

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 фруктів місткістю
400 т. у м. Одеса

Здобувача

Вітман В.В.

4 курсу

ЕН-141 групи

Керівник

д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

Консультанти:

д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від

31.05.2024 р.

протокол № 12

Завідувач кафедри ХУКП

Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса - 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

«08» березня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Вітман Валентин Володимирович

1. Тема роботи Проект холодильника для зберігання фруктів місткістю 400 т. у м. Одеса

Затверджена наказом ОНТУ від 08.03.2024 р. наказ № 119-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 31.05.2024 р.

3. Вихідні дані роботи

Фруктосховище орієнтовною місткістю 400 тон. Розташування холодильника в м. Одеса. В трьох камерах з температурним режимом +5°C зберігання цитрусових. Огороджувальна конструкція холодильника (стіни, стеля) зроблена із 3-х шарових алюмінієвих сендвіч панелей. В якості робочої речовини буде використовуватись холодильний агент R404a. Система холодопостачання майбутнього холодильника децентралізована. Холодильні камери з РГС, коефіцієнт герметичності 0,025/добу.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Реферат, 1. Постановка завдань проекту, 2. Вибір і розрахунок теплоізоляційної та будівельної конструкції камер, 3. Визначення теплового навантаження камер, 4. Тепловий розрахунок холодильної системи, 5. Розрахунок повітроохолоджувача, 6. Розрахунок повітряного конденсатора, 7. Розрахунок магістральних трубопроводів, 8. Підбір компресорів, конденсаторів та допоміжного устаткування, 9 Охорона праці, Список використаної літератури, Специфікації.

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

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

| Розділ | Консультант | Підпис, дата | |
|---------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Охорона праці | д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г. | 20.05.2024 | 24.05.2024 |

7. Дата видачі завдання 08.03.2024 р.

Керівник Хмельнюк М.Г.

Завдання прийняв до виконання Вітман В.В.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|----|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1 | Реферат | 30.05-30.05.2024 | виконано |
| 2 | Постановка завдань проекту | 08.03-20.03.2024 | виконано |
| 3 | Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер | 20.03-25.04.2024 | виконано |
| 4 | Визначення теплового навантаження камер | 26.04-30.04.2024 | виконано |
| 5 | Тепловий розрахунок холодильної системи | 01.05-04.05.2024 | виконано |
| 6 | Розрахунок повітроохолоджувача | 05.05-10.05.2024 | виконано |
| 7 | Розрахунок повітряного конденсатора | 12.05-15.05.2024 | виконано |
| 8 | Розрахунок магістральних трубопроводів | 16.05-17.05.2024 | виконано |
| 9 | Підбір компресорів та допоміжного устаткування | 18.05-19.05.2024 | виконано |
| 10 | Охорона праці | 20.05-24.05.2024 | виконано |
| 11 | Список використаної літератури | 27.05-28.05.2024 | виконано |
| 12 | Специфікація | 28.05-29.05.2024 | виконано |
| 13 | Презентація в PowerPoint | 29.05-30.05.2024 | виконано |

Здобувач-дипломник Вітман В.В.

Керівник роботи Хмельнюк М.Г.

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 Вітман Валентин Володимирович

Реферат

Кваліфікаційна робота складається з: 92 сторінок тексту, 14 рисунків, 11 таблиць, 9 посилань на літературні джерела. В роботі вирішена задача розробки системи охолодження для камер зберігання фруктів місткістю 400 т. у м. Одеса.

Будівля фруктосховища одноповерхова з висотою камер 5 м, сітка колон 6 x 12 м. В 3-х камерах з температурним режимом $t_k=+5^{\circ}\text{C}$ та відносній вологості повітря $\phi_k=0.9$, передбачається тривале зберігання цитрусових. Дане фруктосховище повинне забезпечувати населення міста Одеса й окружні райони апельсинами та мандаринами, лимонами. Зберігання в регульованому газовому середовищі є технологією, яка дозволяє значно збільшити тривалість зберігання продукції і зберегти її якість.

В якості робочої речовини було прийнято холодильний агент R404a. Система холодопостачання спроектованого холодильника - децентралізована. Підібрано теплоізоляційну конструкцію на основі "Сендвіч" панелей, і, виходячи з повного завантаження камер, розраховано сумарні теплопритоки. Для забезпечення стійкої роботи системи холодопостачання були розраховані та підібрані високоефективні компресорні агрегати фірми Bitzer. Також були підібрані теплообмінні фірми Alfa-Laval.

Ключові слова: система охолодження, фруктосховище, цитрусові, R404a

Annotation

The qualification work consists of: 92 pages of text, 14 figures, 11 tables, 9 references to literary sources. The work solves the task of developing a cooling system for fruit storage chambers with a capacity of 400 tons in the city of Odesa.

The fruit storage building is one-story with a chamber height of 5 m, a grid of columns of 6 x 12 m. In 3 chambers with a temperature regime of $t_k=+5^{\circ}\text{C}$ and relative air humidity $\phi_k=0.9$, long-term storage of citrus fruits is expected. This fruit warehouse should provide the population of Odesa and surrounding areas with oranges, tangerines, and lemons. Storage in a controlled gas environment is a technology that allows you to significantly increase the duration of product storage and preserve its quality.

Refrigerant R404a was used as a working substance. The cooling system of the designed refrigerator is decentralized. A heat-insulating structure based on "Sandwich" panels was selected, and based on the full loading of the chambers, the total heat inflows were calculated. To ensure stable operation of the refrigeration system, highly efficient Bitzer compressor units were calculated and selected. Alfa-Laval heat exchange companies were also selected.

Key words: cooling system, fruit storage, citrus fruits, R404a.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>КРБ.ХУКП.1.119-03.1.13</i> | Арк. |
| | | | | | | 4 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ЗМІСТ

| | стор. |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Реферат | 4 |
| Вступ..... | 6 |
| 1 Постановка завдань проекту | 7 |
| 1.1 Створення контрольованого газового середовища в камерах зберігання цитрусових..... | 9 |
| 1.2 Зберігання цитрусових в контрольованій атмосфері..... | 10 |
| 2 Вибір і розрахунок теплоізоляційної та будівельної конструкції камер..... | 17 |
| 2.1 Розрахунок будівельної площі камер | 17 |
| 2.2 Визначення коефіцієнтів теплопередачі огорож | 18 |
| 3 Визначення теплового навантаження камер | 21 |
| 3.1 Розрахунок теплоприпливів скрізь огорожі..... | 21 |
| 3.2 Розрахунок теплопритоков від вантажів при їх холодильній обробці | 23 |
| 3.3. Розрахунок теплоприпливів при вентиляції камери | 25 |
| 3.4. Розрахунок експлуатаційних теплопритоков | 25 |
| 4 Тепловий розрахунок холодильної системи..... | 30 |
| 5 Розрахунок повітроохолоджувача..... | 34 |
| 6 Розрахунок повітряного конденсатора..... | 53 |
| 7 Розрахунок магістральних трубопроводів..... | 59 |
| 8 Підбір компресоров, конденсаторів та допоміжного устаткування | 61 |
| 9 Охорона праці..... | 64 |
| Список використаної літератури | |
| Специфікація | |

| | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|---------------|--------|------|-------------------------------|-------|---------|
| | | | | | <i>КРБ.ХУКП.1.119-03.1.13</i> | | |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |
| Разраб. | | Вітман В.В. | | | Літ. | Аркуш | Аркушів |
| Перевір. | | Хмельнюк М.Г. | | | 5 | 92 | |
| Реценз. | | | | | ОНТУ гр. ЕН-141 | | |
| Н. Контр. | | Хмельнюк М.Г. | | | | | |
| Проект холодильника для зберігання зберігання фруктів місткістю 400 т. у м. Одеса | | | | | | | |

Вступ

Метою даної роботи є розробка проекту холодильника, призначеного для зберігання тропічних плодів у регульованому газовому середовищі місткістю 400 тон у місті Одеса.

Підтримка і поліпшення якості зібраного врожаю стає все більш актуальною і важливою задачею. Потреба ринку в наявності свіжих фруктів і овочів відмінної якості постійно зростає.

Зберігання в регульованому атмосфері є технологією, яка дозволяє значно збільшити тривалість зберігання продукції і зберегти її якість.

Термін «регульована атмосфера (РА)» (controlled atmosphere CA) є більш точним і правильним по відношенню до поширеного раніше терміну «регульована газове середовище» (РГС). В даний час в літературі ми можемо зустріти вживання термінів РА і РГС. Однак, з огляду на поширеність, в цій статті ми будемо зберігати абревіатуру РГС, маючи на увазі під нею «регульовану атмосферу».

Суть технології зберігання в РГС полягає у створенні середовища зберігання з певними характеристиками, які враховують:

- температурний режим зберігання;
- відносну вологість повітря;
- склад атмосфери в камері схову, зокрема, вміст у ній кисню і вуглекислого газу.

Вміст кисню в звичайній атмосфері становить близько 21%, азоту 78%, вуглекислого газу 0,03%.

Плоди, поміщені в замкнуту середу, завдяки природному дихальному обміну змінюють парціальний тиск CO₂ і кисню в навколишній атмосфері. У міру зберігання плодів кількість кисню в атмосфері знижується і, відповідно, знижується його парціальний тиск. У зв'язку з цим дихання плодів сповільнюється. Концентрація CO₂ при цьому зростає.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>КРБ.ХУКП.1.119-03.1.13</i> | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1 Постановка завдань проекту

На продовження термінів зберігання продукції можуть впливати різні комбінації вмісту кисню і CO₂.

Зниження вмісту кисню при зберіганні фруктів, овочів і квітів впливає на наступні фактори:

- зниження інтенсивності дихання;
- зменшення окислення;
- уповільнення дозрівання;
- збільшення тривалості зберігання;
- затримка розпаду хлорофілу;
- зниження ступеня освіти етилену;
- зміна жирового і кислотного синтезу;
- зменшення ступеня руйнування розчинних пектинів;
- освіти небажаних запахів;
- зміна структури тканин;
- розвиток фізіологічних хвороб.

Відповідно, підвищений вміст CO₂ впливає на:

- уповільнення синтетичних реакцій в клімактеричний період;
- затримку початку дозрівання;
- гальмування деяких ферментативних реакцій;
- зниження освіти деяких органічних летких сполук;
- зміна процесів метаболізму органічних кислот;
- зменшення ступеня розпаду пектинових утворень;
- затримку розпаду хлорофілу;
- освіти смаку і аромату;
- розвиток фізіологічних хвороб;
- зниження грибкових утворень;
- придушення впливу етилену;
- зміни у вмісті цукру (картопля);
- затримку розвитку після збору врожаю;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>КРБ.ХУКП.1.119-03.1.13</i> | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- збереження м'якості;
- зменшення рівня зміни кольору.
- Переваги регульованої атмосфери

У регульованою атмосфері, в порівнянні зі зберіганням у звичайному повітряному середовищі, краще зберігається якість плодів, довше зберігається зелене забарвлення, сповільнюються гідролітичні процеси розпаду протопектину (плоди довше залишаються твердими). CO₂ і кисень впливають також на біосинтез етилену в плодах і його біологічну дію на процеси дозрівання.

На тривалість зберігання впливають такі фактори, як:

- вид продукції;
- сорт продукції;
- концентрація газів в камері;
- температура продукту;
- ступінь зрілості продукту під час збору врожаю;
- умови вирощування;
- присутність етилену в камері.

Широке поширення останнім часом набула технологія зберігання з ультранизким вмістом кисню ULO (Ultra Low Oxygen) .. Встановлено, що при нізкокислородном зберіганні (вміст кисню в камері менше 1-1,5%, вміст CO₂ 0-2%) краще зберігаються твердість, свіжість, кислотність плодів, знижується або повністю усувається можливість ураження засмагою.

Для деяких плодів з успіхом застосовується традиційна технологія (Traditional Controlled Atmosphere) з вмістом кисню 3-4%, вуглекислого газу 3-5%.

Існує також технологія шокової обробки вуглекислим газом (CO₂ shock treatment), коли перед початком зберігання плоди піддаються протягом певного часу впливу атмосфери з підвищеним (до 30%) вмістом CO₂. Така обробка сприяє затримці дозрівання, зберігає свіжість, уповільнює процеси гниття, зменшує утворення засмаги.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>КРБ.ХУКП.1.119-03.1.13</i> | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Зберігання в РГС можна застосовувати для різних типів фруктів, овочів, квітів. При цьому умови зберігання завжди краще, ніж в звичайному середовищі. Іноді РГС не застосовується через те, що тривалість зберігання дуже мала в порівнянні з періодом комерціалізації.

1.1 Створення контрольованого газового середовища в камерах зберігання цитрусових.

У країнах світу при розвиненні сільського господарства для успішного розвитку садівництва та підвищення його економічної ефективності все більше уваги приділяється вирішенню питань тривалого зберігання плодової продукції в місцях її вирощування.

