умов  $\alpha_n=23$  Вт/(м²К), для камер з примусовою циркуляцією  $\alpha_k=9$  Вт/(м²К),  $k_{нс}=0.4$  Вт/(м²К)

Орієнтовна товщина ізоляції:

$$\delta_{из} = (1/0.43 - (1/23 + 0.02/0.98 + 0.004/0.3 + 0.38/0.81 + 0.02/0.93 + 1/9)) \cdot 0.022 = 0.058 \text{ м, приймаємо } \delta_{из} = 0.08 \text{ м.}$$

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{нс} = 1 / (1/23 + 1/9 + (0.02 + 0.013 + 0.022 + 0.469 + 0.22 + 0.1/0.08)) = 0.34 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Товщина зовнішньої стінки:  $\delta = 0.524 \text{ м.}$

Визначення дійсного коефіцієнта теплопередачі для стелі.

Таблиця 2.2 – Конструкція стелі

| Найменування і матеріал шаруючи           | $\delta$ ,<br>м | $\lambda$ ,<br>Вт/м·К |
|-------------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1. 5 шарів гідроізола на бітумній мастиці | 0.012           | 0.3                   |
| 2. Стягування з бетону по металевій сітці | 0.04            | 1.86                  |
| 3. Пароізоляція (шар пергаменту)          | 0.001           | 0.15                  |
| 4. Плиткова теплоізоляція – ПСБ-С         | ?               | 0.05                  |
| 5. Залізобетонна плита покриття           | 0.035           | 2.04                  |

Приймаємо для відповідних умов  $\alpha_n = 23 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ , для камер з примусовою циркуляцією  $\alpha_k = 9 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ ,  $k_{чп} = 0.42 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$

Орієнтовна товщина ізоляції:

$$\delta_{из} = (1/0.42 - (1/23 + 0.012/0.3 + 0.04/1.86 + 0.001/0.15 + 0.035/2.04 + 1/9)) \cdot 0.05 = 0.099 \text{ м, приймаємо } \delta_{из} = 0.1 \text{ м.}$$

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{чп} = 1 / (1/23 + 1/9 + (0.079 + 0.1/0.05)) = 0.42 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Товщина стелі:  $\delta = 0.188 \text{ м.}$

Визначення дійсного коефіцієнта теплопередачі для зовнішніх стін.

Таблиця 2.3 – Конструкція внутрішніх стін

| Найменування і матеріал шару                            | $\delta$ , м | $\lambda$ , Вт/м·К |
|---------------------------------------------------------|--------------|--------------------|
| 1.Залізобетон плита                                     | 0.08         | 1.86               |
| 2.Пароізоляція - два шару гидроизола на бітумній основі | 0.004        | 0.3                |
| 3. Теплоізоляційна плита з пенополіуретану              | ?            | 0.022              |
| 4. Штукатурка складним розчином                         | 0.02         | 0.98               |

Приймаємо для відповідних умов  $\alpha_n=8$  Вт/(м²К) для коридору, для камер з примусовою циркуляцією  $\alpha_k=9$  Вт/(м²К),  $k_n=0.47$  Вт/м²·К.

Орієнтовна товщина ізоляції:

$\delta_{из}=(1/0.47-(1/9+0.08/1.86+0.004/0.3+0.02/0.98+1/8))\cdot 0.022=0.055$  м,  
приймаємо  $\delta_{из}=0.08$  м.

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$k_{0д}=1/(1/8+0.08/1.86+0.004/0.3+0.02/0.98+0.08/0.022+1/9)=0.43$  Вт/м²·К.

Товщина внутрішньої стінки:  $\delta=0.184$  м.

### 3 Визначення теплового навантаження камер

Загальне теплове навантаження на холодильне устаткування:

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

$Q_1$  – теплопритоки через огорожі;

$Q_2$  – теплопритоки від холодильної обробки вантажів;

$Q_3$  – теплопритоки, пов'язані з вентиляцією приміщень;

$Q_4$  – експлуатаційні теплопритоки;

$Q_5$  – теплопритоки від дихання охолоджених плодів.

#### 3.1 Розрахунок теплопритоків через огорожі

У загальному випадку для будь-якої огорожі теплоприток через огорожу розраховується по формулі:

$$Q_1 = kF(\Delta t + \Delta t_c), \text{ Вт}, \quad (3.2)$$

де  $k$  – розрахунковий коефіцієнт теплопередачі  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ;

$F$  – площа огорожі  $\text{м}^2$ ;

$\Delta t$  – різниця між зовнішньою і внутрішньою температурою камери;

$\Delta t_c$  – різниця температур від дії сонячного випромінювання.

$$\Delta t_c = p \cdot (q_c \cdot \varepsilon_c / \alpha_n) \quad (3.3)$$

де  $p$  – коеф. проникнення, залежить від масивності огорожі;

$q_c$  – розр. напруга сон. випромінювання для літнього періоду  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$\varepsilon_c$  – коеф. поглинання сон. випромінювання поверхнею огорожі;

$\alpha_n$  – коефіцієнт тепловіддачі від нагрітої сонцем поверхні в навколишнє середовище,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ .

Із-за навісів теплопритоки від сонячної радіації до зовнішніх стін відсутні. Вибираємо коефіцієнти для стелі з оцинкованого заліза  $\varepsilon=0.65$ , легка конструкція  $p=1$ . Для  $50^\circ$  південної широти для горизонтального плоского даху вибираємо  $q_c=789 \text{ Вт/м}^2$ ,  $\alpha_n=23 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ .

Визначаємо різницю температур від сонячного випромінювання для покриття камер:  $\Delta t_c=1 \cdot 789 \cdot 0.65/23=22.3 \text{ }^\circ\text{C}$

Підлога у камерах схову картоплі не обігрівається, тому визначення теплопритоков через ґрунт ведеться позоно:

$$Q_{II} = (t_n - t_k) \sum_{i=1}^4 (k_{yc})_i F_i \quad [\text{Вт}] \quad (3.4)$$

де  $F_i$  – площі відповідних зон,  $\text{м}^2$ ;

$k_{yc}$  – коефіцієнт теплопередачі зони,  $\text{Вт/(м}^2\text{К)}$ ;

Розрахунок ведемо для площ тих, що потрапили у відповідну зону. Для обліку компенсації збільшення щільності теплового потоку площу першої зони збільшуємо на  $4 \text{ м}^2$  (один кут).

Коефіцієнти теплопровідності в зони 1,2,3,4-у відповідно:

$K_{ym}=0.48;0.24;0.12;0.07 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$

Таблиця 3.1 – Розрахунок підлоги по зонах

|           | 1-я зона,<br>$F_1, \text{ м}^2$ | 2-я зона,<br>$F_1, \text{ м}^2$ | 3-я зона,<br>$F_1, \text{ м}^2$ | 4-я зона,<br>$F_1, \text{ м}^2$ | $\sum_{i=1}^4 (k_{yc})_i F_i, \text{ Вт/К}$ |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|
| Камера №1 | 42                              | 30                              | 22                              | 18                              | 31.26                                       |
| Камера №2 | 42                              | 30                              | 22                              | 18                              | 31.26                                       |
| Камера №3 | 42                              | 30                              | 22                              | 18                              | 31.26                                       |
| Камера №4 | 48                              | 34                              | 26                              | 22                              | 33.26                                       |
| Камера №5 | 54                              | 28                              | 20                              | 16                              | 36.6                                        |

Підлога у камері схову цибулі обігрівається за допомогою електрообігріву при температурі  $+1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Таблиця 3.2 – Теплопритоки через огорожі

|           |                                         |             |       |        |        |         |        |
|-----------|-----------------------------------------|-------------|-------|--------|--------|---------|--------|
| Камера №1 |                                         | К, Вт/(м²К) | F, м² | тк, °С | тн, °С | Δtc, °С | Q1, Вт |
|           | Північ                                  | 0,34        | 54    | 1      | 31     | 0       | 550    |
|           | Захід                                   | 0,47        | 72    | 1      | 31     | 0       | 1015   |
|           | Південь                                 | 0,47        | 54    | 1      | 18     | 0       | 432    |
|           | Схід                                    | 0,47        | 72    | 1      | 1      | 0       | 0      |
|           | Підлога                                 | Кусл        | 108   | 1      | 31     | 0       | 938    |
|           | Стеля                                   | 0,42        | 108   | 1      | 31     | 22,3    | 2367   |
|           | Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт |             |       |        |        |         | 5302   |
| Камера №2 |                                         | К, Вт/(м²К) | F, м² | тк, °С | тн, °С | Δtc, °С | Q1, Вт |
|           | Північ                                  | 0,34        | 54    | 1      | 31     | 0       | 550    |
|           | Захід                                   | 0,47        | 72    | 1      | 1      | 0       | 0      |
|           | Південь                                 | 0,47        | 54    | 1      | 18     | 0       | 432    |
|           | Схід                                    | 0,34        | 72    | 1      | 1      | 0       | 0      |
|           | Підлога                                 | Кусл        | 108   | 1      | 31     | 0       | 938    |
|           | Стеля                                   | 0,42        | 108   | 1      | 31     | 22,3    | 2327   |
|           | Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт |             |       |        |        |         | 4246   |
| Камера №3 |                                         | К, Вт/(м²К) | F, м² | тк, °С | тн, °С | Δtc, °С | Q1, Вт |
|           | Північ                                  | 0,34        | 54    | 1      | 31     | 0       | 550    |
|           | Захід                                   | 0,47        | 72    | 1      | 1      | 0       | 0      |
|           | Південь                                 | 0,47        | 54    | 1      | 18     | 0       | 432    |
|           | Схід                                    | 0,34        | 72    | 1      | 2      | 0       | 25     |
|           | Підлога                                 | Кусл        | 108   | 1      | 31     | 0       | 938    |
|           | Стеля                                   | 0,42        | 108   | 1      | 31     | 22,3    | 2327   |
|           | Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт |             |       |        |        |         | 4246   |
| Камера №4 |                                         | К, Вт/(м²К) | F, м² | тк, °С | тн, °С | Δtc, °С | Q1, Вт |
|           | Північ                                  | 0,47        | 108   | 2      | 31     | 0       | 1472   |
|           | Захід                                   | 0,47        | 72    | 2      | 1      | 0       | 34     |
|           | Південь                                 | 0,34        | 108   | 2      | 18     | 0       | 588    |
|           | Схід                                    | 0,47        | 72    | 2      | 31     | 0       | 643    |
|           | Підлога                                 | Кусл        | 216   | 2      | 31     | 0       | 1211   |
|           | Стеля                                   | 0,42        | 216   | 2      | 31     | 22,3    | 4654   |
|           | Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт |             |       |        |        |         | 8602   |
| Камера №5 |                                         | К, Вт/(м²К) | F, м² | тк, °С | тн, °С | Δtc, °С | Q1, Вт |
|           | Північ                                  | 0,47        | 162   | -1     | 18     | 0       | 1447   |
|           | Захід                                   | 0,47        | 54    | -1     | 18     | 0       | 482    |
|           | Південь                                 | 0,34        | 162   | -1     | 31     | 0       | 1763   |
|           | Схід                                    | 0,47        | 54    | -1     | 18     | 0       | 482    |
|           | Підлога                                 | 0,48        | 162   | -1     | 1      | 0       | 1151   |
|           | Стеля                                   | 0,42        | 162   | -1     | 31     | 22,3    | 3695   |
|           | Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт |             |       |        |        |         | 9020   |

Всі розрахунки проводимо по двох режимах: первинне охолодження вантажу і подальше його тривале зберігання.

### 3.2 Розрахунок теплопритоков від вантажів при їх холодильній обробці

Теплопритоки від холодильної обробки вантажу розраховують по формулі:

$$Q_2 = (Q_{2\text{гр}} + Q_{2\text{тары}}) \cdot (\tau_{\text{ц}} / \tau_{\text{р}}) \quad [\text{Вт}], \quad (3.5)$$

де  $Q_{2\text{гр}}$  – теплопритоки від добового надходження овочів, Вт;

$Q_{2\text{тары}}$  – теплопритоки від тари, що поступає з вантажем, Вт;

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

$\tau_{\text{р}}$  – час, в перебігу якого споживається холод, год;

$$Q_{2\text{гр}} = E \cdot (h_1 - h_2) \quad [\text{Вт}], \quad (3.6)$$

де  $h_1, h_2$  – ентальпія овочів при початковій і кінцевій температурі, відповідно, кДж/кг;

$E$  – ємкість камери, кг. Ємність по картоплі 350 т, з розрахунку ємності 3-х камер в кожній розміщується 150 т вантажу. Ємність по цибулі 200 т.

Овочі поступають на зберігання при температурі навколишнього середовища в період збору урожаю (орієнтування приймаємо 20 °С). Під час вступу овочів камера завантажується повністю, потім в перебігу декількох тижнів температура вантажу поступово знижується до температури тривалого зберігання. Виходячи з особливостей охолодження, приймаємо максимальне зниження температури вантажу в перебігу доби 1 °С. Тоді максимальний теплоприток від вантажу розраховуватиметься виходячи із зниження температури від 20 °С до 19 °С. Для овочів різниця ентальпій складе  $\Delta h = 4$  кДж/кг.

Зберігання відбувається в дерев'яних закритих гратчастих ящиках 622\*396\*168 (маса тари 3 кг, місткість 15 кг). Ящики укладаються на плоскі дерев'яні піддони 800\*1200\*150 (маса 20 кг), утворюючи пакети 1268\*800\*1326 (28 ящиків в пакеті). Штабелювання пакетів відповідно до схеми, по 3 пакети у висоту, в камері 300 пакетів. Таким чином, всього в камері при повному завантаженні:

$$G=300 \cdot 28 \cdot 15=126000 \text{ кг}$$

При цьому маса тари ящиків:

$$G_T=300 \cdot 28 \cdot 3=25200 \text{ кг.}$$

При зберіганні фрукти приходять з рефрижераторів з температурою 8 °С по 10% від загального завантаження камери в добу.

Теплопритоки від холодильної обробки вантажу розраховують по формулі:

$$Q_2=Q_{2гр}+Q_{2тары} \text{ [Вт]}, \quad (3.4)$$

де для камери схову  $Q_{2гр}$  – теплопритоки від добового надходження фруктів, Вт.

$$Q_{2гр}=0.1 \cdot G \cdot (h_1-h_2) \text{ [Вт]}, \quad (3.5)$$

де  $h_1, h_2$  – ентальпія фруктів при температурі рефрижератора і камери схову, відповідно, кДж/кг.

Камера 1, 2 та 3

$$Q_{2гр}=0.1 \cdot 150000 \cdot (302-279)/(3.6 \cdot 24)=3993 \text{ Вт.}$$

Камера 4

$$Q_{2гр}=0.1 \cdot 350000 \cdot (302-279)/(3.6 \cdot 24)=9317 \text{ Вт.}$$

Камера 5

$$Q_{2гр}=0.1 \cdot 200000 \cdot (302-279)/(3.6 \cdot 24)=5324 \text{ Вт.}$$

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 24   |

$Q_{2\text{тари}}$  – теплопритоки від тари, що поступає з вантажем, Вт.

$$Q_{2\text{тари}}=0.1 \cdot G_{\text{т}} \cdot C_{\text{т}} \cdot (t_1-t_2) \quad [\text{Вт}], \quad (3.6)$$

де  $C_{\text{т}}$  – теплоємність тари, кДж/(кг·К);

$t_1, t_2$  – температура тари в рефрижераторі і камері схову, відповідно, °С.

$$Q_{2\text{тари}}=0.1 \cdot 25200 \cdot 2.5 \cdot (8-2)/(3.6 \cdot 24)=437,5 \text{ Вт.}$$

Загальний теплоприток від обробки вантажу:

Камера 1, 2 та 3

$$Q_2=3993+437=4430 \text{ Вт}$$

Камера 4

$$Q_2=9317+437=9754 \text{ Вт}$$

Камера 5

$$Q_2=5324+437=5761 \text{ Вт}$$

У режимі зберігання  $Q_2=0$

### 3.3. Розрахунок теплопритоків при вентиляції камери

Теплопритоки від вентиляції камери визначаються по формулі:

$$Q_3=V_{\text{стр}} \cdot a \cdot \rho_{\text{к}} \cdot (h_{\text{н}}-h_{\text{к}}) \quad [\text{Вт}], \quad (3.8)$$

де  $V_{\text{стр}}$  – будівельний об'єм камери м³,  $V_{\text{стр}}=12 \cdot 9 \cdot 6=648 \text{ м}^3$ ;

$a$  – кратність повітрообміну в добу, у режимі охолодження приймаємо  $a=6$ , в режимі зберігання  $a=3$ ;

$\rho_{\text{к}}$  – щільність повітря при температурі і відносній вологості камери, кг/м³,  $\rho_{\text{к}}=1.016 \text{ кг/м}^3$ ;

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 25   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

$h_n, h_k$  – ентальпії повітря при температурі зовнішньої і камери, кДж/кг,  $h_n=74$  кДж/кг,  $h_k=12$  кДж/кг.

Теплоприток від вентиляції:

у режимі охолодження:  $Q_3=1296 \cdot 6 \cdot 1.016 \cdot (74-12)/(3.6 \cdot 24)=5669$  Вт

у режимі зберігання:  $Q_3=1296 \cdot 3 \cdot 1.016 \cdot (74-12)/(3.6 \cdot 24)=2835$  Вт.

### 3.4. Розрахунок експлуатаційних теплопритоків

До експлуатаційних теплопритоків відносяться теплопритоки від людей, що працюють в приміщенні, від освітлення камери, від електродвигунів повітроохолоджувачів і допоміжного устаткування, інфільтрація через двері камери.

Сумарні експлуатаційні теплопритоки визначаються по формулі:

$$Q_4=Q_4'+Q_4''+Q_4''' +Q_4'''' \quad [\text{Вт}], \quad (3.10)$$

де  $Q_4'$  - теплопритоки от ел. освітлення, Вт;

$Q_4''$  - теплопритоки от електродвигунів, Вт;

$Q_4'''$  - теплопритоки от працюючих людей, Вт;

$Q_4''''$  - теплопритоки при відкритті дверей, Вт.

Теплоприток від електричного освітлення визначається по формулі:

$$Q_4'=q_4' \cdot j_{св} \cdot F_{стр} \quad [\text{Вт}], \quad (3.11)$$

де  $q_4'$  – норма щільності освітлення, приймаємо 3 Вт/м<sup>2</sup>;

$j_{св}$  – коефіцієнт одночасності роботи світильників, приймаємо  $j_{св}=0.5$  в режимі охолодження,  $j_{св}=0.3$  в режимі зберігання.

Теплоприток від освітлення:

$$Q_4'=3 \cdot 0.5 \cdot 72=108 \text{ Вт}$$

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 26   |

у режимі охолодження:  $Q_4' = 3 \cdot 0.5 \cdot 702 = 1053 \text{ Вт}$

у режимі зберігання:  $Q_4' = 3 \cdot 0.3 \cdot 702 = 632 \text{ Вт}$

Теплоприток від електродвигунів повітроохолоджувачів визначаємо по формулі:

$$Q_4'' = j_{\text{дв}} \cdot \sum N_{\text{дв}} \text{ [Вт]}, \quad (3.12)$$

де  $j_{\text{дв}}$  – коефіцієнт одночасності роботи, в режимі охолодження приймаємо  $j_{\text{дв}} = 0.5$ , в режимі зберігання приймаємо  $j_{\text{дв}} = 0.25$ ;

$\sum N_{\text{дв}}$  – розрахункова потужність ел.дв., Вт.

Оскільки холодильник знаходиться на стадії проектування і потужність електродвигунів апаратів, встановлених в камері, є величиною невідомою, то орієнтовано  $\sum N_{\text{дв}}$  можна розрахувати по формулі:

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot m \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3), \text{ Вт} \quad (3.13)$$

де  $m$  – коефіцієнт відношення потужності електродвигуна до його холодопродуктивності, при холодильній обробці приймаємо  $m = 0.23$ , У режимі зберігання  $m = 0.08$ .

У режимі охолодження:

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.23 \cdot (5300 + 4430 + 5669) = 4250 \text{ Вт}$$

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.23 \cdot (8602 + 5761 + 5669) = 5529 \text{ Вт}$$

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.23 \cdot (9020 + 4430 + 5669) = 5277 \text{ Вт}$$

У режимі зберігання:

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.08 \cdot (5300 + 4430) = 935 \text{ Вт}$$

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.08 \cdot (8602 + 5761) = 1379 \text{ Вт}$$

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.08 \cdot (9020 + 9754) = 1803 \text{ Вт}$$

Визначаємо теплоприток від електродвигунів апаратів:

У режимі охолодження:

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 27   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

$$Q_4''=0.5 \cdot 4250=2125 \text{ Вт}$$

$$Q_4''=0.5 \cdot 5529=2765 \text{ Вт}$$

$$Q_4''=0.5 \cdot 5277=2639 \text{ Вт}$$

У режимі зберігання:

$$Q_4''=0.3 \cdot 935=281 \text{ Вт}$$

$$Q_4''=0.3 \cdot 1379=414 \text{ Вт}$$

$$Q_4''=0.3 \cdot 1803=541 \text{ Вт}$$

Теплопритоки від людей, що працюють в камері, визначаються по формулі:

$$Q_4'''=(270-6 \cdot t_k) \cdot n \text{ [Вт]}, \quad (3.14)$$

де  $n$  – кількість людей, що працюють в камері, приймаємо  $n=2$  при площі менше  $200 \text{ м}^2$ .

Визначуваний теплоприток від людей:

$$Q_4'''=(270-6 \cdot 2) \cdot 2=516 \text{ Вт.}$$

Теплопритоки від інфільтрації через двері визначаються по формулі:

$$Q_4''''=B \cdot F_{\text{стр}} \text{ [Вт]}, \quad (3.15)$$

де  $B$  – витрати холоду при відкритті дверей  $\text{Вт/м}^2$ , приймаємо для камер площею  $108 \text{ м}^2$  и будівельною висотою  $6 \text{ м}$  –  $B=9 \text{ Вт/м}^2$ .

Теплоприток від інфільтрації через двері:

$$Q_4''''=9 \cdot 108=972 \text{ Вт.}$$

Сумарні експлуатаційні теплопритоки:

У режимі охолодження:

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 28   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

$$Q_4=1053+2125+516+972=4666 \text{ Вт}$$

$$Q_4=1053+2765+516+972=5306 \text{ Вт}$$

$$Q_4=1053+2639+516+972=5180 \text{ Вт}$$

У режимі зберігання:

$$Q_4=632+281+516+972=2401 \text{ кВт}$$

$$Q_4=632+414+516+972=2534 \text{ кВт}$$

$$Q_4=632+541+516+972=2661 \text{ кВт}$$

#### 4.5 Розрахунок теплопритоків від дихання охолоджених плодів

У загальному випадку для фруктосховищ теплопритоки від дихання охолоджених плодів розраховуються по формулі:

$$Q_5=q_5' \cdot G_{\text{п}} + q_5'' \cdot (E-G_{\text{п}}), [\text{Вт}], \quad (3.16)$$

де  $q_5'$  - тепловиділення плодів при температурі їх надходження в камеру, Вт/т;

$q_5''$  - тепловиділення плодів при температурі зберігання, Вт/т;

$G_{\text{п}}$  – максимальне одноразове надходження плодів в камеру, т.