Світовий досвід показує, що одним з найбільш ефективних методів є холодильне зберігання плодової продукції в регульованому газовому середовищі (РГС).

Зараз у розвинутих країнах світу кількість продукції, яка зберігається в холодильниках плодоовочесховищах з застосуванням регульованого газового середовища (РГС), відносно до загального обсягу зберігання продукції, складає:

- у Великобританії — 70 – 80 %.
- Нідерландах — більше 50 %;
- в Італії, Франції, Бельгії — 35–45 %;
- у США — 38 %;
- в Австралії — 20 %;

В рекомендаціях ISO (International Standard Organization) запропоновано чотири основні типи газових сумішей для зберігання фруктів та овочів в холодильних камерах з РГС (таб 1.1). Субнормальні суміші вважають такими, в яких наявність обох компонентів в сумі складає менш 21 % за рахунок збільшення доли N₂.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>КРБ.ХУКП.1.119-03.1.13</i> | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Застосування технології зберігання в РГС дозволяє значно продовжити строки зберігання (яблука — до 12 місяців, груші — до 9).

Таблиця 1.1. Типи газових сумішей для зберігання фруктів та овочів в холодильних камерах з РГС

| Тип суміші | Концентрація, % | | |
|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | O ₂ | CO ₂ | N ₂ |
| I – субнормальна | 3 | 5 | 92 |
| II – нормальна | 11 | 10 | 79 |
| III – субнормальна | 3 | 0 | 97 |
| IV – нормальна | 12 – 16 | 5 – 9 | Всі інші |

Нормальні суміші є такими, в яких O₂ і CO₂ в сумі складає 21 %.

В них при постійному вмісті азоту N₂ відбувається заміна кисню O₂ на вуглекислий газ CO₂.

При цьому різко зменшуються натуральні втрати маси, краще зберігаються смакові та лікувальні властивості плодів, зовнішній вигляд, соковитість та пружність м'якоті.

Зберігання в РГС дозволяє підтримувати більш високі температури в камері, що дає можливість значно зменшити енерговитрати на виробництво холоду, а в окремих випадках зовсім відмовитися від його застосування.

Для утворення та підтримання у вантажному обсязі необхідного складу газового середовища застосовують такі методи:

- утворення модифікованого газового середовища (МГС) на основі використання герметичних упакувань з плівки з вибірковою газопроникністю, що дозволяє здійснювати саморегулювання газового складу в пакунках самою плодовою продукцією;

- утворення газового середовища, при якому в холодильну камеру подається рідкий азот, який при переході в газовий стан, поглинає тепло та витісняє кисень;

- забезпечення підтримання необхідного складу газового середовища в камері здійснюється шляхом його його рециркуляції скрізь газогенератори, очищуючі скрубери та декарбонізатори;

- при застосуванні негерметичної холодильної камери регульоване газове середовище надається в камеру після газогенератора, утворює в ній надлишковий тиск та, змінивши склад, залишає камеру скрізь вентиляційні отвори;

- на вході в газогенератор частина рециркулюючого повітря змішується з зовнішнім;

- для утворення потрібної газової суміші використовується не спалювання природного газу та його очистка, а розділення газу в дифузійних апаратах;

З цих методів перший та останній є найбільш перспективними, бо при їх використанні відсутня необхідність в спалюванні природного газу та витрата електроенергії суттєво знижується.

В Одеській державній академії холоду запропонований новий спосіб утворення та підтримання складу РГС, при якому спалюють не природний газ, а біогаз, отриманий з відходів сільськогосподарської продукції в процесі анаеробного бродіння.

Таке рішення дозволяє використовувати теплоту спалювання біогазу для опалення холодильних камер та підсобних приміщень в зимовий час, а також отримати чисті добрива для садового господарства.

Зберігання фруктів та винограду в холодильниках з РГС, як правило, має відбуватися в субнормальних газових середовищах.

Допустимі коливання складу газового середовища не повинні перевищувати ± 1 %. Холодильні камери з РГС повинні мати розраховану величину коефіцієнта герметичності 0,025 1/добу (0,001 1/год).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>КРБ.ХУКП.1.119-03.1.13</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 11 |

1.2 Зберігання цитрусових в контрольованій атмосфері.

Зберігання цитрусових можливо в контрольованій атмосфері (КА) з наднизьким вмістом кисню. Від якості продукту, а також від кліматичних умов, ґрунту, часу збору врожаю, догляду за продуктом, залежить термін його зберігання.

Нижче представлені деякі з цитрусових, які можуть довго зберігатися: апельсин, грейпфрут, лимон, лайм, мандарин.

Зберігання можливо в промислових холодильних камерах.

Необхідна для цього обладнання: генератор азоту, адсорбер CO₂, конвертер етилену, устаткування для вимірювання газу.



Рис. 1.1 Генератор азоту

Добір генератору азоту.

Генератор отримує азот з повітря, і той поступає в напірний резервуар. По трубопроводу азот надходить до окремих коробки і, коли необхідно

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>КРБ.ХУКП.1.119-03.1.13</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 12 |

знизити рівень кисню в камері схову, автоматично включається по сигналу.

Генератори виробляють азот з чистотою від 95% до 99% методом молекулярного поділу стисненого повітря за допомогою гвинтового компресора.

Вони використовуються для швидкого зниження рівня кисню в камерах зберігання, одночасно уникаючи формування CO₂ і для встановлення нормальних умов зберігання (навіть ULO) у відкритих камерах для часткового продажу продуктів.

Генератори азоту використовуються в галузях де потрібно "екологічний" азот, без відходів згоряння (CO₂, CO, NO_x, SO₂, C₂H₂, і т.д.), доступні в двох версіях: пересувні або нерухомо закріплені (на борту судна, в контейнерах , і т.д.).

Мембранні генератори компанії Fruit Control використовують виключно чистий принцип роботи (єдиним відходом є суміш повітря і кисню) і можуть досягти високі показники продуктивності.

Характеристика генератору азоту:

Виробництво азоту – 40 м³/год;

Потужність генератору – 0,8 кВт;

Потужність компресору – 15 кВт.

Генератор виробляє харчовий азот E941 відповідно до стандарту EIGA Food, і до законодавства 2000/63 / CE, 95/2 / UE e 178/2002 / UE.

Добір скрубера CO₂

Регулювання складу газового середовища в холодильних камерах проводиться за допомогою скрубера - спеціальних очищувачів, що поглинають надлишок CO₂. У скрубери повітря з камери може циркулювати по замкнутому колу, підтримуючи вміст CO₂, до 3-5%.

Вуглекислий газ, поглинений скруберами, заміщається майже таким же

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>КРБ.ХУКП.1.119-03.1.13</i> | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

об'ємом повітря і, завдяки цьому концентрація кисню в камері досягає необхідного рівня.

Для швидкого створення потрібного газового режиму в камеру вводять велику кількість азоту, і тоді концентрація кисню в атмосфері камери швидко знижується до потрібного рівня.



Рис. 1.2 Скрубер CO₂

Характеристика скрубера:

Кількість абсорбованого CO₂ (3% концентрація) – 200 кг/год;

Потужність скрубера – 2,53 кВт;

Добір каталітичного конвертеру етилену

Конвертери – це каталітичні реактори призначені для зниження концентрації етилену в камерах зберігання з нормальним і регульованим газовим середовищем.

Використовуючи конвертери можливо підтримувати такі концентрації етилену:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>КРБ.ХУКП.1.119-03.1.13</i> | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- В камерах зберігання і регульованою середовища для яблук: $<1 \div 5$ ppm
- В камерах для цитрусових продуктів, груш і зелені: $0,05 \div 0,1$ ppm
- В камерах для ківі: $<0,02$ ppm

Конвертери етилену також допоможуть:

- Призупинити процес дозрівання збережених продуктів і фізіопатологічний ефект етилену.
- Підтримувати низький рівень бактерій завдяки термічному ефекту в реакторі.
- Не впливати на термобаланс камер зберігання.



Рис. 1.3 Каталітичний конвертер етилену

Характеристика каталітичного конвертеру:

Продуктивність – $150 \text{ м}^3/\text{год}$;

Споживана потужність – $1,1 \text{ кВт}$.

Додаткове устаткування.

Система управління.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
| | | | | | <i>КРБ.ХУКП.1.119-03.1.13</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 15 |

Система управління вимірює і реєструє рівень O₂ і CO₂ і управляє роботою скрубберів CO₂ і O₂. На додаток до цього аналогічна система може управляти охолодженням (включення і виключення, оттайка, управління машинним відділенням), проводити виміри етилену і управляти перетворювачем етилену.

Система зволоження.

Фрукти, які зберігаються в камерах з PГС / ULO, завжди втрачають вологу. Втрати вологи знижуються, якщо RH (відносна вологість) підтримується на рівні 90%. Холод забирає воду з атмосфери, тим самим, обмежуючи тривалість зберігання і знижуючи якість продуктів. Система зволоження дозволяє підтримувати відносну вологість на необхідному рівні.

Гнучкий буфер (також носить назву «легкі») мінімізує різницю тисків в холодильній камера без введення кисню.

Клапани високого та низького тиску забезпечують вирівнювання різниці тисків, що перевищує норму (яка не може бути відрегульована повітряним буфером), і збереження камер неушкодженою.

Міжнародні норми витоку газу для камер з PГС / ULO

Існують суворі міжнародні стандарти, що визначають допустимі витоку газу в холодильних камерах з PГС / ULO (з розрахунку в м² на 100 м³ поверхні витоку). Зберігання в PГС неможливо при відсутності подібних норм. Перед введенням в експлуатацію холодильні камери перевіряють пристосуванням для виявлення витоків. При тестуванні необхідно ретельно перевіряти підлогу та двері на наявність витоків.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 16 |

2 Вибір і розрахунок теплоізоляційної та будівельної конструкції камер

2.1 Розрахунок будівельної площі камер

Дані для розрахунку:

Камери фруктосховища для зберігання плодів ($t_k = 0^\circ\text{C}$, $\varphi_k = 0.9$), розташованого в м. Одеса ($t_n = 32^\circ\text{C}$, $\varphi_n = 0.6$).

Фруктосховище для зберігання цитрусових (відповідно до ГОСТ 4427-82 і ГОСТ 4428-82, а також Рекомендації в галузі зберігання рослинницької продукції. Приймаємо температуру в камері при зберігання апельсинів та мандаринів $t_k = 5^\circ\text{C}$, відносну вологість повітря $\varphi_k=0.9$, лимонів $t_k = 5^\circ\text{C}$, відносну вологість повітря $\varphi_k=0.9$), розташоване в м. Одеса (відповідно до табл.6 [3] приймаємо розрахункову температуру зовнішнього повітря $t_n = 32^\circ\text{C}$, відносну вологість повітря $\varphi_n = 0.6$, орієнтовною місткістю $G=400$ тон.

Приймаємо норму завантаження для зберігання ягід в картонних ящиках (відповідно до табл. 1[3] $g_w = 0.40\text{т/м}^3$. Тоді вантажний об'єм складе:

$$V_{\text{гр}} = \frac{E}{q_v} = \frac{400}{0,40} = 1000 \text{ м}^3 \quad (2.1)$$

Вантажна площа:

$$F_{\text{гр}} = \frac{V_{\text{гр}}}{h_{\text{гр}}} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

Будівельна площа:

$$F_{\text{стр}} = \frac{F_{\text{гр}}}{\beta} = \frac{250}{0,85} = 290 \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

де β - коефіцієнт використання окремої площі.

Кількість будівельних прямокутників (приймаємо сітку колон 6×12 м.)

$$n_{\text{стр}} = \frac{F_{\text{стр}}}{f_{\text{стр}}} = \frac{290}{72} = 3,9 \quad (2.4)$$

приймаємо $n_{\text{стр}}^0 = 12$, де $f_{\text{стр}} = 6 \times 12 = 72 \text{ м}^2$ - площа одного будівельного трикутника. Дійсна ємкість холодильника полягає:

$$E^{\text{д}} = E * \frac{n_{\text{стр}}^{\text{д}}}{n_{\text{стр}}} = 400 * \frac{4}{3,9} = 410 \text{ тонн} \quad (2.5)$$

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

2.2 Визначення коефіцієнтів теплопередачі огорож

Коефіцієнти теплопередачі стін.

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін камери для зберігання лохини:

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

$$K_{nc} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+0)} = 0.385 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін камери для зберігання чорниці:

$$K_{nc} = 0.16 \cdot e^{0.022(40-1)} = 0.377 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі стелі з горищем в камері для зберігання лохини:

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

$$K_{шт} = 1.05 \cdot 0.385 = 0.41 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі стелі з горищем в камері для зберігання чорниці:

$$K_{шт} = 1.05 \cdot 0.377 = 0.40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі внутрішніх стін і перегородок в камерах зберігання лохини:

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

$$K_{вс} = 1.18 \cdot 0.385 = 0.45 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі внутрішніх стін і перегородок в камерах зберігання чорниці:

$$K_{вс} = 1.18 \cdot 0.377 = 0.44 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

Товщина ізоляційного шару:

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 18 |

де K – відповідний коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$;

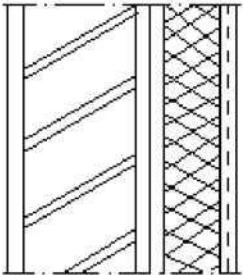
α_n, α_k – розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі із зовнішньої і внутрішньої сторін огорожі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$;

δ_i и λ_i – товщина і коефіцієнт теплопровідності кожного будівельного шару;

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

Вибір ізоляційної конструкції огорож і розрахунок товщини теплової ізоляції огорож.

Зовнішня стіна:

|  | Найменування і матеріал шару | δ , м | λ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------|
| | 1. Штукатурка складним розчином по металевій стінці | 0.02 | 0.98 |
| 2. Теплоізоляція пінополіуретан | ? | 0.022 | |
| 3. Пароізоляція – два шару гидроізола 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 $\alpha_n=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, $\alpha_k=11 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, $k_{\text{ис}}=0.4 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$

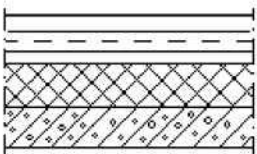
$\delta_{\text{из}}=(1/0.43-(1/23+0.02/0.98+0.004/0.3+0.38/0.81+0.02/0.93+1/9))\cdot 0.022=$
 $=0.094 \text{ м}$, приймаємо $\delta_{\text{из}}=0.100 \text{ м}$.

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$k_{\text{ис}}=1/(1/23+1/11+(0.02+0.013+0.022+0.469+0.22+0.100/0.022))=$
 $=0.18 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

Товщина зовнішньої стінки: $\delta=0.544 \text{ м}$.

Стеля:

|  | Найменування і матеріал шару | δ , м | λ , 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 пергаміну) | 0.001 | 0.15 |
| | 4. Плиткова теплоізоляція пінополіуретан | ? | 0.022 |
| | 5. Залізобетонна плита покриття | 0.035 | 2.04 |

Приймаємо $\alpha_n=23$ Вт/(м²К), $\alpha_k=11$ Вт/(м²К), $k_{шт}=0.42$ Вт/(м²К)

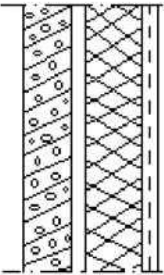
$$\delta_{из} = (1/0.42 - (1/23 + 0.012/0.3 + 0.04/1.86 + 0.001/0.15 + 0.035/2.04 + 1/11)) \cdot 0.022 = 0.086 \text{ м, приймаємо } \delta_{из} = 0.100 \text{ м.}$$

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{шт}' = 1 / (1/23 + 1/11 + (0.079 + 0.100/0.022)) = 0.20 \text{ Вт/(м}^2\text{К).}$$

Товщина стелі: $\delta = 0.188$ м.

Внутрішні перегородки:

|  | Найменування і матеріал шару | δ , м | λ , Вт/(м*К) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------|----------------------|
| | 1. Залізобетон плита | 0.08 | 1.86 |
| | 2. Пароізоляція - два шару гідроізола на бітумній основі | 0.004 | 0.3 |
| | 3. Теплоізоляційна плита пінополіуретан | ? | 0.022 |
| | 4. Штукатурка складним розчином | 0.02 | 0.98 |

Приймаємо $\alpha_k=11$ Вт/(м²К), $\alpha_{шт}=8$ Вт/(м²К), $k_n=0.47$ Вт/м²·К

$$\delta_{из} = (1/0.47 - (1/9 + 0.08/1.86 + 0.004/0.3 + 0.02/0.98 + 1/8)) \cdot 0.022 = 0.071 \text{ м,}$$

приймаємо $\delta_{из} = 0.080$ м.

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{0д} = 1 / (1/8 + 0.08/1.86 + 0.004/0.3 + 0.02/0.98 + 0.080/0.022 + 1/11) = 0.25 \text{ Вт/м}^2\text{·К.}$$

Товщина внутрішньої стінки: $\delta = 0.184$ м

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 20 |

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 теплоприпливів скрізь огорожі.

Теплоприплив скрізь огорожу визначається по формулі:

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

де k – розрахунковий коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²К);

F – площа огорожі, м²;

Δt – різниця між зовнішньою і внутрішньою температурою;

Δt_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 – розрахункова напруга сонячного випромінювання для літнього періоду, Вт/м²;

ε_c – коеф. поглинання сол. випромінювання поверхнею огорожі;

α_n – коефіцієнт тепловіддачі від нагрітої сонцем поверхні в навколишнє середовище, Вт/(м²К).

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 21 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Відповідно до прийнятого плану холодильника сонячні теплопритоки поступають до західної стіни (камера №1) і через дах. Південні стіни захищені критою рампою, східна граничить з компресорним цехом, сонячні теплопритоки до північних стін відсутні.

Підбираємо коефіцієнти $\varepsilon=0.4$ (стіни покриті світлою штукатуркою), $\varepsilon=0.65$ (крівля покрита оцинкованим залізом), $\rho=0.75$ (масивна конструкція), для західної стіни $q_c=461 \text{ Вт/м}^2$, для даху $q_c=789 \text{ Вт/м}^2$, $\alpha=23 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ [3].

Для південної стіни $\Delta t_c=0.75 \cdot 384 \cdot 0.4/23=5 \text{ }^\circ\text{C}$

Для кривлі $\Delta t_c=0.75 \cdot 789 \cdot 0.65/23=16.7 \text{ }^\circ\text{C}$

Підлога не обігривається, тому визначення теплопритоків через ґрунт ведеться позонно:

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

де F_i – площі відповідних зон, м^2 ;

k_{yc} – коефіцієнт теплопередачі відповідної 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 м^2 (один угол). Умовні коефіцієнти теплопередачі по зонах приймаємо $0.48; 0.24; 0.12; 0.07 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ відповідно до довідкових даних.

Таблиця 3.1 – Розрахунок підлоги по зонах

| | 1-я зона, $F_1, \text{ м}^2$ | 2-я зона, $F_1, \text{ м}^2$ | 3-я зона, $F_1, \text{ м}^2$ | 4-я зона, $F_1, \text{ м}^2$ | $\sum_{i=1}^4 (k_{yc})_i F_i, \text{ Вт/К}$ |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|
| Камера №1 | 64 | 52 | 40 | 28 | 48,8 |
| Камера №2 | 64 | 52 | 40 | 28 | 48,8 |
| Камера №3 | 64 | 52 | 40 | 28 | 48,8 |
| Камера №4 | 64 | 52 | 40 | 28 | 48,8 |

Теплопритоки через підлогу, що не обігривається:

$$Q_{п1}=(32-0) \cdot (0.48 \cdot 64+0.24 \cdot 52+0.12 \cdot 40+0.07 \cdot 28)= 1800 \text{ Вт.}$$

$$Q_{п2}=(32-0) \cdot (0.48 \cdot 64+0.24 \cdot 52+0.12 \cdot 40+0.07 \cdot 28)= 2200 \text{ Вт.}$$

$$Q_{п3}=(31-(-1)) \cdot (0.48 \cdot 64+0.24 \cdot 52+0.12 \cdot 40+0.07 \cdot 28)= 2300 \text{ Вт.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 22 |

$$Q_{н4}=(31-(-1))\cdot(0.48\cdot64+0.24\cdot52+0.12\cdot40+0.07\cdot28)=1900 \text{ Вт.}$$

Таблиця 3.2 – Теплоприпливи скрізь огорожі

| | K, Вт/(м²К) | F, м² | tк, °С | tн, °С | Δtc, °С | Q1, Вт |
|--------------------------------------------|-------------|-------|--------|--------|---------|--------|
| Кам. №1 | | | | | | |
| Север | 0,37 | 78,8 | 5 | 32 | 0 | 787,2 |
| Запад | 0,37 | 78,8 | 5 | 32 | 6 | 962,2 |
| Юг | 0,37 | 78,8 | 5 | 32 | 0 | 787,2 |
| Восток | 0,47 | 78,8 | 5 | 5 | 0 | 0 |
| Пол | Кусл | 144 | 5 | 32 | 0 | 1050,3 |
| Потолок | 0,34 | 144 | 5 | 32 | 16,70 | 2140 |
| Сумарні теплопритоки по камері №1, ΣQ1, Вт | | | | | | 5726,9 |
| Кам. №2 | | | | | | |
| Север | 0,37 | 78,8 | 5 | 32 | 0 | 787,2 |
| Запад | 0,47 | 78,8 | 5 | 5 | 0 | 0 |
| Юг | 0,37 | 78,8 | 5 | 32 | 0 | 787,2 |
| Восток | 0,34 | 78,8 | 5 | 5 | 0 | 0 |
| Пол | Кусл | 144 | 5 | 32 | 0 | 884,5 |
| Потолок | 0,34 | 144 | 5 | 32 | 16,70 | 2140 |
| Сумарні теплопритоки по камері №2, ΣQ1, Вт | | | | | | 4656,1 |
| Кам. №3 | | | | | | |
| Север | 0,37 | 78,8 | 5 | 32 | 0 | 787,2 |
| Запад | 0,47 | 78,8 | 5 | 5 | 0 | 0 |
| Юг | 0,37 | 78,8 | 5 | 32 | 0 | 787,2 |
| Восток | 0,34 | 78,8 | 5 | 7 | 0 | 53,6 |
| Пол | Кусл | 144 | 5 | 32 | 0 | 884,5 |
| Потолок | 0,34 | 144 | 5 | 32 | 16,70 | 2140 |
| Сумарні теплопритоки по камері №3, ΣQ1, Вт | | | | | | 4837 |
| Кам. №4 | | | | | | |
| Север | 0,37 | 78,8 | 7 | 32 | 0 | 728,9 |
| Запад | 0,47 | 78,8 | 7 | 5 | 0 | 74,1 |
| Юг | 0,37 | 78,8 | 7 | 32 | 0 | 728,9 |
| Восток | 0,47 | 78,8 | 7 | 18 | 0 | 407,4 |
| Пол | Кусл | 144 | 7 | 32 | 0 | 972,5 |
| Потолок | 0,34 | 144 | 7 | 32 | 16,70 | 2448 |
| Сумарні теплопритоки по камері №4, ΣQ1, Вт | | | | | | 5359,8 |

3.2 Розрахунок теплопритоков від вантажів при їх холодильній обробці.

Зберігання цитрусових відбувається в картоних закритих ящиках 622*396*168 (маса тари 1 кг, місткість 10 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.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 23 |

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:

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

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

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

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

Для апельсинів та мандаринів:

$$Q_{2гр} = 0.1 \cdot 300000 \cdot (328 - 290.5) / (3.6 \cdot 24) = 13020 \text{ Вт.}$$

Для лимонів:

$$Q_{2гр} = 0.1 \cdot 100000 \cdot (328 - 298.1) / (3.6 \cdot 24) = 3461 \text{ Вт.}$$

Теплоприпливи від тари, що поступає з вантажем, визначаються по формулі:

$$Q_{2тари} = 0.1 \cdot G_T \cdot C_T \cdot (t_1 - t_2) \quad [Вт], \quad (3.7)$$

де C_T – теплоємність тари, кДж/(кг·К);

G_T – маса тари, кг, приймаємо в кількості 10% від маси вантажу;

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

$$Q_{2тари} = 0.2 \cdot 0.1 \cdot 300000 \cdot 2.5 \cdot (15 - 5) / (3.6 \cdot 24) = 1736 \text{ Вт}$$

$$Q_{2тари} = 0.2 \cdot 0.1 \cdot 100000 \cdot 2.5 \cdot (15 - 7) / (3.6 \cdot 24) = 463 \text{ Вт.}$$

Загальний теплоприплив від обробки вантажу:

$$Q_2 = 13020 + 3461 + 1736 + 463 = 18680 \text{ Вт}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 24 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

3.3. Розрахунок теплоприпливів при вентиляції камери.

При вентиляції камери існують теплоприпливи від зовнішнього повітря, що поступає:

$$Q_3 = V_{\text{стр}} \cdot a \cdot \rho_k \cdot (h_n - h_k) \quad [\text{Вт}], \quad (3.8)$$

де $V_{\text{стр}}$ – будівельний об'єм камери, м^3 , $V_{\text{стр}} = 12 \cdot 12 \cdot 5,8 = 835,2 \text{ м}^3$;

a – кратність повітрообміну в добу, приймаємо $a = 4$;

ρ_k – щільність повітря при температурі і відносній вологості камери, $\text{кг}/\text{м}^3$, $\rho_k = 1,016 \text{ кг}/\text{м}^3$;

h_n, h_k – ентальпії повітря при температурі зовнішньою і камери, $\text{кДж}/\text{кг}$, $h_n = 74 \text{ кДж}/\text{кг}$, $h_k = 12 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Для апельсинів та мандаринів:

$$Q_3 = 835,2 \cdot 4 \cdot 1,016 \cdot (74 - 13,73) / (3,6 \cdot 24) = 2367,8 \text{ Вт}.$$

Для лимонів:

$$Q_3 = 835,2 \cdot 4 \cdot 1,016 \cdot (74 - 15,8) / (3,6 \cdot 24) = 2286,4 \text{ Вт}$$

3.4. Розрахунок експлуатаційних теплопритоков

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

де Q_4' – теплоприпливи від ел. освітлення, Вт ;

Q_4'' – теплоприпливи від електродвигунів, Вт ;

Q_4''' – теплоприпливи від працюючих людей, Вт ;

Q_4'''' – теплоприпливи при відкритті дверей, Вт .