При охолодженні обробляється одночасно весь вантаж, тому розрахунок ведемо по формулі

$$Q_5=q_5' \cdot E, [\text{Вт}], \quad (3.17)$$

де  $q_5'$  - тепловиділення плодів при температурі їх надходження в камеру, Вт/т;

Тепловиділення плодів визначаються:

$$q_t = q_0 \cdot e^{bt} \text{ [Вт/т]}, \quad (3.18)$$

де  $q_0$  – тепловиділення плодів при  $0^\circ\text{C}$ ;

$b$  – температурний коефіцієнт швидкості дихання,  $^\circ\text{C}^{-1}$ .

Для  $t_n = 20^\circ\text{C}$ :

Для картоплі –  $q_5' = 10 \cdot e^{0.0617 \cdot 20} = 34.3 \text{ Вт/т}$ .

Для капусти –  $q_5' = 14,5 \cdot e^{0.0778 \cdot 20} = 68.7 \text{ Вт/т}$ .

Для моркви –  $q_5' = 13,5 \cdot e^{0.1319 \cdot 20} = 76.6 \text{ Вт/т}$ .

Для буряка –  $q_5' = 13,9 \cdot e^{0.1319 \cdot 20} = 79.2 \text{ Вт/т}$ .

Для цибулі –  $q_5' = 11.1 \cdot e^{0.0668 \cdot 20} = 42.2 \text{ Вт/т}$ .

Визначаємо теплопритоки від дихання овочів в режимі охолодження:

Для картоплі –  $Q_5 = 34.3 \cdot 350 = 12005 \text{ Вт}$ .

Для капусти –  $Q_5 = 68.7 \cdot 150 = 10305 \text{ Вт}$ .

Для моркви –  $Q_5 = 76.6 \cdot 150 = 10724 \text{ Вт}$ .

Для буряка –  $Q_5 = 79.2 \cdot 150 = 11880 \text{ Вт}$ .

Для цибулі –  $Q_5 = 42.2 \cdot 200 = 8440 \text{ Вт}$ .

У режимі зберігання теплоприток розраховується від дихання всього вантажу при температурі зберігання.

Для  $t_n = 2^\circ\text{C}$ :

Для картоплі при  $t_n = 2^\circ\text{C}$ :  $q_5' = 10 \cdot e^{0.0617 \cdot 2} = 11.3 \text{ Вт/т}$ .

Для  $t_n = 1^\circ\text{C}$ :

Для капусти –  $q_5' = 14,5 \cdot e^{0.0778 \cdot 1} = 15.7 \text{ Вт/т}$ .

Для моркви –  $q_5' = 13,5 \cdot e^{0.1319 \cdot 1} = 15.4 \text{ Вт/т}$ .

Для буряка –  $q_5' = 13,9 \cdot e^{0.1319 \cdot 1} = 16.3 \text{ Вт/т}$ .

Для цибулі при  $t_n = -1^\circ\text{C}$  –  $q_5' = 11.1 \cdot e^{0.0668 \cdot (-1)} = 10.4 \text{ Вт/т}$ .

Визначаємо теплопритоки від дихання овочів в режимі зберігання:

Для картоплі –  $Q_5 = 11.3 \cdot 350 = 3955 \text{ Вт}$ .

Для капусти –  $Q_5 = 15.7 \cdot 150 = 2355 \text{ Вт}$ .

Для моркви –  $Q_5 = 15.4 \cdot 150 = 2310 \text{ Вт}$ .

Для буряка –  $Q_5 = 16.3 \cdot 150 = 2445 \text{ Вт}$ .

Для цибулі –  $Q_5=10.4 \cdot 200=2080$  Вт.

Таблиця 3.3 – Звідна таблиця теплопритоків

|           |             | $Q_1$ , Вт | $Q_2$ , Вт | $Q_3$ , Вт | $Q_4$ , Вт | $Q_5$ , Вт | $\Sigma Q_{\text{кам}}$ , Вт |
|-----------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------------|
| Камера №1 | Охолодження | 5302       | 4430       | 5669       | 4666       | 10724      | 30791                        |
|           | Зберігання  | 5302       | 0          | 2835       | 2401       | 2310       | 12848                        |
| Камера №2 | Охолодження | 4246       | 4430       | 5669       | 4666       | 10305      | 29316                        |
|           | Зберігання  | 4246       | 0          | 2835       | 2401       | 2355       | 10837                        |
| Камера №3 | Охолодження | 4246       | 4430       | 5669       | 4666       | 11880      | 30891                        |
|           | Зберігання  | 4246       | 0          | 2835       | 2401       | 2445       | 11927                        |
| Камера №4 | Охолодження | 8602       | 9756       | 5669       | 5306       | 12005      | 41338                        |
|           | Зберігання  | 8602       | 0          | 2835       | 2534       | 3955       | 17926                        |
| Камера №5 | Охолодження | 9020       | 5671       | 5669       | 5180       | 8440       | 33980                        |
|           | Зберігання  | 9020       | 0          | 2835       | 2661       | 2445       | 16961                        |

Таким чином, сумарне навантаження на прилади в режимі охолодження в кожній камері складає  $Q_0=34 \div 42$  кВт. Для уніфікації устаткування прилади охолодження для всіх камер підбираємо по максимальному навантаженню. У камерах, як прилади, що охолоджують, будуть використані пові-

троохолоджувачі з безпосереднім кипінням фреону усередині труб, в кількості 2 штук в кожній камері, які забезпечать рівномірне температурно-вологове поле в процесі охолодження. Відповідно, навантаження на один апарат для камер зберігання капусти, моркви, буряка, цибулі  $Q_{\text{в0}}=34/2=17$  кВт, картоплі  $Q_{\text{в0}}=42/2=22$  кВт.

Сумарне навантаження на компресора системи в режимі охолодження вантажу:  $\Sigma Q_0=30791+29316+30891+41338+33980=166316$  кВт

Сумарне навантаження на компресора системи в режимі зберігання вантажу:  $\Sigma Q_0=70499$  кВт.

Таким чином, встановлюємо паралельно 3 компресори з холодопродуктивністю 41,6 кВт, що мають загальну лінію всмоктування і нагнітання. У режимі охолодження вони забезпечать повний технологічний режим, а в режимі зберігання одночасно працюватиме один з них, з перемиканням по виробленню моторесурсу.

Теплове навантаження на один компресор, визначається з урахуванням втрат в системі при безпосередньому охолодженні у розмірі 6 %,  $\kappa=1.06$ , і коефіцієнта робочого часу  $b=0.85$ :

$$Q_{0 \text{ комп}} = \kappa \cdot Q_0 / b = 1.06 \cdot 41,6 / 0.85 = 53 \text{ кВт} \quad (3.19)$$

#### 4 Тепловий розрахунок холодильної системи

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

$$t_k = 31 + 11 = 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Як прилади охолодження в камерах будуть використані підвісні повітроохолоджувачі. Температура кипіння агента в таких апаратах приймається на 7-10 До нижче за розрахункову температуру повітря в камері.

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

При роботі на фреоні R507a, який використовуватиметься як холодильний агент, немає необхідності в додатковому перегріві на всмоктуванні, для забезпечення безпечної роботи компресорів, тому регенеративний теплообмінник в системі відсутній.

Тепловий розрахунок буде проводитись за наступними даними:

- температура кипіння R404a  $t_0 = -6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- потрібна холодопродуктивність  $Q_{0 \text{ комп}} = 53 \text{ кВт}$ ;
- температура конденсації агента  $t_k = 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- сумарний перегрів на всмоктуванні  $\Theta = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- переохолодження після конденсатора  $\Delta t_{\text{по}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

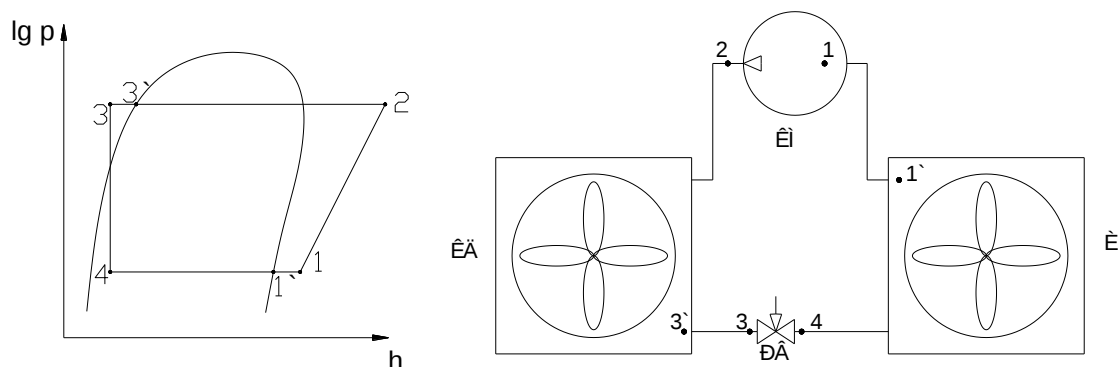


рис. 4.1 – Термодинамічний цикл і умовна схема холодильної машини

Процеси, відбиті в циклі:

1-2 – стискування в компресорі;

2-3 – конденсація;

3-4 – дроселювання агента;

4-5 – кипіння у випарнику;

1'-1 – перегрівши на всмоктуванні;

3'-3 – переохолодження після конденсатора.

Таблиця 4.1 – Розрахункові дані циклу холодильної машини

|                           | 1'  | 1     | 2   | 3   | 4    |
|---------------------------|-----|-------|-----|-----|------|
| $t, ^\circ\text{C}$       | -6  | 14    | 80  | 38  | -6.3 |
| $P, \text{бар}$           | 5   | 5     | 19  | 19  | 5    |
| $h, \text{кДж/кг}$        | 366 | 384   | 413 | 258 | 258  |
| $v, \text{м}^3/\text{кг}$ | -   | 0.045 | -   | -   |      |

Питомі характеристики циклу:

- питома масова продуктивність:

$$q_0 = h_1 - h_4 = 366 - 258 = 108 \text{ кДж/кг} \quad (4.1)$$

- питома об'ємна продуктивність

$$q_v = q_0 / v_1 = 108 / 0.045 = 2400 \text{ кДж/м}^3 \quad (4.2)$$

- питома адіабатна робота стискування

$$l = h_2 - h_1 = 413 - 384 = 29 \text{ кДж/кг} \quad (4.3)$$

Масова витрата агента:

$$M_a = Q_0 / q_0 = 53 / 108 = 0.49 \text{ кг/с} \quad (4.4)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_d = M_a \cdot v_1 = 0.49 \cdot 0.045 = 0.022 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.5)$$

Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda_c = 1 - 0.03 \cdot [(P_k / P_0)^{1/m} - 1] = 1 - 0.03 \cdot [(19/5) - 1] = 0.916 \quad (4.6)$$

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

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

Об'єм, описаний поршнями компресора:

$$V_h = V_d / \lambda = 0.022 / 0.72 = 0.031 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.7)$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = M_a \cdot l = 0.49 \cdot 29 = 14.2 \text{ кВт} \quad (4.8)$$

Індикаторний ККД компресора:

$$\eta_i = \lambda'_w + b \cdot t_0 = 0.79 - 6 \cdot 0.001 = 0.784 \quad (4.9)$$

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = N_a / \eta_i = 14.2 / 0.784 = 18.1 \text{ кВт} \quad (4.10)$$