Теплоприплив від електричного освітлення.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 25 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

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

де q_4' – норма щільності освітлення, приймаємо 3 Вт/м²;

$j_{св}$ – коефіцієнт одночасності роботи світильників, приймаємо $j_{св}=0,33$

$$Q_4' = 3 \cdot 0,33 \cdot 144 = 142,6 \text{ Вт}$$

Теплоприплив від електродвигунів повітроохолоджувачів.

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

де $j_{дв}$ – коефіцієнт одночасності роботи, приймаємо $j_{дв}=0,3$

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

Орієнтовано $\sum N_{дв}$ можна розрахувати як:

$$\sum N_{дв} = 1,2 \cdot m \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3), \text{ Вт} \quad (3.13)$$

де m – коефіцієнт відношення потужності електродвигуна до його холодопродуктивності, приймаємо $m=0,08$.

$$\sum N_{дв} = 1,2 \cdot 0,08 \cdot (20580 + 18680 + 7022) = 4443 \text{ Вт.}$$

$$Q_4'' = 0,3 \cdot 4443 = 1333 \text{ Вт}$$

Теплоприпливи від працюючих людей.

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

де n – кількість людей, що працюють в камері, приймаємо $n=3$.

Для апельсинів та мандаринів:

$$Q_4''' = (270 - 6 \cdot 5) \cdot 3 = 720 \text{ Вт.}$$

Для лимонів:

$$Q_4''' = (270 - 6 \cdot 7) \cdot 3 = 684 \text{ Вт.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 26 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Теплопритоки від інфільтрації через двері.

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

де V – витрати холоду при відкритті дверей Вт/м², приймаємо для камер площею 144 м² и будівельною висотою 5.8 м – $V=9$ Вт/м².

$$Q_4''' = 9 \cdot 144 = 1296 \text{ Вт.}$$

Таким чином, сумарні експлуатаційні теплопритоки:

Для апельсинів і мандаринів:

$$Q_4 = 142,6 + 1333 + 720 + 1296 = 3492 \text{ Вт};$$

Для лимонів:

$$Q_4 = 142,6 + 1333 + 684 + 1296 = 3456 \text{ Вт};$$

Теплоприпливи від дихання охолоджених плодів.

У режимі охолодження:

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

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, прийнято 10% для камер з регульованим газовим середовищем, $G_{\text{п}} = 0.1E$.

Тепловиділення плодів визначаються:

$$q_{\text{т}} = q_0 \cdot e^{bt} \text{ [Вт/т]}, \quad (3.17)$$

де q_0 – тепловиділення плодів при 0 °С;

b – температурний коефіцієнт швидкості дихання, °С⁻¹.

Для апельсинів та мандаринів:

$$t_{\text{п}} = 15 \text{ °С}: q_5' = 10.6 \cdot e^{0.0733 \cdot 15} = 31,8 \text{ Вт/т.}$$

$$t_{\text{п}} = 5 \text{ °С}: q_5'' = 10,6 \cdot e^{0.0733 \cdot 5} = 15.3 \text{ Вт/т.}$$

Для лимонів:

$$t_{\text{п}} = 15 \text{ °С}: q_5' = 11.2 \cdot e^{0.0718 \cdot 15} = 32,9 \text{ Вт/т.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 27 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

$$t_{11}=8\text{ }^{\circ}\text{C}; q_5''=11,2 \cdot e^{0,0718 \cdot 8}=19,9\text{ Вт/т.}$$

Теплопритоки від дихання охолоджених плодів:

Для апельсинів та мандаринів:

$$Q_5=31,8 \cdot 0,1 \cdot 67+15,3 \cdot (67-0,1 \cdot 67)=1135,7\text{ Вт.}$$

Для лимонів:

$$Q_5=32,9 \cdot 0,1 \cdot 67+19,9 \cdot (67-0,1 \cdot 67)=1420,4\text{ Вт.}$$

При визначенні сумарних теплопритоків по камерах для підбору устаткування, що охолоджує, приймаємо все теплопритоки у розмірі 100%.

Результати теплового розрахунку заносимо в звідну таблицю теплопритоків, враховуючи наступні особливості:

- теплове навантаження розраховане на одну камеру, тому при тепловому розрахунку, підборі компресорів і конденсаторів її необхідно буде збільшити по числу камер, тобто у вісім разів;
- навантаження на камерне устаткування визначаємо як суму всіх теплопритоків;
- оскільки навантаження в період збору фруктів, пов'язана з їх охолодженням, значно більше, чим при тривалому зберіганні, тому по навантаженню на компресора приймаємо $Q_2=0$;
- навантаження на компресори від експлуатаційних теплопритоків враховуємо в розмірі 75% від максимального значення.

Таблиця 3.3 – Звідна таблиця теплопритоків по камері на ПО

| | Q ₁ , Вт | Q ₂ , Вт | Q ₃ , Вт | Q ₄ , Вт | Q ₅ , Вт | ΣQ, Вт |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|
| Камера №1 | 5726,9 | 18680 | 2367,8 | 3492 | 1135,7 | 31402 |
| Камера №2 | 4656 | 18680 | 2367,8 | 3492 | 1135,7 | 30332 |
| Камера №3 | 4837 | 18680 | 2367,8 | 3492 | 1135,7 | 30513 |
| Камера №4 | 5359,8 | 18680 | 2286,4 | 3456 | 1420,4 | 31203 |

Як прилади охолодження в камерах використовуємо прістіно-стельові фреонові повітроохолоджувачі, для уніфікації устаткування по

максимальному навантаженню приймаємо в кожній камері по 2 повітроохолоджувача з холодопродуктивністю $Q_0=16$ кВт.

При визначенні сумарних теплопритоків по камерах для підбору компресорів, приймаємо теплопритоки від доохолодження вантажу та експлуатаційні теплопритоки у розмірі 50%, всі останні теплопритоки у розмірі 100%.

Таблиця 3.4 – Звідна таблиця теплоприпливів по камері на КМ

| | Q_1 , Вт | Q_2 , Вт | Q_3 , Вт | Q_4 , Вт | Q_5 , Вт | ΣQ , Вт |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|
| Камера №1 | 5726,9 | 9340 | 2367,8 | 1540,6 | 1135,7 | 20111 |
| Камера №2 | 4656 | 9340 | 2367,8 | 1540,6 | 1135,7 | 19040 |
| Камера №3 | 4837 | 9340 | 2367,8 | 1540,6 | 1135,7 | 19221 |
| Камера №4 | 5359,8 | 9340 | 2286,4 | 1540,6 | 1420,4 | 19947 |

Таким чином, сумарне навантаження на компресори по всіх камерах:

$$\Sigma Q_k = 20111 + 19040 + 19221 + 19947 = 78319 \text{ Вт}$$

4 Тепловий розрахунок холодильної системи

Теплове навантаження на компресора визначимо з урахуванням втрат в системі при безпосередньому охолодженні у розмірі 7 % і коефіцієнта робочого часу 0.85 [3]: $\Sigma Q_{0 \text{ комп}} = 1.07 \cdot 79 / 0.85 = 99 \text{ кВт}$.

Для забезпечення ступінчатого регулювання продуктивності і рівномірного вироблення моторесурсу приймаємо для забезпечення заданої холодопродуктивності 3 компресори, які підключені на загальні лінії нагнітання і всмоктування в режимі мультисистеми. Необхідна холодопродуктивність одного компресора: $Q_{0 \text{ комп}} = 33 \text{ кВт}$.

Тепловий розрахунок буде проводитися за наступними даними:

- температура кипіння R404a $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$;
- потрібна холодопродуктивність $Q_{0 \text{ комп}} = 33 \text{ кВт}$;
- температура конденсації агента $t_k = 42 \text{ }^\circ\text{C}$;
- сумарний перегрів на всмоктуванні $\Theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- переохолодження після конденсатора $\Delta t_{\text{лю}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$;

lg p

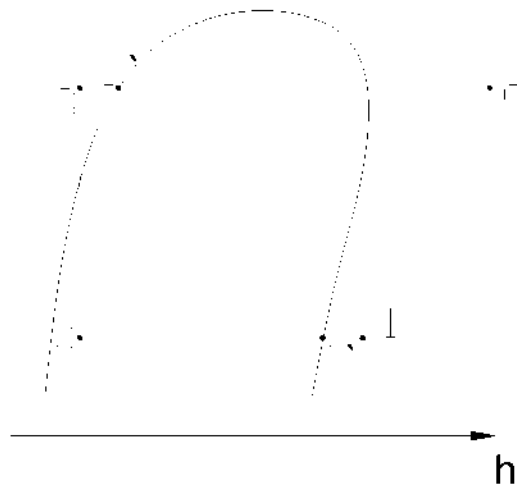


рис. 4.1 – Термодинамічний цикл холодильної машини

Процеси, відбиті в циклі:

- 1-2 – стискування в компресорі;
- 2-3 – конденсація;
- 3-4 – дроселювання агента;

| | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|------|
| | | | | | Лист |
| | | | | | 30 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | |

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, °C | 0 | 20 | 64,7 | 37 | -0,3 |
| P, бар | 6,2 | 6,2 | 19,6 | 19,6 | 6,2 |
| h, кДж/кг | 362,1 | 382 | 407 | 255 | 255 |
| v, м ³ /кг | - | 0.0345 | - | - | |

Питомі характеристики циклу:

- питома масова продуктивність:

$$q_0 = h_1 - h_4 = 362,1 - 255 = 107,1 \text{ кДж/кг} \quad (4.1)$$

- питома об'ємна продуктивність

$$q_v = q_0 / v_1 = 107,1 / 0,0345 = 3104,3 \text{ кДж/м}^3 \quad (4.2)$$

- питома адиабатна робота стискування

$$l = h_2 - h_1 = 407 - 382 = 25 \text{ кДж/кг} \quad (4.3)$$

Масова витрата агента:

$$M_a = Q_0 / q_0 = 33 / 107,1 = 0.31 \text{ кг/с} \quad (4.4)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_d = M_a \cdot v_1 = 0.31 \cdot 0.0345 = 0.011 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.5)$$

Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda_c = 1 - 0.03 \cdot [(P_k / P_0)^{1/m} - 1] = 1 - 0.03 \cdot [(19,6 / 6,2) - 1] = 0.935 \quad (4.6)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 31 |

$$\lambda'_w = (T_0 + \Theta) / (\alpha \cdot T_k + \beta \cdot \Theta) = (273 + 20) / (1.12 \cdot 315 + 0.5 \cdot 20) = 0.81 \quad (4.7)$$

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda'_w = 0.916 \cdot 0.79 = 0.76 \quad (4.8)$$

Об'єм, описаний поршнями компресора:

$$V_h = V_d / \lambda = 0.011 / 0.76 = 0.0145 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.9)$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = M_a \cdot l = 0.31 \cdot 25 = 7,75 \text{ кВт} \quad (4.10)$$

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = N_a / (\lambda'_w + b \cdot t_0) = 7,75 / (0.81 - 8 \cdot 0.0025) = 9,8 \text{ кВт} \quad (4.11)$$

Потужність тертя:

$$N_{ip} = V_h \cdot P_{ip} = 0.0145 \cdot 40 = 0,58 \text{ кВт}, \quad (4.12)$$

де P_{ip} - середній тиск тертя, приймаємо для фреонових компресорів

$P_{ip} = 40 \text{ кПа}$.