Потужність тертя:

$$N_{тр} = V_h \cdot P_{тр} = 0.031 \cdot 40 = 1.24 \text{ кВт}, \quad (4.11)$$

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 35   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

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

Ефективна потужність компресора:

$$N_e = N_i + N_{тр} = 19.1 + 1.24 = 19.3 \text{ кВт} \quad (4.12)$$

Електрична потужність компресора:

$$N_{эл} = N_e / \eta_{эл} = 19.3 / 0.9 = 21.5 \text{ кВт}, \quad (4.13)$$

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

Таблиця 4.2 – Результати теплового розрахунку

| Параметри                             |       |
|---------------------------------------|-------|
| Холодопродуктивність, кВт             | 53    |
| Температура кипіння, °C               | -6    |
| Температура конденсації, °C           | 42    |
| Перегрів, °C                          | 20    |
| Переохолодження в конденсаторі, °C    | 5     |
| Тиск кипіння/конденсації, бар         | 5/19  |
| Теор. об'єм, описаний поршнями, м³/с  | 0.031 |
| Ефективна потужність компресора, кВт  | 19.3  |
| Електрична потужність компресора, кВт | 21.5  |

## 5 Розрахунок повітряного конденсатора

За результатами теплового розрахунку:

$$\sum Q_k = 4 \cdot (Q_{0 \text{ комп}} + N_e) = 4 \cdot (53 + 21,5) = 298 \text{ кВт}$$

Приймаємо для відведення теплоти конденсації три повітряні конденсатори з продуктивністю кожного  $Q_k = 100 \text{ кВт}$

Дані для розрахунку:

Теплове навантаження:  $Q_k = 100 \text{ кВт}$

Розрахункова температура зовнішнього повітря:  $t_n = 31 \text{ }^\circ\text{C}$

Відносна вологість зовнішнього повітря:  $\phi_n = 0.6$

Зовнішній діаметр труби:  $d = 0.022 \text{ м}$

Внутрішній діаметр труби:  $d_{\text{вн}} = 0.02 \text{ м}$

Товщина ребра:  $\delta = 0.0008 \text{ м}$

Крок ребер:  $u = 0.008 \text{ м}$

Ширина ребра:  $B = 0.044 \text{ м}$

Матеріал труб/ребер: мідь/алюміній

Крок труб по ходу/проти ходу повітря:  $S_1/S_2 = 0.044/0.088 \text{ м}$

Розташування труб в пучку: шахове

Форма ребра: пластинчасте

Агент: R404a

### 5.1 Тепловий розрахунок конденсатора

Приймаємо підігрів повітря в конденсаторі  $\Delta t = 5 \text{ К}$ , тоді температура повітря на виході з апарату:

$$t_2 = t_n + \Delta t = 31 + 5 = 36 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температура конденсації для повітряних конденсаторів приймається на 10-12 К вище за розрахункову температуру зовнішнього повітря:

$$t_k = 31 + 11 = 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Задаємося швидкістю повітря в живому перетині апарату –  $w = 8 \text{ м/с}$ .

Розраховуємо геометричні характеристики ребра:

- зовнішня поверхня ребра:

$$f_p = B^2 - 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 + 4 \cdot B \cdot \delta = 0.044^2 - 0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.022^2 + 4 \cdot 0.044 \cdot 0.0008 = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

- зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

$$f_{tr} = \pi \cdot d \cdot (u - \delta) = 3.14 \cdot 0.022 \cdot (0.008 - 0.0008) = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

- внутрішня поверхня труби ребристого елемента:

$$f_{вн} = \pi \cdot d \cdot u = 3.14 \cdot 0.022 \cdot 0.008 = 0.55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

- повна зовнішня поверхня ребристого елемента:

$$f_n = f_p + f_{tr} = 1.7 \cdot 10^{-3} + 0.5 \cdot 10^{-3} = 2.2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

- коефіцієнт обребрення  $\beta$  и ступінь обребрення  $\phi_n$ :

$$\beta = f_n / f_{вн} = 2.2 / 0.55 = 4$$

$$\phi_n = f_n / f_{tr} = 2.2 / 0.5 = 4.4$$

За довідковими даними [2] вибираємо теплофізичні властивості повітря при  $t_n$ :

- кінематична в'язкість  $\nu = 16.2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;
- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0.027 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;
- число Прандтля  $Pr = 0.7$ ;
- щільність  $\rho = 1.16 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- теплоємність  $c = 1.005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

Визначальний розмір для умов тепловіддачі від поверхні конденсатора до повітря для пластинчастих ребер визначаємо по формулі:

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 38   |

$$d_3 = 2 \cdot (S_1 - d) \cdot (u - \delta) / (S_1 - d + u - \delta), \text{ м} \quad (5.1)$$

$$d_3 = 2 \cdot (0.044 - 0.022) \cdot (0.008 - 0.0008) / (0.044 - 0.022 + 0.008 - 0.0008) = 0.011 \text{ м}$$

Критерій Рейнольдса визначаємо по формулі:

$$Re = w \cdot d_3 / \nu \quad (5.2)$$

$$Re = 8 \cdot 0.011 / 16.2 \cdot 10^{-6} = 5358$$

Критерій Нуссельта для пластинчастого ребра визначаємо по формулі:

$$Nu = 0.178 \cdot [(S_1 - d) / d_3]^{-0.14} \cdot Re^{0.6} \quad (5.3)$$

$$Nu = 0.178 \cdot [(0.044 - 0.022) / 0.011]^{-0.14} \cdot 5358^{0.6} = 27.8$$

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ребра до повітря визначаємо по формулі:

$$\alpha_k = Nu \cdot \lambda / d_3 \quad (5.4)$$

$$\alpha_k = 27.8 \cdot 0.027 / 0.011 = 69.1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

Умовна висота ребра для пластинчастих ребер визначаємо по формулі:

$$h' = 0.5 \cdot d \cdot (1.15 \cdot B / d - 1) (1 + 0.35 \cdot \ln(1.15 \cdot B / d)), \text{ м} \quad (5.5)$$

$$h' = 0.5 \cdot 0.022 \cdot (1.15 \cdot 0.044 / 0.022 - 1) (1 + 0.35 \cdot \ln(1.15 \cdot 0.044 / 0.022)) = 0.018 \text{ м}$$

Для мідних труб коефіцієнт теплопровідності стінки  $\lambda_{\text{тр}} = 400 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ,  
для алюмінієвих ребер  $\lambda_p = 200 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ .

Коефіцієнт ефективності ребра визначаємо по формулі:

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 39   |

$$E = \tanh[(2 \cdot \alpha_k / (\delta \cdot \lambda_p))^{0.5} \cdot (h' + 0.5 \cdot \delta)] / [(2 \cdot \alpha_k / (\delta \cdot \lambda_p))^{0.5} \cdot (h' + 0.5 \cdot \delta)] \quad (5.6)$$

$$E = \tanh[(2 \cdot 69.1 / (0.0008 \cdot 200))^{0.5} \cdot (0.018 + 0.5 \cdot 0.0008)] / [2 \cdot 69.1 / (0.0008 \cdot 200))^{0.5} \cdot (0.018 + 0.5 \cdot 0.0008)] = 0.91$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі визначаємо по формулі:

$$\alpha_{пр} = \alpha_k \cdot (f_p \cdot E / f_n + 1 / \varphi_n), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (5.7)$$

$$\alpha_{пр} = 69.1 \cdot (1.7 \cdot 0.91 / 2.2 + 1 / 4.4) = 64.2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Розрахункові дані для визначення термічного опору шару мастила:

товщина –  $\delta_m = 0.0005 \text{ м}$ ;

коефіцієнт теплопровідності –  $\lambda_m = 0.12 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні апарату визначимо по формулі:

$$K = [(1 / \alpha_{пр} + 8 \cdot f_n / (\pi \cdot (d^2 + d_{вн}^2)) \cdot (0.5 \cdot (d - d_{вн}) / \lambda_{тр} + \delta / \lambda_p + \delta_m / \lambda_m)]^{-1}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (5.8)$$

$$K = [(1 / 64.2 + 8 \cdot 2.2 \cdot 10^{-3} / (\pi \cdot (0.022^2 + 0.002^2)) \cdot (0.5 \cdot (0.022 - 0.02) / 400 + 0.0008 / 200 + 0.0005 / 0.12)]^{-1} = 23.8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Властивості агента (R507a) визначаємо за довідковими даними [2] при визначальній температурі конденсації  $t_k$ :

- щільність конденсату  $\rho_k = 1120 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- коефіцієнт теплопровідності конденсату  $\lambda_k = 0.0756 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;
- коефіцієнт динамічної в'язкості конденсату  $\mu_k = 2.2 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;
- теплота паротворення  $r = 165 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$ .

Щільність теплового потоку з боку конденсуючого холодильного агента, використовуючи загальну температуру стінки труби  $t_{ст}$ , можна виразити по формулі:

$$q=\beta^{-1}\cdot0.72\cdot[9.81\cdot r\cdot\rho_K^2\cdot\lambda_K^3\cdot(\mu_K\cdot d_{BH})^{-1}]^{0.25}\cdot(t_K-t_{CT})^{-0.75}, \text{ Вт/м}^2 \quad (5.9)$$

$$q=4^{-1}\cdot0.72\cdot[9.81\cdot165\cdot10^3\cdot1120^2\cdot0.0756^3\cdot(2.2\cdot10^{-4}\cdot0.02)^{-1}]^{0.25}\cdot(42-t_{CT})^{-0.75}=678\cdot(42-t_{CT})^{-0.75}$$

Щільність теплового потоку з боку повітря, використовуючи загальну температуру стінки труби  $t_{CT}$ , можна виразити по формулі:

$$q=K\cdot(t_{CT}-t_H), \text{ Вт/м}^2 \quad (5.10)$$

$$q=K\cdot(t_{CT}-t_H)=23.8\cdot(t_{CT}-32)$$

Вирішуючи спільно систему рівнянь 5.9 і 5.10, визначимо шукану щільність теплового потоку через стінку:  $q=168.2 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

Повну обребрену поверхню апарату визначаємо по формулі:

$$F=Q_K\cdot10^3/q, \text{ м}^2 \quad (5.11)$$

$$F=100\cdot10^3/168.2=595 \text{ м}^2$$

## 5.2 Конструктивний розрахунок апарату

Об'ємна витрата повітря через апарат визначається по формулі:

$$V=Q_K/(c\cdot\rho\cdot\Delta t), \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.12)$$

$$V=100/(1.16\cdot1.005\cdot5)=16,6 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\text{Площа «живого» перетину конденсатора: } F_{\text{ж}}=V/w=16,6/8=1.82 \text{ м}^2$$

$$\text{Сумарна довжина труб в апараті: } \sum L=F_{\text{ж}}/f_{\text{п}}=1.82/(2.2\cdot10^{-3})=768 \text{ м}$$

Площу «живого» перетину одного ребристого елемента визначимо по формулі:

$$f_{\text{ж}}=S_1\cdot u-(2\cdot h\cdot\delta+d\cdot u), \text{ м}^2 \quad (5.13)$$

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 41   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

$$f_{\text{ж}}=0.044 \cdot 0.008 - (2 \cdot 0.018 \cdot 0.0008 + 0.022 \cdot 0.008) = 0.1465 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Число ребристих елементів у фронтальному перетині пучка труб апарату:  $n_{\text{рз}} = F_{\text{ж}} / f_{\text{ж}} = 1.82 / 0.1465 \cdot 10^{-3} = 11058$

Сумарна довжина труб у фронтальному перетині пучка:

$$\sum L_{\text{ф}} = u \cdot n_{\text{рз}} = 0.008 \cdot 11058 = 88.5 \text{ м}$$

Площа фронтального перетину апарату:  $S_{\text{ф}} = S_1 \cdot \sum L_{\text{ф}} = 0.044 \cdot 88.5 = 3.9 \text{ м}^2$

По графіках характеристик вентиляторів [6] вибираємо чотири вентилятори марки ВО-12-303-6,3 при орієнтовному натиску  $H = 130 \text{ Па}$ .