Ефективна потужність компресора:

$$N_c = N_i + N_{ip} = 9,8 + 0,58 = 10,4 \text{ кВт} \quad (4.13)$$

Електрична потужність компресора:

$$N_{эл} = N_c / \eta_{эл} = 10,4 / 0,9 = 11,6 \text{ кВт}, \quad (4.14)$$

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 32 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Таблиця 4.2 – Результати теплового розрахунку

| Параметри | |
|---------------------------------------------------|----------|
| Холодопродуктивність, кВт | 33 |
| Температура кипіння °С | 0 |
| Температура конденсації °С | 42 |
| Перегрів °С | 20 |
| Переохолодження в конденсаторі °С | 5 |
| Тиск кипіння/конденсації, бар | 6,2/19,6 |
| Теор. об'єм, описаний поршнями, м ³ /с | 0.0145 |
| Адіабатна потужність компресора, кВт | 7,75 |
| Електрична потужність компресора, кВт | 11,6 |

5 Розрахунок повітроохолоджувача

У розрахунку використовуються наступні дані:

- холодопродуктивність апарату $Q_0=16$ кВт;
- температура повітря камери $t_k=5$ °С;
- відносна вологість повітря камери $\phi_k=0.95$;
- 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 підстави $\delta_{ор}=0.002$ м, у вершини $\delta_{вр}=0.0006$ м діаметр ребра $D_p=0.063$ м;
- температура кипіння агента (R 404a) $t_0=0$ °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:

$$t_B=t_k-\Delta t=5-2=3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Середня температура повітря:

$$t_c=0.5 \cdot (t_k+t_B)=0.5 \cdot (5+3)=4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Задаємося середньою температурою поверхні п-ча, покритою інеєм:
 $t_{п}=-0.1$ °С.

По таблицях визначаємо вологосодержание насиченого повітря при: t_k -
 $d_k''=0.0052$ кг/кг; $t_{п}$ - $d_{п}''=0.004$ кг/кг; t_B - $d_B''=0.0045$ кг/кг.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 34 |

Влагосодержаніє повітря в камері при t_k по таблиці $d_k=0.0047$ кг/кг

Влагосодержаніє на виході з повітряохолоджувача:

$$d_B = d_k - (d_k - d_{п''}) \cdot (t_k - t_B) / (t_k - t_{п}) \quad [кг/кг] \quad (5.1)$$

$$d_B = 0.0047 - (0.0047 - 0.004) \cdot (5 - 3) / (5 + 0.1) = 0.0044 \text{ кг/кг.}$$

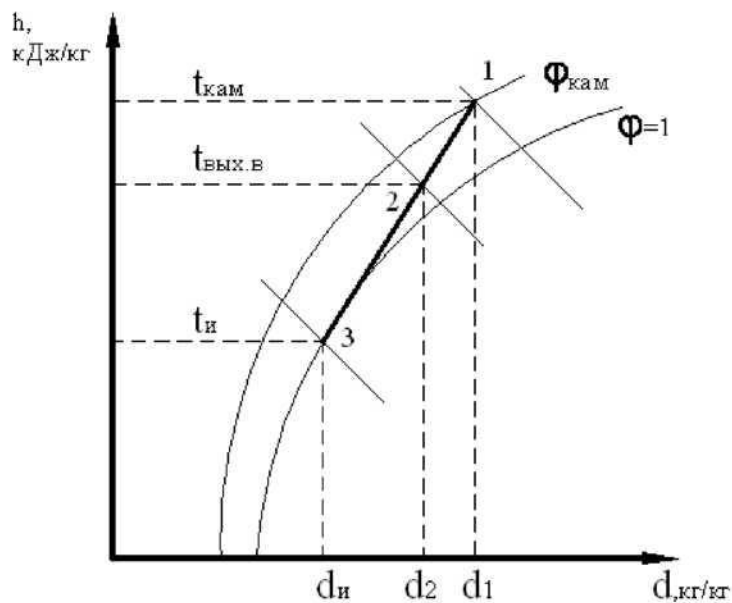


рис. 5.1 – Процес обробки повітря у повітряохолоджувачі в h-d діаграмі.

Відносна вологість на виході з апарату:

$$\varphi_B = d_B / d_{B''} = 0.0044 / 0.0045 = 0.97$$

Ентальпія повітря визначається по формулі:

$$h = 1.006 \cdot t + (2835 + 2.09 \cdot t) \cdot d \quad [кДж/кг] \quad (5.2)$$

$$h_k = 1.006 \cdot 5 + (2835 + 2.09 \cdot 5) \cdot 0.0052 = 19.8 \text{ кДж/кг}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 35 |

$$h_v=1.006 \cdot 3+(2835+2.09 \cdot 3) \cdot 0.0044=15.52 \text{ кДж/кг}$$

$$h_n=1.006 \cdot (-0.1)+(2835+2.09 \cdot (-0.1)) \cdot 0.004=11.24 \text{ кДж/кг}$$

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 елемента.

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 елемента:

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

Повна зовнішня поверхня ребристого елемента:

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

Коефіцієнт обребрення:

$$\beta=f_n/f_{вн}=6.1/0.4=15.2$$

Ступінь обребрення:

$$\phi=f_n/(\pi \cdot d_n \cdot u)=6.1/(\pi \cdot 0.02 \cdot 0.008)=12.14$$

Умовний ступінь обребрення:

$$\beta_n=f_n/f_{тр}=6.1/0.38=16.19$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 36 |

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:

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

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:

$$\beta_i=f_i/f_{ви}=7/0.4=17.3$$

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 $\nu_v=13.54 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- коефіцієнт теплопровідності $\lambda_v=0.0246 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- число Прандтля $Pr_v=0.707$;
- щільність $\rho_v=1.279 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Коефіцієнт вологи випадення визначається по формулі:

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 37 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

$$\xi=1+(d_k'' \cdot \varphi_k - d_n'') \cdot (2835 - 2.09 \cdot t_n) / [(1.006 + 1.87 \cdot d_n'') \cdot (t_k - t_n)] \quad (5.3)$$

$$\xi=1+(0.0052 \cdot 0.95 - 0.004) \cdot (2835 - 2.09 \cdot (-0.1)) / [(1.006 + 1.87 \cdot 0.004) \cdot (5 + 0.1)] = 1.516$$

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

Визначальний розмір:

$$L_0 = d_{II} / \beta_{II} + (1 - \beta_{II}^{-1}) [0.785 \cdot (D_p^2 - d_{II}^2)]^{0.5} \quad (5.4)$$

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

Число Рейнольдса:

$$Re_B = w_B \cdot L_0 / \nu_B \quad (5.5)$$

$$Re_B = 3 \cdot 0.051 / (13.54 \cdot 10^{-6}) = 11299$$

Число Нуссельта:

$$Nu_B = 0.18 \cdot C_s \cdot C_z \cdot Re_B^{0.65 \cdot \beta_{II}^{0.07}} \cdot \beta_{II}^{-0.7} \quad (5.6)$$

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

$$Nu_B = 0.18 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 11299^{0.65 \cdot 16.2^{0.07}} \cdot 16.2^{-0.7} = 24.9$$

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні повітряохолоджувача до повітря:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 38 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

$$\alpha_B = Nu_B \cdot \lambda_B / L_0 \quad (5.7)$$

$$\alpha_B = 24.9 \cdot 0.0246 / 0.051 = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{B \text{ пр}} = [(\alpha_B \cdot \xi)^{-1} + \delta_i / \lambda_i]^{-1} \quad (5.8)$$

$$\alpha_{B \text{ пр}} = [(12 \cdot 1.516)^{-1} + 0.0015 / 0.2]^{-1} = 16.2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Умовна висота ребра:

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

Безрозмірний комплекс

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

Коефіцієнт ефективності ребра:

$$E = [\tanh(mh')] / mh' \quad (5.9)$$

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

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 елемента:

$$\alpha_{B \text{ пр}}' = \alpha_{B \text{ пр}} \cdot (f_p \cdot E \cdot \psi + f_{\text{тр}}) / f_{\text{п}} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})] \quad (5.10)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 39 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

$$\alpha_{в\text{ пр}} = 16.2 \cdot (0.0057 \cdot 0.953 \cdot 0.977 + 0.0004) / 0.006 = 15.41 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби:

$$q_{в} = \alpha_{в} \cdot \xi \cdot \beta_i \cdot (t_c - t_{п}) \quad [\text{Вт}/\text{м}^2] \quad (5.11)$$

$$q_{в} = 15.41 \cdot 1.561 \cdot 17.34 \cdot (3 + 0.1) = 1293 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Коефіцієнт тепловіддачі в трубах апарату:

$$\alpha_0 = 32 \cdot \omega\rho^{0.47} \cdot q_{в}^{0.15} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})] \quad (5.12)$$

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

$$\alpha_0 = 32 \cdot 80^{0.47} \cdot 1293^{0.15} = 735,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні інею:

$$K_{ні} = [\beta_i / \alpha_0 + 1 / \alpha_{в\text{ пр}} + \phi \cdot (0.5 \cdot (d_H - d_{вн}) / \lambda_T)]^{-1} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})] \quad (5.13)$$

$$K_{ні} = [17.34 / 735,1 + 1 / 15.41 + 12.14 \cdot (0.5 \cdot (0.02 - 0.016) / 50)]^{-1} = 19.24 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні сухої поверхні:

$$K_H = K_{ні} \cdot \beta / \beta_i = 19.24 \cdot 15.17 / 17.34 = 18.1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Перевіряємо раніше прийняту температуру поверхні апарату:

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 40 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

- щільність теплового потоку, віднесена до зовнішньої поверхні інею:

$$q_H = K_{HI} \cdot (t_c - t_0) = 18.1 \cdot (3 - 0) = 45,3 \text{ Вт/м}^2;$$

- розрахункова різниця температур:

$$\Delta t_p = q_H / (\alpha_B \cdot \xi) = 45.3 / (15.41 \cdot 1.561) = 2.96 \text{ }^\circ\text{C};$$

- відносна погрішність прийнятої і розрахункової різниці температур:

$$\varepsilon = [|\Delta t_p - (t_c - t_n)| / \Delta t_p] \cdot 100\% = |[2.96 - (3 + 0.1)] / 2.96| \cdot 100\% = 4,73 \%$$

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

$$F_H = Q_0 / [K_{HI} \cdot (t_c - t_0)] = 16000 / (18.1 \cdot 3) = 223 \text{ м}^2$$

Компонувальний розрахунок повітроохолоджувача.

Об'ємна витрата повітря через повітроохолоджувач:

$$V_B = Q_0 \cdot 10^{-3} / [\rho_B \cdot (h_K - h_B)] \quad (5.14)$$

$$V_B = 16 / [1.279 \cdot (19.8 - 15,52)] = 2.92 \text{ м}^3/\text{с}$$

По графіках характеристик вентиляторів вибираємо два вентиляторі марки ВО-12-303-5 при орієнтовному натиску $H = 120 \text{ Па}$ з діаметром вентилятора $D_B = 0.5 \text{ м}$.

Мінімальний `живий` перетин повітроохолоджувача:

$$F_{ж} = V_B / w_B = 2.92 / 3 = 0.973 \text{ м}^2$$

Площа фронтального перетину повітроохолоджувача:

$$F_{\phi} = F_{ж} \cdot S_1 \cdot u / f_{ж} = 0.973 \cdot 0.069 \cdot 0.008 / 0.00044 = 1.22 \text{ м}^2$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 41 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

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

$$e = F_{\phi} / (0.25 \cdot \pi \cdot D_{в}^2) = 1.22 / (2 \cdot 0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.5^2) = 2.53$$

Орієнтовні геометричні розміри теплообмінної секції
повітроохолоджувача у фронтальному перетині:

- ширина $H' = (F_{\phi} / 2)^{0.5} = 1.22^{0.5} = 1.1$ м;

- довжина $L' = H' \cdot 2 = 1.7$ м;

Число труб у фронтальному перетині пучка з округленням до парного
цілого: $z_1 = H' / S_1 = 1.1 / 0.069 = 16$ шт

Дійсна ширина і довжина секції:

$$H = z_1 \cdot S_1 = 16 \cdot 0.069 = 1.1 \text{ м}$$

$$L = 2 \cdot F_{\phi} / H = 2 \cdot 1.22 / 1.1 = 1.6 \text{ м}$$

Кількість труб по ходу повітря з округленням до найближчого
більшого цілого: $z_2 = F_{\Pi} / [f_{\Pi} \cdot (F_{ж} / f_{ж})] = 223 / [0.0061 \cdot (0.973 / 0.00044)] = 13$ шт

Розрахункові параметри теплообмінної поверхні:

- сумарна довжина труб апарату:

$$\Sigma L = L \cdot z_1 \cdot z_2 = 1.6 \cdot 16 \cdot 13 = 332,5 \text{ м};$$

- площа зовнішньої поверхні:

$$F_{д} = \Sigma L \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot \beta = 332,5 \cdot 3.14 \cdot 0.016 \cdot 15.17 = 253,4 \text{ м}^2;$$

- глибина секції:

$$B = S_2 \cdot z_2 = 0.069 \cdot 13 = 0.897 \text{ м}.$$

Перевірка по аеродинамічному опору.

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

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 42 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

$$\Delta P = 0.26 \cdot C_Z \cdot C_L \cdot C_t \cdot (\omega \rho)^{1.92} \quad (5.15)$$

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

Коефіцієнт, що враховує лінійні розміри ребер:

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

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.