Діаметр вентиляторів  $D_{\text{в}} = 0.63 \text{ м}$ , кількість  $z = 4$

Орієнтовні геометричні розміри конденсатора:

- ширина  $B_{\text{к}} = (S_{\text{ф}} / z)^{0.5} = (4.1 / 4)^{0.5} = 1.01 \text{ м}$ ;

- довжина  $L_{\text{к}} = B_{\text{к}} \cdot z = 1.01 \cdot 4 = 4.04 \text{ м}$ .

Число труб у фронтальному перетині апарату з округленням до цілого:

$$N_{\text{ф}} = B_{\text{к}} / S_1 = 1.01 / 0.044 = 23$$

Дійсні геометричні розміри конденсатора:

- ширина  $B_{\text{к}} = N_{\text{ф}} \cdot S_1 = 23 \cdot 0.044 = 1.01 \text{ м}$ ;

- довжина  $L_{\text{к}} = S_{\text{ф}} / B_{\text{к}} = 4.1 / 1.01 = 4.06 \text{ м}$ .

Число труб уздовж потоку повітря, з округленням до більшого цілого:

$$N = \sum L / \sum L_{\text{ф}} = 734 / 88.5 \approx 9$$

Висота секції:  $H_{\text{к}} = S_2 \cdot N = 0.088 \cdot 9 = 0.79 \text{ м}$

## 6 Розрахунок повітроохолоджувача

У розрахунку використовуються наступні дані:

- холодопродуктивність апарату  $Q_0=17000$  Вт;
- температура повітря камери  $t_k=2$  °С;
- відносна вологість повітря камери  $\phi_k=0.9$ ;
- швидкість повітря в живому перетині  $V_B=3$  м/с;
- форма ребра – кругле;
- матеріал труб сталь  $\lambda_{тр}=50$  Вт/(м·К),  $d_n=0.02$  м,  $d_{вн}=0.016$  м;
- матеріал ребер алюміній  $\lambda_p=150$  Вт/(м·К),
- крок ребер  $u=0.008$  м, висота ребра  $h_p=0.02$  м, товщина ребра у підставі  $\delta_{ор}=0.002$  м, у вершини  $\delta_{вр}=0.0006$  м діаметр ребра  $D_p=0.063$  м;
- температура кипіння агента (R 404a)  $t_0=-6$  °С;
- товщина інею, що осів  $\delta_i=0.0015$  м,  $\lambda_i=0.2$  Вт/(м·К).

### Розрахунок

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

Температура на виході з апарату:

$$t_B=t_k-\Delta t=2-2=0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Середня температура повітря:

$$t_c=0.5 \cdot (t_k + t_B)=0.5 \cdot (2-0)=1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Задаємося середньою температурою поверхні ПО, покритою інеєм:

$$t_n=-2.9 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

По таблицях визначаємо вологовміст насиченого повітря при:

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

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

Вологовміст на виході з повітроохолоджувача:

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

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

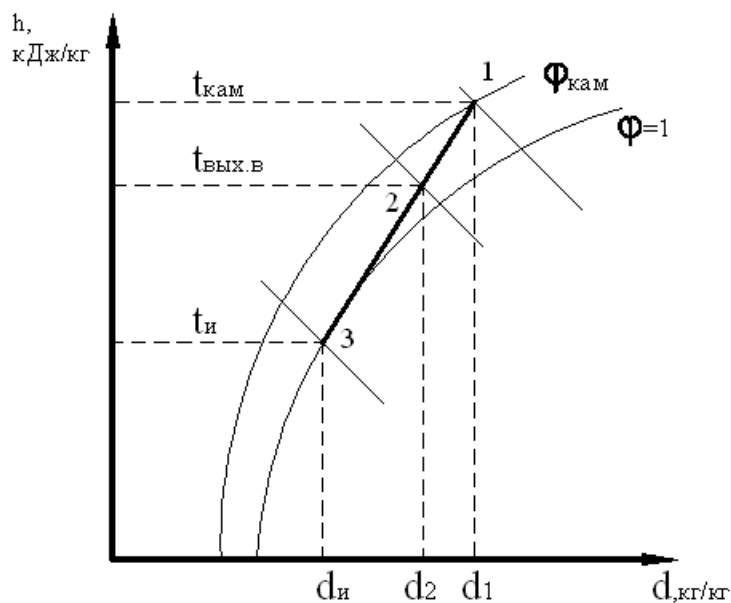


рис. 6.1 – Процес обробки повітря у повітроохолоджувачі в h-d діаграмі.

Відносна вологість на виході з апарату:

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

Ентальпія повітря визначається по формулі:

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

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

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

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

Поперечний і подовжній крок труб при коридорній компоновці:

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

Геометричні параметри прийнятого ребристого елементу.

Зовнішня поверхня ребра:

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

Зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

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

Внутрішня поверхня труби ребристого елементу:

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

Повна зовнішня поверхня ребристого елементу:

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

Коефіцієнт обребрення:

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

Ступінь обребрення:

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

Умовний ступінь обребрення:

$$\beta_n = f_{\pi} / f_{тр} = 6.1 / 0.38 = 16.19$$

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 45   |

Геометричні характеристики поверхні інею.

Зовнішня поверхня інею на ребрі:

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

Внутрішня поверхня інею на трубі між двома суміжними ребрами:

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

Повна зовнішня поверхня інею на ребристому елементі:

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

Коефіцієнт обребрення поверхні, покритої інеєм:

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

Площа `живого` перетину одного ребристого елемента з інеєм:

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

Теплообмін з боку повітря.

Теплофізичні властивості повітря при  $t_c$ :

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

Коефіцієнт вологи випадення визначається по формулі:

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

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

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

Визначальний розмір:

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

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

Число Рейнольдса:

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

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

Число Нуссельта:

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

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

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

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 47   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні повітряохолоджувача до повітря:

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

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

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

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

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

Умовна висота ребра:

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

Безрозмірний комплекс

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

Коефіцієнт ефективності ребра:

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

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

Коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддачі по висоті ребра:

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

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елементу:

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

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

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби:

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

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

Коефіцієнт тепловіддачі в трубах апарату:

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

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

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

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні інею:

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

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

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні сухої поверхні:

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

Перевіряємо раніше прийняту температуру поверхні апарату:

- щільність теплового потоку, віднесена до зовнішньої поверхні інею:

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

- розрахункова різниця температур:

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

- відносна погрішність прийнятої і розрахункової різниці температур:

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

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

$$F_H = Q_0 / [K_H \cdot (t_c - t_0)] = 17000 / (10.67 \cdot 7) = 228 \text{ м}^2$$

Компонувальний розрахунок повітроохолоджувача.

Об'ємна витрата повітря через повітроохолоджувач:

$$V_B = Q_0 \cdot 10^{-3} / [\rho_B \cdot (h_K - h_B)] \quad (6.14)$$

$$V_B = 17 / [1.29 \cdot (13.08 - 9.99)] = 4.3 \text{ м}^3/\text{с}$$

По графіках характеристик вентиляторів вибираємо вентилятор марки ВО-12-303-6.3 при орієнтовному натиску  $H=120$  Па з діаметром вентилятора  $D_B=0.63$  м.

Мінімальний `живий` перетин повітроохолоджувача:

$$F_{\text{ж}} = V_B / w_B = 4.3 / 3 = 1.43 \text{ м}^2$$

Площа фронтального перетину повітроохолоджувача:

$$F_{\phi} = F_{\text{ж}} \cdot S_1 \cdot u / f_{\text{ж}} = 1.43 \cdot 0.069 \cdot 0.008 / 0.00044 = 1.53 \text{ м}^2$$

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

$$e = F_{\phi} / (0.25 \cdot \pi \cdot D_B^2) = 1.53 / (0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.63^2) = 2.49$$

Орієнтовні геометричні розміри теплообмінної секції повітроохолоджувача у фронтальному перетині:

$$\text{- ширина і довжина } H' = L' = F_{\phi}^{0.5} = 1.53^{0.5} = 1.27 \text{ м};$$

Число труб у фронтальному перетині пучка з округленням до парного цілого:  $z_1 = H' / S_1 = 1.17 / 0.069 = 16,9$

Приймаємо дійсне число труб  $z_1 = 17$  шт

Дійсна ширина і довжина секції:

$$H = z_1 \cdot S_1 = 17 \cdot 0.069 = 1.173 \text{ м}$$

$$L = F_{\phi} / H = 1.38 / 1.173 = 1.176 \text{ м}$$

Кількість труб по ходу повітря з округленням до найближчого більшого цілого:  $z_2 = F_H / [f_{\text{п}} \cdot (F_{\text{ж}} / f_{\text{ж}})] = 174 / [0.0061 \cdot (1.1 / 0.00044)] = 12$  шт

Розрахункові параметри теплообмінної поверхні:

- сумарна довжина труб апарату:

$$\Sigma L = L \cdot z_1 \cdot z_2 = 1.176 \cdot 17 \cdot 12 = 240 \text{ м};$$

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 51   |

- площа зовнішньої поверхні:

$$F_d = \Sigma L \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot \beta = 240 \cdot 3.14 \cdot 0.016 \cdot 15.17 = 182,9 \text{ м}^2;$$

- глибина секції:

$$B = S_2 \cdot z_2 = 0.069 \cdot 12 = 0.828 \text{ м.}$$

Перевірка по аеродинамічному опору.

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

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

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

Коефіцієнт, що враховує лінійні розміри ребер:

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

Коефіцієнт, що враховує фізичні властивості повітря:

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

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

Т.ч.

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

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

## 7 Підбір компресорів та конденсаторів, розрахунок магістральних трубопроводів

### 7.1 Підбір компресорів та конденсаторів

Підбір компресорів здійснимо по потрібній холодопродуктивності на один компресор в режимі зберігання  $Q_0=53$  кВт з параметрами роботи, представленими при тепловому розрахунку. Вибираємо три поршневі компресори фірми Bitzer марки 4GE-30Y (Додаток 1) з холодопродуктивністю за даних умов  $Q_0=58.6$  кВт і споживаною електричною потужністю  $N_{эл}=19.3$  кВт.

Для відведення теплоти конденсації в даній холодильній системі використовуємо повітряні конденсатори. Розрахункове теплове навантаження може бути визначена за даними теплового розрахунку як:

$$\sum Q_k = 3 \cdot (Q_{0 \text{ комп}} + N_e) = 4 \cdot (58.6 + 19.3) = 311,6 \text{ кВт}$$

Вибираємо три повітряні конденсатори фірми Alfa-Laval марки ACS633-A (Додаток 2) потужністю 111.8 кВт при розрахунковій температурі конденсації  $t_k=42$  °C.

### 7.2 Розрахунок магістральних трубопроводів

Об'ємна витрата агента:

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

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

Діаметр трубопроводу, що розраховується:

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

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 53   |

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

Нагнітальний трубопровід для одного компресора:

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

$V_a=0.49/86.6=0.0057\text{ м}^3/\text{с}$ .

$d_n=1.13\cdot(0.0057/14)^{0.5}=0.023\text{ м}$ .

Приймаємо на нагнітанні мідну трубу 24×1.5.