Для камери зберігання лимонів

У розрахунку використовуються наступні дані:

- холодопродуктивність апарату $Q_0 = 16 \text{ кВт}$;
- температура повітря камери $t_k = 7 \text{ }^\circ\text{C}$;
- відносна вологість повітря камери $\phi_k = 0.9$;
- швидкість повітря в живому перетині $V_B = 3 \text{ м/с}$;
- форма ребра – кругле;
- матеріал труб сталь $\lambda_{тр} = 50 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, $d_n = 0.02 \text{ м}$, $d_{вн} = 0.016 \text{ м}$;
- матеріал ребер алюміній $\lambda_p = 150 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$,
- крок ребер $u = 0.008 \text{ м}$, висота ребра $h_p = 0.02 \text{ м}$, товщина ребра у підстави $\delta_{ор} = 0.002 \text{ м}$, у вершини $\delta_{вр} = 0.0006 \text{ м}$ діаметр ребра $D_p = 0.063 \text{ м}$;
- температура кипіння агента (R 507a) $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$;
- товщина інею, що осів $\delta_i = 0.0015 \text{ м}$, $\lambda_i = 0.2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 43 |

Розрахунок

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

Температура на виході з апарату:

$$t_B = t_k - \Delta t = 7 - 2 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Середня температура повітря:

$$t_c = 0.5 \cdot (t_k + t_B) = 0.5 \cdot (7 + 5) = 6 \text{ }^\circ\text{C}$$

Задаємося середньою температурою поверхні п-ча, покритою інеем:
 $t_{II} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$.

По таблицях визначаємо вологосодержание насиченого повітря при: t_k -
 $d_{k''} = 0.00629 \text{ кг/кг}$; t_{II} - $d_{II''} = 0.0038 \text{ кг/кг}$; t_B - $d_{B''} = 0.00547 \text{ кг/кг}$.

Вологосодержание повітря в камері при t_k по таблиці $d_k = 0.006 \text{ кг/кг}$

Вологосодержание на виході з повітроохолоджувача:

$$d_B = d_k - (d_k - d_{II''}) \cdot (t_k - t_B) / (t_k - t_{II}) \text{ [кг/кг]} \quad (5.1)$$

$$d_B = 0.006 - (0.006 - 0.0038) \cdot (7 - 5) / (7 + 0) = 0.00537 \text{ кг/кг}.$$

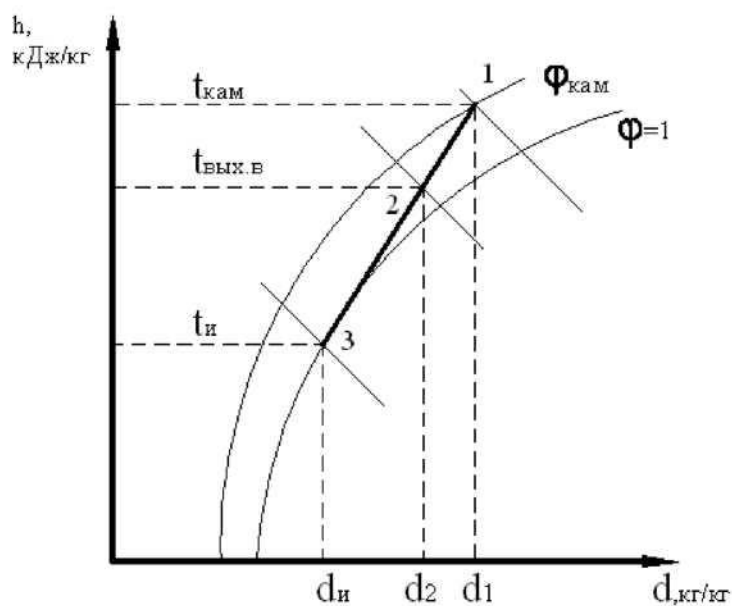


рис. 5.1 – Процес обробки повітря у повітряохолоджувачі в h-d діаграмі.

| | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|------|
| | | | | | Лист |
| | | | | | 44 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | |

Відносна вологість на виході з апарату:

$$\varphi_B = d_B / d_B'' = 0.00537 / 0.00547 = 0.97$$

Ентальпія повітря визначається по формулі:

$$h = 1.006 \cdot t + (2835 + 2.09 \cdot t) \cdot d \quad [\text{кДж/кг}] \quad (5.2)$$

$$h_K = 1.006 \cdot 7 + (2835 + 2.09 \cdot 7) \cdot 0.006 = 24.2 \text{ кДж/кг}$$

$$h_B = 1.006 \cdot 5 + (2835 + 2.09 \cdot 5) \cdot 0.00537 = 20.3 \text{ кДж/кг}$$

$$h_{\Gamma} = 1.006 \cdot 0 + (2835 + 2.09 \cdot 0) \cdot 0.00547 = 15.5 \text{ кДж/кг}$$

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 елемента.

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:

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

Внутрішня поверхня труби ребристого елемента:

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

Повна зовнішня поверхня ребристого елемента:

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

Коефіцієнт обребрення:

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 45 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

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

Ступінь обрєбрення:

$$\phi = f_{\text{п}} / (\pi \cdot d_{\text{н}} \cdot u) = 6.1 / (\pi \cdot 0.02 \cdot 0.008) = 12.14$$

Умовний ступінь обрєбрення:

$$\beta_{\text{н}} = f_{\text{п}}/f_{\text{тр}} = 6.1/0.38 = 16.19$$

Геометричні характеристики поверхні інею.

Зовнішня поверхня інею на ребрі:

$$\begin{aligned} f_{\text{рi}} &= 0.5 \cdot \pi \cdot [(D_{\text{р}} + 2 \cdot \delta_{\text{i}})^2 - (d_{\text{и}} + 2 \cdot \delta_{\text{i}})^2] + \pi \cdot (D_{\text{р}} + 2 \cdot \delta_{\text{i}}) \cdot (\delta_{\text{вр}} + 2 \cdot \delta_{\text{i}}) = 0.5 \cdot \pi \cdot \\ &\cdot [(0.053 + 2 \cdot 0.0015)^2 - (0.02 + 2 \cdot 0.0015)^2] + \pi \cdot (0.063 + 0.003) \cdot (0.0006 + 0.003) = \\ &= 6.8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Внутрішня поверхня інею на трубі між двома суміжними ребрами:

$$\begin{aligned} f_{\text{трi}} &= \pi \cdot (d_{\text{н}} + 2 \cdot \delta_{\text{i}}) \cdot (u - \delta_{\text{ор}} - 2 \cdot \delta_{\text{i}}) = 3.14 \cdot (0.02 + 0.003) \cdot (0.008 - 0.0002 - 0.003) = \\ &= 2.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Повна зовнішня поверхня інею на ребристому елементі:

$$f_{\text{i}} = f_{\text{трi}} + f_{\text{рi}} = (6.8 + 0.22) \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Коефіцієнт обрєбрення поверхні, покритої інеєм:

$$\beta_{\text{i}} = f_{\text{i}} / f_{\text{вн}} = 7/0.4 = 17.3$$

Площа `живого` перетину одного ребристого елемєнту з інеєм:

$$\begin{aligned} f_{\text{ж}} &= (S_{\text{I}} - d_{\text{и}} - 2 \cdot \delta_{\text{i}}) \cdot u - 2 \cdot h_{\text{р}} \cdot [0.5 \cdot (\delta_{\text{вр}} + \delta_{\text{ор}}) + 2 \cdot \delta_{\text{i}}] = (0.069 - 0.02 - 0.003) \cdot 0.008 - \\ &- 2 \cdot [0.5 \cdot (0.0006 + 0.0002) + 0.003] = 4.4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 46 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

Теплообмін з боку повітря.

Теплофізичні властивості повітря при t_c :

- кінематична в'язкість $\nu_B = 13.72 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- коефіцієнт теплопровідності $\lambda_B = 0.0248 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- число Прандтля $Pr_B = 0.707$;
- щільність $\rho_B = 1.269 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Коефіцієнт вологи випадання визначається по формулі:

$$\xi = 1 + (d_k'' \cdot \varphi_k - d_{п''}) \cdot (2835 - 2.09 \cdot t_{п'}) / [(1.006 + 1.87 \cdot d_{п''}) \cdot (t_k - t_{п'})] \quad (5.3)$$

$$\xi = 1 + (0.006 \cdot 0.95 - 0.00547) \cdot (2835 - 2.09 \cdot 0) / [(1.006 + 1.87 \cdot 0.00547) \cdot (7 + 0)] = 1.09$$

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

Визначальний розмір:

$$L_0 = d_H / \beta_H + (1 - \beta_H^{-1}) [0.785 \cdot (D_p^2 - d_H^2)]^{0.5} \quad (5.4)$$

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

Число Рейнольдса:

$$Re_B = w_B \cdot L_0 / \nu_B \quad (5.5)$$

$$Re_B = 3 \cdot 0.051 / (13.72 \cdot 10^{-6}) = 11151$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 47 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Число Нуссельта:

$$Nu_B = 0.18 \cdot C_s \cdot C_z \cdot Re_B^{0.65} \cdot \beta_H^{0.07} \cdot \beta_H^{-0.7} \quad (5.6)$$

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

$$Nu_B = 0.18 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 11151^{0.65} \cdot 16.2^{0.07} \cdot 16.2^{-0.7} = 40,33$$

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні повітряохолоджувача до повітря:

$$\alpha_B = Nu_B \cdot \lambda_B / L_0 \quad (5.7)$$

$$\alpha_B = 40,33 \cdot 0.0248 / 0.051 = 19,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{B \text{ пр}} = [(\alpha_B \cdot \xi)^{-1} + \delta_i / \lambda_i]^{-1} \quad (5.8)$$

$$\alpha_{B \text{ пр}} = [(19,6 \cdot 1.09)^{-1} + 0.0015 / 0.2]^{-1} = 18.42 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Умовна висота ребра:

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

Безрозмірний комплекс

$$mh' = [4 \cdot \alpha_{B \text{ пр}} / ((\delta_{B \text{ пр}} + \delta_{O \text{ пр}}) \cdot \lambda_p)]^{0.5} \cdot h' = 2 \cdot [18.42 / (0.008 \cdot 150)]^{0.5} = 0.393$$

Коефіцієнт ефективності ребра:

$$E = [\tanh(mh')] / mh' \quad (5.9)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 48 |

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

Коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддачі по висоті ребра:
 $\psi = 1 - 0.058 \cdot mh' = 1 - 0.058 \cdot 0.393 = 0.965$

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елемента:

$$\alpha_{в пр}' = \alpha_{в пр} \cdot (f_p \cdot E \cdot \psi + f_{тр}) / f_{п} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})] \quad (5.10)$$

$$\alpha_{в пр}' = 18.42 \cdot (0.0057 \cdot 0.953 \cdot 0.965 + 0.0004) / 0.006 = 17.32 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби:

$$q_{в} = \alpha_{в} \cdot \xi \cdot \beta_i \cdot (t_c - t_{и}) \quad [\text{Вт}/\text{м}^2] \quad (5.11)$$

$$q_{в} = 17.32 \cdot 1.09 \cdot 17.34 \cdot (6 + 0) = 1964 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Коефіцієнт тепловіддачі в трубах апарату:

$$\alpha_0 = 32 \cdot \omega p^{0.47} \cdot q_{в}^{0.15} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})] \quad (5.12)$$

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

$$\alpha_0 = 32 \cdot 80^{0.47} \cdot 1964^{0.15} = 782,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні інею:

$$K_{ні} = [\beta_i / \alpha_0 + 1 / \alpha_{в пр i}' + \phi \cdot (0.5 \cdot (d_{и} - d_{вн}) / \lambda_{т})]^{-1} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})] \quad (5.13)$$

$$K_{ні} = [17.34 / 782,7 + 1 / 17.32 + 12.14 \cdot (0.5 \cdot (0.02 - 0.016) / 50)]^{-1} = 12.5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 49 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні сухої поверхні:

$$K_H = K_{H1} \cdot \beta / \beta_i = 12.5 \cdot 15.17 / 17.34 = 10.9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Перевіряємо раніше прийняту температуру поверхні апарату:

- щільність теплового потоку, віднесена до зовнішньої поверхні інею:

$$q_H = K_{H1} \cdot (t_c - t_0) = 12.5 \cdot (6 - 0) = 75 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

- розрахункова різниця температур:

$$\Delta t_p = q_H / (\alpha_v \cdot \xi) = 75 / (17.32 \cdot 1.09) = 5.72 \text{ }^\circ\text{C};$$

- відносна погрішність прийнятої і розрахункової різниці температур:

$$\varepsilon = [|\Delta t_p - (t_c - t_{п})| / \Delta t_p] \cdot 100\% = [|5.72 - (6 + 0)| / 5.72] \cdot 100\% = 4,9 \%$$

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

$$F_H = Q_0 / [K_H \cdot (t_c - t_0)] = 16000 / (10.9 \cdot 6) = 244,5 \text{ м}^2$$

Компонувальний розрахунок повітроохолоджувача.