Всмоктуючий трубопровід для одного компресора:

При  $t_1=-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $P_0=5$  бар визначаємо щільність агента  $\rho_1=24.4\text{ кг/м}^3$ .

$V_a=0.49/24.4=0.021\text{ м}^3/\text{с}$

$d_n=1.13\cdot(0.021/12)^{0.5}=0.048\text{ м}$ .

Приймаємо на всмоктуванні мідну трубу 55×2.5.

Трубопровід на сливі від конденсаторів до ресивера:

При  $t_3=37\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $P_k=19$  бар визначаємо щільність агента  $\rho_3=964\text{ кг/м}^3$ .

$V_a=0.49\cdot 3/964=0.0015\text{ м}^3/\text{с}$

$d_n=1.13\cdot(0.0015/1)^{0.5}=0.044\text{ м}$ .

Приймаємо на рідинному зливі мідну трубу 45×2.5.

### 7.3 Підбір допоміжного устаткування

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

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 54   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

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 визначувати виходячи їх конструктивних характеристик і числа повітроохолоджувачів:  $V_{исп}=20 \cdot 0.25 \cdot \pi \cdot d_{вн}^2 \cdot \Sigma L = 20 \cdot 0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.016^2 \cdot 97.2 = 0.39 \text{ м}^3$ .

Відповідно до правил техніки безпеки розрахунковий об'єм також збільшують на 20%, оскільки його заповнення не повинне перевищувати 80%. Т.ч., місткість лінійного ресивера можна визначити як:  $V_{л} = (0.6 \cdot V_{исп} / 0.5) \cdot 1.2 = (0.6 \cdot 0.39 / 0.5) \cdot 1.2 = 0.56 \text{ м}^3$ .

Як лінійні ресивери використовують горизонтальні або вертикальні циліндрові судини. По місткості підбираємо горизонтальний ресивер Bitzer F562N, який може використовуватися при робочому тиску до 3.3 МПа в діапазоні температур від -15 до +60 °С. Обичайки ресивера зварні, запобіжні клапани мають умовний прохід  $D_y$  15мм.

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

Рідина відділяється від пари унаслідок різкої зміни швидкості і напрямку руху холодильного агента. Швидкість пари в судині не повинна перевищувати 0.5 м/с. Він є зварною вертикальною циліндровою судиною, що має патрубки і штуцера для приєднання рідинної і парових ліній, зрівняльної лінії, автоматичних приладів і манометра. Судина розрахована на робочий тиск не більше 2,07 мПа в робочому діапазоні температур від -10 до +65 °С. Підбираємо віддільник рідини Alco Controls A-17-509.

Підбір мастиловіддільників проводиться по діаметру нагнітального патрубка компресора. Вибираємо мастиловіддільник Alco Controls OSH-409.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 55   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

Мастилозбірник призначений для перепускання в нього мастила з апаратів і подальшого видалення його з системи при низькому тиску. Він є зварною вертикальною циліндровою судиною, розрахованою на робочий тиск не більше 3,3 мПа в робочому діапазоні температур від -10 до +130 °С. Вибираємо мастилозбірник OCS 20.

Для захисту віддільника рідини від переповнювання, а так само зберігання агента при тривалій зупинці холодильної машини, в системі передбачений захисний дренажний ресивер. Підбір апарату здійснюється аналогічно лінійному ресиверу, т.ч. як дренажний вибираємо горизонтальний ресивер Bitzer F562N.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 56   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

## 8 Охорона праці

Охорона праці - система законодавчих актів, організаційних, технічних, лікувально-профілактичних заходів та засобів, що забезпечують збереження здоров'я, працездатність і безпеку людини в процесі праці.

Завдання охорони праці - звести до мінімальної ймовірності ураження або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

На даному підприємстві розроблено ряд заходів з охорони праці обслуговуючого персоналу з урахуванням можливих аварій і порушень техніки безпеки.

Нижче розглянуті безпечні умови праці та заходи для їх створення при експлуатації ХМ: характеристика холодоагенту, небезпечні та шкідливі фактори при його використанні, класифікація холодильної машини за ступенем вибухової, вибухопожежної та пожежної безпеки та ін.

Відповідно до стандартної класифікації шкідливих речовин, встановлені чотири класи безпеки залежно від семи показників токсичного впливу, включаючи середню смертельну концентрацію для піддослідних тварин і гранично допустиму концентрацію (ГДК) у повітрі робочої зони. У порівнянні з іншими показниками ГДК найбільш повно представляє токсичні властивості холодоагентів, однак одного цього показника недостатньо для оцінки реальної безпеки роботи з холодоагентом в умовах експлуатації.

Основний вид впливу холодоагенту на організм людини – інгаляційний вплив його пару. У разі розгерметизації обладнання масова частка холодоагенту в повітрі, при інших рівних умовах, пропорційна тиску і щільності його пару, тобто при однакових ГДК і однієї і тієї ж температури холодоагент з більш високим тиском насиченої пари і щільністю потрапляє в повітря робочої зони швидше і становить велику небезпеку, ніж холодоагент з низьким тиском насиченої пари і щільністю. Реальну небезпеку холодоагенту в умо-

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 57   |

вах експлуатації доцільно характеризувати коефіцієнтом токсичної небезпеки  $K_{т.о.}$

Коефіцієнт являє собою безрозмірну величину, яка визначається відношенням щільності сухого насиченого пару холодоагенту при 20°C до ГДК, встановленої для повітря робочої зони. Чим вище значення  $K_{т.о.}$ , тим більше строгими повинні бути запобіжні заходи.

#### Характеристика холодоагенту

R-404A - фреон, азеотропна суміш з 50% діфторметана R-32 і 50% пентафторетана R-125, найбільш часто використовуваний фреон в сучасних кондиціонерах. Жоден з його компонентів не містить хлору, тому він безпечний для озонового шару (озоноруйнуючий потенціал дорівнює нулю). Цей фреон приходить на зміну R-22, який руйнує озоновий шар, і виробництво якого обмежено Монреальським протоколом.

R-404A є сумішшю, близької до азеотропної. Основний недолік неазеотропних сумішей - температурне ковзання, тобто зміна температури кипіння в процесі фазового переходу (випаровування і конденсації). Однак у холодоагенту R-404A температурне ковзання настільки мало (0.15 K), що ним можна знехтувати, тобто вважати суміш азеотропної (для порівняння, температурне ковзання холодоагенту R-407C становить 7K).

Так як обидва компоненти не містять хлору, R 404A має нульовий потенціал виснаження озонового шару Землі. Він не токсичний (при концентрації менше 400 мг / кг) і пожежобезпечний.

Хоча й кажуть, що фреон R- 507A приходить на зміну R- 22, це не слід розуміти буквально: фізичні та теплотехнічні властивості фреонів абсолютно різні, тому систему, розраховану на R- 22, не можна заправляти фреоном R- 404A: система повинна бути спочатку спроектована під фреон R- 404A. Цим він відрізняється від фреону R- 407C, який спеціально призначений для заміни R- 22 в старих системах. Крім того, тиск в контурі при робочих температурах істотно вище (так, при температурі 43 ° C R22 має тиск насиченої

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.490-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                       | 58   |

пари 15,8 атм , а R404A - близько 26 атм. ) , Тому більш високі вимоги пред'являються до герметичності , мідні трубки конденсатора і випарника повинні бути більш міцними , звідси велика маса міді і більш висока ціна . Ще одним мінусом R- 404A є несумісність з мінеральним маслом. Якщо R22 розчиняється в будь-якому мінеральному маслі , то для фреону R404a потрібно спеціальне поліетерне масло , яке набагато дорожче , а крім того , вимагає більш акуратною заправки ( воно дуже активно поглинає вологу , втрачаючи свої властивості). З іншого боку , R- 404A володіє високою питомою холодопродуктивністю (у півтора рази вище ніж R- 407C і R22 , в два рази вище ніж R- 134A ) , що дозволяє використовувати компресор з меншою об'ємною продуктивністю .

Класифікація виробництв за ступенем вибухової, вибухопожежної та пожежної небезпеки

Згідно з нормами технологічного проектування з вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення і будівлі підрозділяють на категорії А, Б, В, Г і Д. Приміщення машинного відділення фреонових холодильних установок відносять до категорії Д. Ступінь вогнестійкості будівлі холодильника І.

Техніка безпеки на холодильниках передбачає такі вимоги: приміщення холодильників повинні бути забезпечені засобами пожежогасіння, все ізолювані трубопроводи в місцях проходів через стіни і перекриття повинні мати вставки з вогнетривкого ізоляційного матеріалу, в машинному відділенні повинні бути спеціальні місця для зберігання в закритому вигляді обтиральних матеріалів (забороняється зберігання бензину, гасу та інших легкозаймистих речовин), будівельні, монтажні та ремонтні роботи із застосуванням відкритого полум'я та електрозварювання в холодильних камерах і машинних відділеннях повинні здійснюватися за наявності письмової допуску і при дотриманні протипожежних заходів.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.490-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                       | 59   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

## Об'ємно-планувальні рішення

Холодильне устаткування і трубопроводи розташовані в такому машинному відділенні, в якому можна виконати їх монтаж із забезпеченням висоти для проходу 2,2 м, – від відмітки підлоги до виступаючих частин устаткування (трубопроводів, арматури та 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;

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.

Забезпечення вибухобезпечної експлуатації обладнання

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 60   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

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 підйомно-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 неагрегатованих фреонових установок мають наступне пізнавальне забарвлення:

всмоктуючи - 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 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 агрегованих 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 вуглекислотою) або сухим повітрям з точкою роси не більш мінус 40°C (випробування водою забороняється)

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 62   |

**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 випробовуваний 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;

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

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.490-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                       | 63   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

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 витримав випробування, якщо: у нім не виявиться ознак розриву;

не будуть відмічена течя 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

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.490-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                       | 64   |

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 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 менше 15°C.

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 табличці:

реєстраційний номер;

дозволений тиск;

дата (місяць і рік) проведеного і наступного технічного випробовування.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 65   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

## Розрахунок та підбір запобіжного клапану

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:

$$F_{\text{кл}} = \frac{G_p}{\mu \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot (P_1 - P_2)}}, \text{ м}^2, \quad (13.1)$$

де:  $G_p$  – масова витрата холодильного агента, кг/с;  $G_p = 0,53$  кг/с;

$\mu = 0,75$  – коефіцієнт витрати пари для даної конструкції клапана (визначений виготовленням клапана експериментально і записаний в паспорт клапана);

$\rho_{\text{ср}}$  – щільність середовища при тиску  $p_1$ ;  $\rho_{\text{ср}} = 117,25$  кг/м<sup>3</sup>;

$p_1, p_2$  – відповідно максимальний абсолютний тиск перед клапаном і за клапаном,  $p_1 = 2,1$  МПа;  $p_2 = 1,6$  МПа;

$B$  – коефіцієнт, що враховує фізико-хімічні властивості речовини при робочих параметрах:

$$B = 1,59 \sqrt{\frac{k}{k+1} \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}}}; \quad (13.2)$$

$$B = 1,59 \sqrt{\frac{1,29}{1,2+1} \cdot \left( \frac{2}{1,2+1} \right)^{\frac{1}{1,2-1}}} = 0,852;$$

$k$  – показник адіабати,  $k = 1,2$ ;

$$F_{\text{кл}} = \frac{0.72}{0,75 \cdot 0,852 \cdot \sqrt{2 \cdot 117,25 \cdot (2,1 - 1,6) \cdot 10^5}} = 2,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (13.3)$$

Визначимо мінімальний діаметр прохідного перетину сідла клапана:

$$d_{\text{кл}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,42 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 0,05 \text{ м}. \quad (13.4)$$

За результатами розрахунків підбираємо запобіжний клапан марки Danfoss SFA50 з Ду50

### Методи визначення місць витоку фреону

Фреони володіють 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, неблагоприємно позначається на температурному режимі роботи холодильної машини, викликає перегрів обмотки електродвигуна герметичного компресора і вихід його з ладу.

Розглянемо методи визначення витоку фреонів.

1. Обмілення місць з'єднань елементів холодильної установки. В разі витоку фреону з'являються зростаючі міхури. Щоб піна довше не висихала, в мильний розчин додають гліцерин.

2. Визначення великого витоку агента по масляному витоку в місці розгерметизації (у установках, що використовують фреони і масла з хорошою взаємною розчинністю).

3. Визначення витоку за допомогою галоїдних ламп (найпоширеніший

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-бутан

### Контрольно-вимірювальні прилади

Судини, ресивери повинні мати справні візуальні показники рівня рідини, які повинні застосовуватися плоске (рефлекторне) скло. Показники рівня мають бути обладнані замковими пристосуваннями для їх відключення в разі поломки скла.

Манометри (мановакууметри) комплектувані 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'єднування 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 клапани або плавкі пробки.

#### Основні правила безпечного обслуговування холодильної установки

До обслуговування холодильних систем допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд і що мають документ про закінчення спеціального учбового закладу або курсів. До самостійного обслуговування холодильних систем допущені працівники лише після проходження під керівництвом досвідного 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 наглядом працівника, відповідального за експлуатацію холодильної системи.

Особи, 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 входів 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 поб-

лизу 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.

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 переконуються в тому, що розвантажувальні колектори запобіжних клапанів і спускові вентилі 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 всмоктуючу порожнину компресора.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 71   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

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.

## Електробезпека

Класифікація приміщення за ступенем небезпеки враження електричним струмом

Згідно з Правилами улаштування електроустановок, всі електричні установки діляться на дві групи залежно від напруги: до 1000 В і понад 1000 В. На підприємствах холодильної промисловості, а також у харчовій промисловості і в торгівлі знаходяться в експлуатації установки тільки першої групи.

Виробничі приміщення всіх видів залежно від ступеня небезпеки ураження електричним струмом поділяються на три категорії:

- приміщення без підвищеної небезпеки - сухі, з підлогами з струмонепровідних матеріалів, без струмопровідного пилу і без великої кількості заземлених металевих предметів (адміністративні, конторські, навчальні приміщення);
- приміщення з підвищеною небезпекою - сирі, з відносною вологістю повітря понад 75 %, температурою повітря більше 30 ° С; з підлогами з струмопровідних матеріалів (металеві, цегляні, бетонні), з можливістю одночасного дотику до металевих корпусів електрообладнання і заземленим металлоконструкціям (вентиляційні камери, механічні майстерні, камери холодильників та ін);
- особливо небезпечні приміщення - особливо сирі, з відносною вологістю повітря, близькою до 100 %, наявністю хімічно активного середо-

вища і двох і більше ознак , що характеризують приміщення з підвищеною небезпекою .

Машинні та апаратні зали фреонових холодильних установок відносяться до цієї категорії приміщень з підвищеною небезпекою.

Струмоведучі частини пускорегуючих 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 (ізованими білками, написом або гравіюванням на корпусі або на щитку над 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

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.490-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                       | 73   |

захист електроустановок, а також експлуатаційні режими роботи. Для тієї частини електроустаткування, яка може виявитися під напругою унаслідок порушення ізоляції, є забезпечений надійний контакт із заземляючим пристроєм, або із заземленими конструкціями, на яких воно встановлене.

Приєднання заземляючих провідників до заземлення, заземляючого контуру і до конструкцій, що заземляються, 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 ремонтованої частини електроустановки, що складаються з провідників для закорочення фаз і провідників для приєднання до заземляючого пристрою, виконане з неізовльованих гнучких мідних багатожильних проводів, що мають перетин, відповідний вимогам термічної стійкості при коротких замиканнях.

Для визначення технічного стану заземляючого пристрою періодично проводяться ;

- а)зовнішній огляд видимої частини заземляючого пристрою
- б) огляд з перевіркою ланцюга між заземленням і елементами (відсутність обривів і незадовільних контактів в проводці, що сполучає апарат із заземляючим пристроєм), що заземляються, а також перевірка пробивних запобіжників трансформаторів;
- в)вимір опору заземляючого пристрою;
- г)перевірка ланцюга фаза-нуль;
- д)перевірка надійності з'єднань природних заземлень;
- е) вибіркового розтин ґрунту для огляду елементів заземляючого пристрою, що знаходяться в землі;

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 74   |

є) вимір питомого опору ґрунту для опор ліній електропередачі напругою вище 1000 Вт.

Зовнішній огляд заземлюючого пристрою проводиться на місці з оглядом електроустаткування 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.

#### Розрахунок заземлюючого пристрою

Розрахункове значення питомого опору ґрунту:

$$\rho_p = \rho_\phi \cdot \Psi, \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

Де  $\rho_\phi$  – питомий опір ґрунту (супісок) – 250 Ом\*м;

$\Psi$  – кліматичний коефіцієнт, що залежить від сезонних коливань вологості ґрунту, дорівнює 1,0

$$\rho_p = 250 \cdot 1 = 250 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Опір одного вертикального заземлювача:

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

Де  $l$  – довжина заземлювача, м;

$d$  – діаметр електрода, м;

$t$  – відстань від поверхні до середини заземлювача, м.

$$t = t_0 + \frac{l}{2}, \text{ м}$$

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

Ширина з'єднувальної смуги  $b = 0.06$ .

$$t = 0,5 + \frac{2,5}{2} = 1,75 \text{ м}$$

$$R_0 = \frac{250}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \left[ \ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,04} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,75 + 1}{4 \cdot 1,75 - 1} \right] = 79 \text{ Ом}$$

Кількість вертикальних заземлювачів:

$$n = \frac{R_0}{R_{\text{треб}}}, \text{ шт}$$

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

$$n = \frac{79}{4} = 20 \text{ шт}$$

Система розподілення заземлювачів – в ряд.

Опір системи вертикальних заземлювачів:

$$R_{\text{в}} = \frac{R_0}{n' \cdot \eta_{\text{в}}}, \text{ Ом}$$

Де  $n'$  - округлена кількість заземлювачів до найближчого стандартного, шт;

$\eta_{\text{в}}$  – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, дорівнює 0,67[16]

$$R_{\text{в}} = \frac{79}{20 \cdot 0,67} = 5,89 \text{ Ом}$$

Опір з'єднувальної смуги (шини):

$$R_{\text{г}} = \frac{\rho_{\text{р}}}{2\pi \cdot L \eta_{\text{г}}} \cdot \ln \frac{L^2}{t_0 \cdot d}, \text{ Ом}$$

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

$$L = (n' - 1) \cdot l', \text{ м}$$

$$L = (20 - 1) \cdot 5 = 95 \text{ м}$$

$$d = 0.5 \cdot b = 0.5 \cdot 0.06 = 0.03 \text{ м}$$

$\eta_{\text{г}}$  - коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів, дорівнює 0,56[16]

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 76   |

$$R_r = \frac{250}{2 \cdot 3,14 \cdot 95 \cdot 0,56} \cdot \ln \frac{95^2}{0,5 \cdot 0,03} = 9,95 \text{ Ом}$$

Загальний опір системи заземлення:

$$R_{\text{сист}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_r}{R_{\text{в}} + R_r}, \text{ Ом}$$

$$R_{\text{сист}} = \frac{5,89 \cdot 9,95}{5,89 + 9,95} = 3,69 \text{ Ом}$$

Загальний опір системи не перевищує необхідний, тому кількість заземлювачів підібрано вірно.

Пожежна профілактика

Протипожежні вимоги

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 Д (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, та-

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 77   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

мбури 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.).

#### Система автоматики пожежогасіння

Для гасіння пожеж в приміщеннях машинних відділень фреонових холодильних установок рекомендується застосовувати індивідуальні та комбіновані установки пожежогасіння (КУП). Вони призначені для протипожежного захисту обладнання цеху, компресорів, що мають поверхні, нагріті вище температури самозаймання масла. КУП передбачає дві черги введення в дію вогнегасних речовин. Перша черга забезпечує ліквідацію пожежі на початковій стадії розвитку, друга ліквідує можливість повторного займання.

Система автоматики пожежогасіння повинні забезпечувати:

- 1) світлову і звукову сигналізацію про виникнення пожежі з розшифровкою напрямки, про несправність системи;
- 2) автоматичний і дистанційний пуск установки;
- 3) автоматичне перемикання електроживлення з основного на резервне джерело;
- 4) формування і видачу командного імпульсу для управління технологічним та електротехнічним обладнанням об'єкта, системами оповіщення про пожежу, димовидалення, підпору повітря, а також

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 78   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

для відключення вентиляції, кондиціонування, повітряного опалення;

- 5) автоматичний контроль шлейфів пожежної сигналізації, цілісності електричних ланцюгів живлення, світлової та звукової сигналізації і датчиків, визначення обриву піропатронів або електромагнітів;
- 6) формування командного імпульсу автоматичного пуску установки не менш ніж від двох автоматичних пожежних сповіщувачів.

Надійний пожежний зв'язок і сигналізація грають важливу роль у своєчасному виявленні пожеж і виклик пожежних підрозділів до місця пожежі

За призначенням пожежі зв'язок поділяється на три види: зв'язок сповіщення, призначена для виклику пожежних частин (команд) на пожежу; диспетчерська, призначена для повсякденного керівництва та управління пожежною охороною; зв'язок на пожежі, призначена для керівництва пожежними підрозділами при гасінні пожеж.

Зв'язок сповіщення служить для прийому виклику на пожежі та стихійні лиха. В якості зв'язку сповіщення використовують міську та місцевий телефонний зв'язок, спеціальну пожежну зв'язок із найбільш важливими об'єктами.

Диспетчерський зв'язок служить для передачі розпоряджень підрозділам пожежної охорони про виїзд на пожежі, стихійні лиха, а також для отримання з місця пожежі необхідної інформації, підтримання зв'язку з підрозділами, що знаходяться в дорозі і на місці пожежі. Здійснюється за допомогою установок оперативного зв'язку, через комутатори і радіостанції.

Зв'язок на пожежі організовується для забезпечення управління підрозділами, їх взаємодії і передачі інформації. Для цієї мети використовують переносні радіостанції, польові телефонні апарати, мегафони.

Електричну пожежну сигналізацію становлять встановлені на дільницях і цехах підприємства сповіщувачі, за допомогою яких сигнал передається на пункт зв'язку пожежної частини (команди) і приймальної станції, що забезпечує прийом сигналів.

Пожежні сповіщувачі можуть бути ручної дії і автоматичними . Вони діляться на теплові , димові , світлові , комбіновані , ультразвукові .

Теплові сповіщувачі спрацьовують при підвищенні температури навколишнього середовища , димові - при появі диму , світлові - при наявності відкритого вогню , комбіновані - при підвищенні температури і появі диму, ультразвукові - при зміні ультразвукового поля під дією вогню.

Приймальні станції , отримуючи сигнал з сповіщувачів , перетворюють їх в звукові і світлові сигнали , а в деяких випадках автоматично включають обладнання пожежогасіння.

На підприємствах і установах знайшли застосування приймальні станції ТОП-10/100 ( тривожна , оптична , променева ) , які працюють з тепловими сповіщувачами типу АТИМ - 3 , АТП -ЗМ , ПОСТ- 1 і ДТЛ і від ручних кнопових сповіщувачів типу ПКІЛ - 9 .