Об'ємна витрата повітря через повітроохолоджувач:

$$V_B = Q_0 \cdot 10^{-3} / [\rho_v \cdot (h_k - h_b)] \quad (5.14)$$

$$V_B = 16 / [1.269 \cdot (24.2 - 20,3)] = 3.2 \text{ м}^3/\text{с}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 50 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

По графіках характеристик вентиляторів вибираємо два вентилятори марки ВО-12-303-5 при орієнтовному натиску $H=120$ Па з діаметром вентилятора $D_B=0.5$ м.

Мінімальний `живий` перетин повітроохолоджувача:

$$F_{\text{ж}}=V_{\text{в}}/w_{\text{в}}=3.2/3=1.1 \text{ м}^2$$

Площа фронтального перетину повітроохолоджувача:

$$F_{\text{ф}}=F_{\text{ж}} \cdot S_1 \cdot u/f_{\text{ж}}=1.1 \cdot 0.069 \cdot 0.008/0.00044=0.9 \text{ м}^2$$

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

$$e=F_{\text{ф}}/(0.25 \cdot \pi \cdot D_{\text{в}}^2)=0.9/(2 \cdot 0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.5^2)=2.54$$

Орієнтовні геометричні розміри теплообмінної секції повітроохолоджувача у фронтальному перетині:

- ширина $H'=(F_{\text{ф}}/2)^{0.5}=0.9^{0.5}=0.95$ м;

- довжина $L'=H' \cdot 2=1.9$ м;

Число труб у фронтальному перетині пучка з округленням до парного цілого: $z_1=H'/S_1=0.95/0.069=14$ шт

Дійсна ширина і довжина секції:

$$H=z_1 \cdot S_1=14 \cdot 0.069=0.97 \text{ м}$$

$$L=2 \cdot F_{\text{ф}}/H=2 \cdot 0.9/0.97=1.85 \text{ м}$$

Кількість труб по ходу повітря з округленням до найближчого більшого цілого: $z_2=F_{\text{н}}/[f_{\text{н}} \cdot (F_{\text{ж}}/f_{\text{ж}})]=244.5/[0.0061 \cdot (1.1/0.00044)]=16$ шт

Розрахункові параметри теплообмінної поверхні:

- сумарна довжина труб апарату:

$$\Sigma L=L \cdot z_1 \cdot z_2=1.85 \cdot 14 \cdot 16=414.4 \text{ м};$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 51 |

- площа зовнішньої поверхні:

$$F_d = \Sigma L \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot \beta = 414,4 \cdot 3,14 \cdot 0,016 \cdot 15,17 = 288,5 \text{ м}^2;$$

- глибина секції:

$$B = S_2 \cdot z_2 = 0,069 \cdot 16 = 1,1 \text{ м.}$$

Перевірка по аеродинамічному опору.

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

$$\Delta P = 0,26 \cdot C_Z \cdot C_L \cdot C_t \cdot (\omega \rho)^{1,92} \quad (5.15)$$

Еквівалентний діаметр: $d_s = 2 \cdot [u \cdot (S_1 - d_n) - 2 \cdot \delta_p \cdot h_p] / (2 \cdot h_p + u) =$
 $= 2 \cdot [0,008 \cdot (0,069 - 0,02) - 2 \cdot 0,0013 \cdot 0,02] / (2 \cdot 0,02 + 0,008) = 0,014 \text{ м}$

Коефіцієнт, що враховує лінійні розміри ребер:

$$C_L = L_0^{0,22} / d_s^{0,3} = 0,051^{0,22} / 0,014^{0,3} = 1,87$$

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.

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 52 |

6 Розрахунок повітряного конденсатора

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

$$\sum Q_k = Q_0 + N_e = 3 \cdot (33 + 11,6) = 133,8 \text{ кВт}$$

Використовуємо в системі 2 повітряних конденсатора з розрахунковою продуктивністю кожного $Q_k = 67 \text{ кВт}$

Дані для розрахунку:

Теплове навантаження: $Q_k = 67 \text{ кВт}$

Розрахункова температура зовнішнього повітря: $t_H = 32 \text{ }^\circ\text{C}$

Відносна вологість зовнішнього повітря: $\varphi_H = 0,6$

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

6.1 Тепловий розрахунок конденсатора

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

$$t_2 = t_H + \Delta t = 32 + 5 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 53 |

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

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

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:

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

- 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:

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

- коефіцієнт обребрення β и ступінь обребрення ϕ_n :

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

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

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:

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 54 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

$$d_3 = 2 \cdot (S_1 - d) \cdot (u - \delta) / (S_1 - d + u - \delta), \text{ м} \quad (6.1)$$

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

Критерій Рейнольдса визначаємо по формулі:

$$Re = w \cdot d_3 / \nu \quad (6.2)$$

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

Критерій Нуссельта для пластинчастого ребра визначаємо по формулі:

$$Nu = 0.178 \cdot [(S_1 - d) / d_3]^{-0.14} \cdot Re^{0.6} \quad (6.3)$$

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

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ребра до повітря визначаємо по формулі:

$$\alpha_k = Nu \cdot \lambda / d_3 \quad (6.4)$$

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

Умовна висота ребра для пластинчастих ребер визначаємо по формулі:

$$h' = 0.5 \cdot d \cdot (1.15 \cdot B / d - 1) (1 + 0.35 \cdot \ln(1.15 \cdot B / d)), \text{ м} \quad (6.5)$$

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

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

Коефіцієнт ефективності ребра визначаємо по формулі:

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | | 55 |

$$E = \tanh[(2 \cdot \alpha_k / (\delta \cdot \lambda_p))^{0.5} \cdot (h' + 0.5 \cdot \delta)] / [(2 \cdot \alpha_k / (\delta \cdot \lambda_p))^{0.5} \cdot (h' + 0.5 \cdot \delta)] \quad (6.6)$$

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

Приведений коефіцієнт тепловіддачі визначаємо по формулі:

$$\alpha_{np} = \alpha_k \cdot (f_p \cdot E / f_{\pi} + 1 / \varphi_n), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (6.7)$$

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

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:

$$K = [(1 / \alpha_{np} + 8 \cdot f_{II} / (\pi \cdot (d^2 + d_{вн}^2))) \cdot (0.5 \cdot (d - d_{вн}) / \lambda_{ip} + \delta / \lambda_p + \delta_m / \lambda_m)]^{-1}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (6.8)$$

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

Властивості агента (R404a) 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:

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 56 |

$$q = \beta^{-1} \cdot 0.72 \cdot [9.81 \cdot r \cdot \rho_k^2 \cdot \lambda_k^3 \cdot (\mu_k \cdot d_{\text{вн}})^{-1}]^{0.25} \cdot (t_k - t_{\text{ст}})^{-0.75}, \text{ Вт/м}^2 \quad (6.9)$$

$$q = 4^{-1} \cdot 0.72 \cdot [9.81 \cdot 165 \cdot 10^3 \cdot 1120^2 \cdot 0.0756^3 \cdot (2.2 \cdot 10^{-4} \cdot 0.02)^{-1}]^{0.25} \cdot (42 - t_{\text{ст}})^{-0.75} = 678 \cdot (42 - t_{\text{ст}})^{-0.75}$$

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

$$q = K \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{н}}), \text{ Вт/м}^2 \quad (6.10)$$

$$q = K \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{н}}) = 23.8 \cdot (t_{\text{ст}} - 32)$$

Вирішуючи спільно систему рівнянь 6.9 і 6.10, визначимо шукану щільність теплового потоку через стінку: $q = 168.2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Повну обребрену поверхню апарату визначаємо по формулі:

$$F = Q_k \cdot 10^3 / q, \text{ м}^2 \quad (6.11)$$

$$F = 67 \cdot 10^3 / 168.2 = 328,9 \text{ м}^2$$

6.2 Конструктивний розрахунок апарату

Об'ємна витрата повітря через апарат визначається по формулі:

$$V = Q_k / (c \cdot \rho \cdot \Delta t), \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.12)$$

$$V = 67 / (1.16 \cdot 1.005 \cdot 5) = 11.6 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площа «живого» перетину конденсатора: $F_{\text{ж}} = V/w = 11.6/8 = 1.45 \text{ м}^2$

Сумарна довжина труб в апараті: $\sum L = F_{\text{ж}}/f_{\text{т}} = 1.45 / (2.2 \cdot 10^{-3}) = 659 \text{ м}$

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 57 |

$$f_{ж} = S_1 \cdot u - (2 \cdot h' \cdot \delta + d \cdot u), \text{ м}^2 \quad (6.13)$$

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

Число ребристих елементів у фронтальному перетині пучка труб апарату: $n_{рр} = F_{ж} / f_{ж} = 0.825 / 0.1465 \cdot 10^{-3} = 5667$

Сумарна довжина труб у фронтальному перетині пучка:

$$\sum L_{\phi} = u \cdot n_{рр} = 0.008 \cdot 5667 = 46 \text{ м}$$

$$\text{Площа фронтального перетину апарату: } S_{\phi} = S_1 \cdot \sum L_{\phi} = 0.044 \cdot 46 = 2 \text{ м}^2$$

По графіках характеристик вентиляторів [6] вибираємо три вентилятори марки ВО-12-303-5 при орієнтовному натиску $H = 130 \text{ Па}$.

Діаметр вентиляторів $D_{в} = 0.5 \text{ м}$, кількість $z = 3$

Орієнтовні геометричні розміри конденсатора:

$$\text{- ширина } B_{к} = (S_{\phi} / z)^{0.5} = (2 / 3)^{0.5} = 0.82 \text{ м};$$

$$\text{- довжина } L_{к} = B_{к} \cdot z = 0.82 \cdot 3 = 2.46 \text{ м}.$$

Число труб у фронтальному перетині апарату з округленням до цілого:

$$N_{\phi} = B_{к} / S_1 = 0.82 / 0.044 = 18,64$$

Дійсні геометричні розміри конденсатора:

$$\text{- ширина } B_{к} = N_{\phi} \cdot S_1 = 18,64 \cdot 0.044 = 0.82 \text{ м};$$

$$\text{- довжина } L_{к} = S_{\phi} / B_{к} = 2 / 0.82 = 2.44 \text{ м}.$$

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

$$N = \sum L / \sum L_{\phi} = 375 / 46 = 9$$

$$\text{Висота секції: } H_{к} = S_2 \cdot N = 0.088 \cdot 9 = 0.792 \text{ м}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 58 |

7 Розрахунок магістральних трубопроводів

Об'ємна витрата агента:

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

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

Діаметр трубопроводу, що розраховується:

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

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

Нагнітальний трубопровід для одного компресора:

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

$$V_a = 0.572 / 86.6 = 0.0069 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.0069 / 14)^{0.5} = 0.024 \text{ м}.$$

Приймаємо на нагнітанні мідну трубу 24×1.5 .

Всмоктуючий трубопровід для одного компресора:

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

$$V_a = 0.57 / 24.4 = 0.023 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.023 / 12)^{0.5} = 0.0492 \text{ м}.$$

Приймаємо на всмоктуванні мідну трубу 55×2.5 .

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 59 |

Трубопровід на зливів від конденсаторів до ресівера:

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

$$V_u=0.57 \cdot 3/964=0.0018\text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n=1.13 \cdot (0.0018/1)^{0.5}=0.047\text{ м.}$$

Приймаємо на рідинному зливів мідну трубу 45×2.5 .

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 60 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

8 Підбір компресорів, конденсаторів та допоміжного устаткування

8.1 Підбір компресорів та конденсаторів

Підбір компресорів здійснимо по потрібній холодопроизводительности на один компресор в режимі зберігання $Q_0=33$ кВт з параметрами роботи, представленими при тепловому розрахунку. Вибираємо три поршневі компресори фірми Bitzer марки 4TES-12Y з холодопродуктивністю за даних умов $Q_0=34.7$ кВт і споживаною електричною потужністю $N_{эл}=10$ кВт.

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

$$Q_k=Q_0+N_c=3\cdot(34.7+10)=134 \text{ кВт}$$

Вибираємо два повітряні конденсатори фірми Alfa-Laval марки ACS632A потужністю 71.8 кВт и витратою повітря 31,9 тыс.м³/час, при розрахунковій температурі конденсації $t_k=42$ °С (Додаток І).

8.2 Підбір допоміжного устаткування

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

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

$$V_{исп}=9\cdot 0.25\cdot \pi\cdot d_{вн}^2\cdot \Sigma L=6\cdot 0.25\cdot 3.14\cdot 0.016^2\cdot 332.5=0.401 \text{ м}^3.$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 61 |

Відповідно до правил техніки безпеки розрахунковий об'єм також збільшують на 20%, оскільки його заповнення не повинне перевищувати 80%. Т.ч., місткість лінійного ресівера можна визначити як:
 $V_{г}=(0.6 \cdot V_{исп}/0.5) \cdot 1.2=(0.6 \cdot 0.401/0.5) \cdot 1.2=0.577 \text{ м}^3$.