Крім зазначеної станції, застосовується і ряд інших, зокрема: сигналізаційна димова пожежна установка СДПУ - 1 , сигналізаційна теплова пожежна установка СТПУ -1 і сигналізаційна комплексна пожежна установка СКПУ - 1 .

Для автоматичного гасіння пожежі розпиленою водою використовуються спринклерні і дренчерні установки. Вони діють в залежності від температури повітря в приміщенні.

Запас води і піноутворювача в установці пінного пожежогасіння повинен бути розрахований за умови роботи протягом не менше 20 хв.

Крім агрегатних автоматичних систем пожежогасіння широко застосовуються первинні засоби пожежогасіння, зокрема, переносні і пересувні порошкові і вуглекислотні вогнегасники, пожежні щити, ящики з піском.

При гасінні пожеж піною широко застосовують генератори висококротної піни ГВП і хімічні вогнегасники ВХП-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).

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 80   |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

Вогнегасник ВХП-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.

Для швидкої ліквідації аварійної ситуації та чіткої взаємодії необхідно, щоб весь персонал знав свої конкретні обов'язки і дії при виникненні пожежі. Для цього слід регулярно проводити навчально-тренувальні заняття з ліквідації пожеж, приблизний перелік вогнищ, виникнення яких повинен бути обговорений в інструкціях з ліквідації пожеж у цехах, будівлях та інших приміщеннях лабораторії.

Також слід облаштовувати щит для пожегасіння:

- Ящик з піском (1 шт);
- Плотне полотно (войлок, асбест);
- Лом (2 шт);
- Багор (2 шт);
- Сокира (2 шт).

Щит слід встановлювати так, щоб у разі виникнення вогню він був легкодоступний та не підвергся запалюванню.

Пожежне водоймище, призначене для запасу води, розраховується по формулі:

$$V = \frac{g \cdot k \cdot \tau \cdot n}{1000} \cdot 3600, \text{м}^3,$$

де:  $k$  - коефіцієнт запасу, приймається  $k = 1,1 \dots 1,2$ ;

$n$  – кількість пожеж, шт;

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 81   |

$g$  – витрата води на 1 м<sup>3</sup> приміщення;

$\tau$  – час пожежогасіння.

$$V = \frac{10 \cdot 1,2 \cdot 2 \cdot 1}{1000} \cdot 3600 = 86,4 \text{ м}^3.$$

Виробнича санітарія

Розрахунок системи вентиляції

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:

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

де:  $k$  – кратність вентиляції або повітрообміну:

- приплив  $k_{\text{прит}} = 3$ ;

- витяг, це і аварійна вентиляція  $k_{\text{вит}} = 4$ ;

$V$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$$V = A \cdot B \cdot H = 12 \cdot 6 \cdot 6 = 432 \text{ м}^3.$$

Продуктивність припливної вентиляції:

$$L_{\text{прит}} = k_{\text{прит}} \cdot V, \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_{\text{прит}} = 3 \cdot 432 = 1296 \text{ м}^3/\text{год};$$

Продуктивність витяжної (аварійної) вентиляції:

$$L_{\text{вит}} = k_{\text{вит}} \cdot V, \text{ м}^3/\text{год};$$

$$L_{\text{вит}} = 4 \cdot 432 = 1728 \text{ м}^3/\text{год};$$

Розрахунок потужності електродвигуна системи вентиляції:

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.4 90-03.2.8 | Лист |
| Ізм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                        | 82   |

$$N = \frac{k \cdot L \cdot \Delta H \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot \eta_{\text{всн}} \cdot \eta_{\text{пер}}}, \text{кВт}$$

Для припливної вентиляції:

$$N = \frac{1,5 \cdot 1296 \cdot 300 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,9} = 0,25 \text{ кВт};$$

Для витяжної (аварійної) вентиляції:

$$N = \frac{1,5 \cdot 1728 \cdot 300 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,9} = 0,35 \text{ кВт};$$

| Вид вентиляції | Марка вентилятора | N <sub>эл</sub> | n          |
|----------------|-------------------|-----------------|------------|
| Припливна      | 4AA63B6 УЗ        | 0,25 кВт        | 1400об/мин |
| Витяжна        | 4A71A6 УЗ         | 0,37 кВт        | 1400об/мин |

Розрахунок виробничого освітлення

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.

Розрахунок штучного освітлення

Розрахувати систему виробничого освітлення для приміщення компресорного цеху розміром  $a = 12(м)$ ,  $b = 18(м)$ ,  $h = 3(м)$ ; висота підвісу (відстань від стелі до світильника)  $h_{\text{підв}} = 0.5(м)$ .

Рішення:

1. Визначаємо відстань від світильника до робочої зони:

$$H_p = h - h_{\text{підв}} - h_p = 3 - 0.5 - 0.8 = 1.7(м);$$

де  $h_p = 0,8(м)$  – відстань від підлоги до робочої зони

2. Визначаємо відстань між центрами світильників

$$L_k = H_p \cdot \left( \frac{L_k}{H_p} \right) = 1,7 \cdot 1,5 = 2,55(м);$$

де  $\left( \frac{L_k}{H_p} \right) = 1,5$  – для світильників ПВЛП (використовуються люмінесцентні лампи)

3. Визначаємо кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L_k^2} = \frac{12 \cdot 18}{2,55^2} \approx 34$$

4. Розрахуємо індекс приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{H_p(a+b)} = \frac{12 \cdot 18}{1,7 \cdot (12+18)} = 4,23$$

По таблиці з [16] визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку (коефіцієнт відбиття світлового потоку від стелі та стін відповідно дорівнюють  $\rho_n = 50\%$ ,  $\rho_c = 30\%$ ):  $\eta = 48\%$ .

5. Розраховуємо світловий потік від одного світильника

$$\Phi_{1св} = \frac{E_n \cdot S \cdot z \cdot K_{зан} \cdot 100}{\eta \cdot N} = \frac{200 \cdot 12 \cdot 18 \cdot 1,1 \cdot 1,6 \cdot 100}{48 \cdot 34} = 4658,8(лм);$$

де  $E_n = (100 \div 200), лк$  – норма освітленості;

$z = 1,1$  – коефіцієнт нерівномірного розподілу світлового потоку;

$K_{зан} = (1,4 \div 1,8)$  – коефіцієнт запасу.

6. Приймаються кількість ламп для одного світильника (для ПВЛП)

$$n = 2$$

7. Світловий потік однієї лампи дорівнює:

$$\Phi_{1л}^{роз} = \frac{\Phi_{1св}}{n} = \frac{4658,8}{2} = 2329,4(лм)$$

Приймаються до використання реальні лампи з дійсним світловим потоком максимально наближеними до розрахункового: ЛД-40,  $\Phi_{1л}^{\partial} = 2340(лм)$ .

Електрична потужність всієї освітлювальної системи:

$$P = N' \cdot n \cdot P_{л} = 34 \cdot 2 \cdot 40 = 2720 \text{ Вт}$$

Розраховуємо відхилення світлового потоку:

$$\Delta \Phi = \frac{\Phi_{1л}^{\partial} - \Phi_{1л}^{роз}}{\Phi_{1л}^{\partial}} \cdot 100\% = \frac{2340 - 2329,4}{2340} \cdot 100\% = +0,45\%$$

Відхилення світлового потоку відповідає допустимому діапазону.

#### Долікарська допомога

Вдихання пари холодоагента R404a 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 слідуює як найшвидше покинути виробниче приміщення, навіть якщо у інших працівників, що знаходяться поруч, ці симптоми не виявляються.

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 лєєр.

Для забезпечення циркуляції повітря на рівні підлоги і в будь-яких підвальних і розташованих низько приміщеннях можна скористатися повітрорудками або вентиляцією.

Не слід розраховувати на них 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 410a 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.

Електротравма – ураження електричним струмом, а також патологічні зміни в тканинах (зовнішніх покриттях, внутрішніх органах, нервовій системі) і психіці, які викликаються в організмі під впливом електричного струму.

Пошкодження залежать від безпосереднього проходження електричного струму через організм і від тієї енергії, в яку струм перетворюється (тепло, світло, звук) при розряді в безпосередній близькості від людини. Загальні і місцеві явища, що викликаються дією струму на організм, можуть варіюватися від незначних больових відчуттів, при відсутності органічних і функціональних змін з боку органів і тканин, до важких опіків з обуглювання і згорання окремих частин тіла, втратою свідомості, зупинки дихання і серця і смерті .

Послідовність дій при наданні першої допомоги потерпілому:

- усунення впливу на організм потерпілого небезпечних і шкідливих факторів (звільнення його від дії електричного струму, гасіння палаючого одягу тощо)
- оцінка стану потерпілого;
- визначення характеру травми, що створює найбільшу загрозу для життя потерпілого, і послідовності дій щодо його врятування;
- виконання необхідних заходів з порятунку постраждалого в порядку терміновості (відновлення прохідності дихальних шляхів, проведення штучного дихання, зовнішнього масажу серця, зупинка кровотечі, іммобілізація місця перелому, накладання пов'язки і т.д.);
- підтримання основних життєвих функцій потерпілого до прибуття медичного персоналу;
- виклик швидкої медичної допомоги або лікаря або вжиття заходів для транспортування потерпілого до найближчої лікувальної установи.

При певних навичках, володіючи собою, надаючий допомогу за хвилину повинен оцінити стан потерпілого і вирішити, в якому обсязі і порядку слід надавати йому допомогу. Якщо потерпілий знаходиться в несвідомому стані,

необхідно спостерігати за його диханням і у разі порушення дихання через западання язика висунути нижню щелепу вперед.

Для цього чотирма пальцями обох рук захоплюють нижню щелепу ззаду за кути і, упираючись великими пальцями в її край нижче кутів рота, відтягують і висувають вперед так, щоб нижні зуби стояли попереду верхніх. Підтримувати її в такому положенні слід до тих пір, поки не припиниться западання язика.

Якщо потерпілий дихає дуже рідко і судорожно, але в нього прощупується пульс, треба відразу ж почати робити штучне дихання.

Якщо у потерпілого відсутні свідомість, пульс, дихання, шкірний покрив синюшний, а зіниці розширені, слід негайно приступити до відновлення життєвих функцій організму шляхом проведення штучного дихання і зовнішнього масажу серця.

#### Висновок

Виконуючи усі вимоги по захисту ми огорожуємо себе від небезпеки, вчасно визначитись зоною аварії, нам дає час на ліквідування очагів. Необхідно пам'ятати, що безпека людини та навколишнього середовища в значній мірі знаходиться в руках самої людини. Тому суворе дотримання правил та вимог охорони праці на підприємстві надасть можливість уникнути нещасних випадків та аварій на виробництві.

## Список використаної літератури

1. Богданов С.М., Іванов О.П., Купріянов А.В. Холодильна техніка Властивості речовин: Довідник. Вид. 3-тє, перераб. та дод. М.: Агропромиздат, 1985. - 208 с.
2. Лагутін А. Е. Апарати холодильних установок: Том 1, Навчальний посібник, ОДАХ, 2003. - 141 с.
3. Мнацакан Г.К. Основи проектування холодильників: Навчальний посібник, ОДАХ. 2004. - 70 с.
4. Цінман М.М., Янюк В.Я. Холодильники для фруктів - М.: «Харчова промисловість», 1969. - 201 с.
5. Чумак І.Г., Кочетов В.П. та ін. Транспортування та зберігання тропічних плодів: Навчальний посібник. – Одеса. Рефпрінтінфо, 2004. - 12 с.

[illegible]

[illegible]

[illegible]