Як лінійні ресівери використовують горизонтальні або вертикальні циліндрові судини. По місткості підбираємо горизонтальний ресівер BITZER F732N, який може використовуватися при робочому тиску до 3.3 мПа в діапазоні температур від -10 до +120 °С. Обичайки ресівера зварні, запобіжні клапани мають умовний прохід D_y 28мм.

Віддільники рідини включають в систему для захисту компресора від попадання в них рідкого хладагента. 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 напряму 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.

Мастиловіддільники призначені для відділення мастила, що відноситься з компресорів разом з холодильним агентом. Підбір мастиловіддільників проводиться по діаметру нагнітального патрубка компресора. Вибираємо мастиловіддільник Alco Controls OSH-409.

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 62 |

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 ресівер. Підбір апарату здійснюється аналогічно лінійному ресіверу, т.ч. як дренажний вибираємо горизонтальний ресівер BITZER F732N.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 63 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

9. 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 ймовірність 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 небезпеки 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 небезпеки 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

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 64 |

холодоагенту в умовах 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 азеотропной. 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 азеотропной (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- 404A 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

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 65 |

насиченої 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 поліефірне 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 хладопродуктивністю (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 ізольовані трубопроводи в місцях проходження 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.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 66 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | 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 - 0,8 м.

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 15 см.

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

Забезпечення вибухобезпечної експлуатації обладнання

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| | | | | | | 67 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | 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 неагрегованих фреонових установок мають наступне пізнавальне забарвлення:

всмоктуючі - синю;

нагнітальні - червону;

рідинні - сріблясту;

водяні - зелену.

Напрямок руху хладону, вказується стрілками, нанесеними чорною фарбою.

При постійному обслуговуванні холодильної установки персоналом наявність природного освітлення в машинному відділенні обов'язково.

У машинних відділеннях передбачене робоче і аварійне (від незалежного джерела) освітлення. Аварійне освітлення автоматично включається при відключенні основного джерела освітлення. Для освітлення при огляді, ремонті, чищенню і тому подібне застосовуються переносні ручні світильники з мірою захисту IP 54 із запобіжною сіткою напругою не більше

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 68 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

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 агрегатованих холодильних установок заводського постачання (за винятком трубопроводів, що сполучають машини з дренажним ресивером, і аварійного викиду хладону).

Технічний огляд апаратів (посудин) фреонових установок, що підлягають дії "Правил пристрою і безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском", але не реєстрованих в органах Держміськтехнагляду, повинен проводитися підприємством - власником посудин до пуску в роботу, періодично в процесі експлуатації і достроково. Випробування апаратів (посудин) тиском може бути або гідравлічним (із заповненням судини для фреонових холодильних машин маслом), або пневматичним на такий же пробний тиск сухим інертним газом (азотом або вуглекислотою) або сухим повітрям з точкою роси не більш мінус 40°C (випробування водою забороняється)

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 69 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

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

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 70 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | 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 теча і потіння в зварних швах, а при пневматичному випробуванні-пропуск газу;

не будуть відмічені видимі залишкові деформації після випробувань.

Система трубопроводів після монтажу має бути ретельно продута і випробувана на міцність і щільність пробним тиском сухого повітря або інертного газу з точкою роси не більш мінус 40°C окремо по сторонах високого і низького тиску. Випробування проводяться при відключених компресорах, приладах контролю і автоматики, а також апаратах, якщо випробування апаратів на міцність не входить в об'єм технічного огляду, до пуску в роботу. Під пробним тиском система трубопроводів (або окремі її ділянки) повинна знаходитися не менше 5 хв.

Після випробувань на міцність система трубопроводів і апаратів (посудин) випробовується на щільність (герметичність) тиском сухого повітря або інертного газу окремо по сторонах високого і низького тиску і витримкою під тиском протягом 18 год. із записом тиску через кожну годину

Протягом перших 6 год. тиск може мінятися унаслідок вирівнювання температур внутрішнього і оточуючого середовищ. Протягом подальших 12 год. тиск не повинен мінятися за умови постійності температури навколишнього повітря, інакше має бути вироблений перерахунок. Випробування на щільність повинне проводитися до ізоляції трубопроводів і апаратів.

Пневматичне випробування апаратів (посудин) і системи трубопроводів пробним тиском проводиться з дотриманням наступних заходів безпеки:

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 71 |

вентиль на наповнювальному трубопроводі від джерела тиску і манометри мають бути виведені за межі охоронної зони. Знаходиться кому-небудь в цій зоні в період нагнітання повітря або інертного газу і при витримці пробного тиску забороняється;

на випробовуваному апараті (посудині) або системі трубопроводів є не менше одного запобіжного клапана, відрегульованого на відкриття при тиску, що перевищує відповідний пробний тиск не більш, ніж на 0,1 Мпа (1 кгс/см²).

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 кожен 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;

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 72 |

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

Розрахунок та підбір запобіжного клапану

Запобіжний клапан компресора запобігає підвищенню 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 підвищенню 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:

$$F_{\text{кв}} = \frac{G_p}{\mu \cdot V \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot (P_1 - P_2)}}, \text{ м}^2, \quad (9.1)$$

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/м³;

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

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

$$V = 1,59 \sqrt{\frac{k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}}; \quad (9.2)$$

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 73 |

k – показник адіабати, $k = 1,2$;

$$F_{кл} = \frac{0.72}{0.75 \cdot 0.852 \cdot \sqrt{2 \cdot 117.25 \cdot (2.1 - 1.6) \cdot 10^5}} = 2.42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (9.3)$$

Визначимо мінімальний діаметр прохідного перетину сідла клапана:

$$d_{кл} = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.42 \cdot 10^{-4}}{3.14}} = 0.05 \text{ м}. \quad (9.4)$$

За результатами розрахунків підбираємо запобіжний клапан марки Danfoss SFA50 з Ду50

Методи визначення місць витoku 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 витoku фреонів.

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

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 74 |

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 покажчики рівня рідини, які повинні застосовуватися плоске (рефлекторне) скло. Показники рівня мають бути обладнані замковими пристосуваннями для їх відключення в разі поломки скла.

Манометри (мановакууметри) комплектовані заводським постачанням є встановлені на кожному компресорі для спостереження за робочим тиском всмоктування, нагнітання, в системі мастила і в картері. Манометри (мановакууметри) встановлені на апаратах, судинах, технологічному устаткуванні з безпосереднім охолодженням, фреонових насосах, а також на розподільних пристроях (рідинних, всмоктуючих, відтаюванні), сполучених трубопроводами з устаткуванням холодильних камер, і на загальних всмоктуючих і нагнітальних трубопроводах, до яких паралельно приєднано декілька компресорів.

Манометр вибирається з такою шкалою, щоб межа виміру робочого тиску знаходилася в другій третині шкали. Між манометром і апаратом (посудиною) встановлений трьохходовий кран або штуцер із замковим органом для під'єднування другого манометра. За наявності можливості перевірити манометр у встановлені терміни, знявши його з посудини,

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 75 |

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

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 76 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

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 спостереженням 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

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 77 |

пристроїв, що охолоджують, і трубопроводів від пошкоджень. Проходи поблизу холодильного устаткування завжди вільні, а підлоги проходів - в справному стані.

Куріння в машинних відділеннях, а також в інших приміщеннях, де встановлено холодильне устаткування, забороняється. Зварка і паяння при ремонті машин, агрегатів, апаратів, трубопроводів холодильних систем, що діють, застосовуються під спостереженням старшого технічного персоналу і за наявності письмового дозволу працівника, відповідального в організації за справний стан, правильну і безпечну експлуатацію холодильних систем.

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 вентиля виведені за межі приміщення і відключені від всіх повітрязбірників, 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

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 78 |

забезпечує дроселювання рідини, для запобігання можливості попадання рідкого холодоагенту у всмоктуючу порожнину компресора.

Перед заповненням холодильної системи агентом слід упевнитися в тому, що в балоні міститься відповідний холодильний агент. Перевірка проводиться по величині тиску пари хладагента при температурі балона, рівній температурі навколишнього повітря. Перед перевіркою балон повинен знаходитися в даному приміщенні не менше 6 годин. Залежність тиску хладагента від температури навколишнього повітря перевіряється по таблиці насиченої пари.

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 металоконструкціям (вентиляційні камери , механічні майстерні , камери холодильників та ін);

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 79 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

- особливо небезпечні приміщення - особливо сирі , з відносною вологістю повітря , близькою до 100 % , наявністю хімічно активного середовища 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 (ізолюваними бірками, 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.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 80 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | | |

Заземляючі пристрої електроустановок споживачів відповідають вимогам, що діють. Заземляючі пристрої забезпечують безпеку людей і захист електроустановок, а також експлуатаційні режими роботи. Для тієї частини електроустановки, яка може виявитися під напругою унаслідок порушення ізоляції, є забезпечений надійний контакт із 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 ремонтваної частини електроустановки, що складаються з провідників для закорочення фаз і провідників для приєднання до заземляючого пристрою, виконане з неізольованих 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;

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 81 |

е) вибірковий розтин ґрунту для огляду елементів заземлюючого пристрою, що знаходяться в землі;

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

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 ρ_ϕ – питомий опір ґрунту (супісок) – 250 Ом*м;

Ψ – 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;

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 82 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

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:

$$L = (n' - 1) \cdot l', \text{ м}$$

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

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

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 83 |

η_r - коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів, дорівнює 0,56[16]

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

Загальний опір системи заземлення:

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

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

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

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 $k_{\text{приг}} = 3$;

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

V – об'єм приміщення, м^3 ;

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

Продуктивність припливної вентиляції:

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 84 |

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

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

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:

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

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 _{эл} | n |
|----------------|-------------------|-----------------|------------|
| Припливна | 4AA63B6 У3 | 0,25 кВт | 1400об/мин |
| Витяжна | 4A71A6 У3 | 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) $h_{підв} = 0.5(м)$.

Рішення:

1. Визначаємо відстань від світильника до робочої зони:

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

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

$$\Phi_{лсв} = \frac{E_n \cdot S \cdot z \cdot K_{зсп} \cdot 100}{\eta \cdot N} = \frac{200 \cdot 12 \cdot 18 \cdot 1.1 \cdot 1.6 \cdot 100}{48 \cdot 34} = 4658.8(лм);$$

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

$z = 1.1$ – коефіцієнт нерівномірного розподілу світлового потоку;

$K_{зсп} = (1.4 \div 1.8)$ – коефіцієнт запасу.

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | 86 |

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

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 87 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | |

цих симптомів слідує 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 вилетіться 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 лєср.

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

Не слід розраховувати на нюх для оцінки безпеки виробничих приміщень, призначених для персоналу. Єдино надійними способами служать регулярні перевірки на витік і моніторинг якості повітря.

Свідоме вдихання пари холодоагента може привести до смерті.

Попадання агента на шкіру і в очі. При кімнатній температурі пари фреону R 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

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|------|
| | | | | | | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 88 |

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;

| | | | | |
|------|------|----------|---------|------|
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |

- виклик швидкої медичної допомоги або лікаря або вжиття заходів для транспортування потерпілого до найближчої лікувальної установи.

При певних навичках, володіючи собою, надаючи 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.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 90 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | | |

Список використаної літератури

1. Свердлов Г.З., Явнель Б.К. "Курсовое и дипломное проектирование."
2. Чумак И.Г., Никулина Д.Г. "Холодильные установки проектирование. ", Вища школа, 1988.
3. Конспект лекцій з дисципліни «Аналіз та проектування енергетичних систем» для студентів СВО «Бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса: ОНТУ, 2022 р. – 164 с.
4. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Аналіз та проектування енергетичних систем» для студентів СВО «Бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса ОНТУ, 2022. – 46 с.
5. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Аналіз та проектування енергетичних систем» для студентів СВО «Бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса ОНТУ, 2022. – 122 с.
6. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Аналіз та проектування енергетичних систем» для студентів СВО «Бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса ОНТУ, 2022. – 70 с.
7. Плодоовочесховища: проектування, оптимізація, розрахунки [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, В. П. Кочетов, А. В. Форсюк, Н. В. Жихарєва ; під заг. ред. М. Г. Хмельнюка ; Одес. нац. акад. харч. технологій, Нац. ун-т харч. технологій. — Одеса : Бондаренко М. О., 2018. — 228 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 222-223.
8. Методичні вказівки та примірний розрахунок по курсовому та дипломному проектуванню з дисципліни "Холодильні машини і установки спеціального призначення" [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — 34 с. — Електрон. текст. дані.
9. Кваліфікаційна робота : метод. вказівки до виконання та оформлення роботи для здобувачів СВО "Бакалавр" [Електронний ресурс] : спец. 142 "Енергетичне машинобудування", галузі знань 14 "Електрична інженерія" ден. та заоч. форм навчання / М. Г. Хмельнюк, Л. І. Морозюк, О. Ю. Яковлева та ін. ; відп. за вип. М. Г. Хмельнюк ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2021. — Електрон. текст. дані: 20 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 91 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

