

Здобувача	<u>Шевченко І.С.</u>
3 курсу	<u>ЕН-141</u> групи
Керівник	<u>к.т.н., доц. Трандафілов В.В.</u>
Консультанти:	<u>д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.</u>

Рішення кафедри від 28.05.2026 р. протокол № 10
Завідувач кафедри ХУКП Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса - 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського
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.

«16» березня 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Шевченко Ілля Сергійович

1. Тема роботи Розробка системи охолодження для фермерського господарства в м. Миколаїв з використанням природних холодоагентів

Затверджена наказом ОНТУ від 26.09.2025 р. наказ № 499-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 28.05.2026 р.

3. Вихідні дані роботи

Холодильник розташований у м. Миколаїв. Будівля холодильника одноповерхова
Висота камер 6 м, з сіткою колон 9х12 м. У 5-х камерах з температурним режимом $t_k=2^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості повітря камери $\varphi_k=90\%$ передбачається тривале зберігання картоплі. В якості холодильного агента було прийнято аміак R 717.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Реферат, Вступ, 1. Техніко-економічне обґрунтування проєкту, 2. Визначення Будівельної площі камер холодильника, 3. Визначення товщини теплоізоляції камер, 4. Розрахунок теплового навантаження камер, 5. Тепловий розрахунок холодильної системи, 6. Розрахунок повітряного конденсатора, 7. Розрахунок повітроохолоджувача, 8. Підбір компресорів та допоміжного устаткування, 9. Розрахунок магістральних трубопроводів, 10. Охорона праці, Висновки, Перелік використаної літератури.

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 видав
Охорона праці	д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.	18.05.2026	22.05.2026

7. Дата видачі завдання 16.03.2026 р.

Керівник Трандафілов В.В.

Завдання прийняв до виконання Шевченко І.С.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат	20.05-21.05.2026	виконано
2	Вступ	16.03-21.03.2026	виконано
3	Техніко-економічне обґрунтування проєкту	21.04-22.04.2026	виконано
4	Визначення будівельної площі камер холодильника	24.04-30.04.2026	виконано
5	Визначення товщини теплоізоляції камер	01.05-05.05.2026	виконано
6	Розрахунок теплового навантаження камер	05.05-10.05.2026	виконано
7	Тепловий розрахунок холодильної системи	12.05-15.05.2026	виконано
8	Розрахунок повітряного конденсатора	16.05-17.05.2026	виконано
9	Розрахунок повітроохолоджувача	20.05-23.05.2026	виконано
10	Підбір компресорів та допоміжного устаткування	20.05-23.05.2026	виконано
11	Розрахунок магістральних трубопроводів	23.05-25.05.2026	виконано
12	Охорона праці	18.05-22.05.2026	виконано
13	Висновки	23.05-23.05.2026	виконано
14	Перелік використаної літератури	20.05-25.05.2026	виконано
15	Підготовка презентації в PowerPoint	23.05-27.05.2026	виконано

Здобувач-дипломник Шевченко І.С.

Керівник роботи Трандафілов В.В.

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

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

Здобувач-дипломник Шевченко Ілля Сергійович

ЗМІСТ

	стор.
Реферат.....	4
Вступ.....	6
1 Техніко-економічне обґрунтування проєкту.....	10
2 Визначення будівельної площі камер холодильника	13
3 Розрахунок товщини теплоізоляції камер	14
4 Визначення теплового навантаження камер	17
5 Тепловий розрахунок холодильної системи.....	26
6 Розрахунок повітряного конденсатора	30
7 Розрахунок повітроохолоджувача	36
8 Підбір компресорів та допоміжного устаткування.....	46
9 Розрахунок магістральних трубопроводів.....	50
10 Охорона праці.....	51
Висновки.....	70
Перелік використаної літератури.....	71

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Розробка системи охолодження для фермерського господарства в м. Миколаїв з використанням природних холодоагентів</i>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Шевченко І.С.						
Перевір.		Трандафілов В.В					4	71
Реценз.						ОНТУ гр. ЕН-141		
Н. Контр.		Трандафілов В.В						

РЕФЕРАТ

Розробка системи охолодження для овочесховища місткістю 900 тонн є важливим завданням для забезпечення продовольчої безпеки та зменшення втрат продукції. Використання природних холодоагентів R717 (NH₃) відповідає сучасним екологічним вимогам та міжнародним стандартам.

Прийнято оптимальні параметри зберігання картоплі: температура +2 °C, відносна вологість 90%.

Система охолодження базується на компресійних установках із сучасними гвинтовими компресорами Bitzer, повітряними конденсаторами Alfa Laval та стельовими повітроохолоджувачами AlfaCubic. Використання контейнерного зберігання та активної вентиляції забезпечує рівномірний температурний режим і знижує втрати маси продукції.

Запропонована система охолодження забезпечує тривале зберігання картоплі без втрати якості, відповідає сучасним українським та міжнародним стандартам, а також може бути використана як модель для інших фермерських господарств.

Ключові слова: картопля – холодильний склад – аміак.

ABSTRACT

The development of a cooling system for a 900-tonne vegetable storage facility is a key task for ensuring food security and reducing product losses. The use of the natural refrigerant R717 (NH₃) complies with current environmental requirements and international standards.

Optimal potato storage parameters have been adopted: temperature: +2 °C, relative humidity – 90%.

The cooling system is based on compression units featuring modern Bitzer screw compressors, Alfa Laval air-cooled condensers and AlfaCubic ceiling-mounted air coolers. The use of container storage and active ventilation ensures a uniform temperature regime and reduces product weight loss.

The proposed cooling system ensures long-term potato storage without loss of quality, complies with modern Ukrainian and international standards, and can also serve as a model for other farms.

Key words: potatoes – cold store – ammonia

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Холодильні технології увійшли в життя людини відносно недавно. У давнину для охолодження продуктів використовували льохи та природні сховища з нижчою температурою, ніж навколишнє середовище. Перша промислова холодильна установка з'явилася у 1850 році, а вже з 1857 року почався розвиток промислових холодильних камер. Проте вони були недосконалі й економічно не вигідні. Масове поширення побутових холодильників розпочалося у 1927 році, а з 1930 року в технологічних процесах почали застосовувати фреон. У 1960-х роках 98% сімей США вже мали холодильники, тоді як у нашій країні цей показник становив лише близько 5%. З розвитком промислового виробництва холодильних установок виникла потреба у кваліфікованих спеціалістах з їх експлуатації та обслуговування.

Сучасні холодильні технології

Сьогодні холодильне обладнання застосовується повсюдно: від установок для шокової заморозки на підприємствах харчової промисловості до великих холодильних складів для тривалого зберігання продукції.

- **Шокова заморозка** забезпечує швидке утворення дрібних кристалів льоду в клітинах продукту, що зупиняє розвиток мікроорганізмів і зберігає поживні речовини.
- **Холодильні вітрини** з харчового пластику та спеціального скла широко використовуються у торгових залах і закладах громадського харчування.
- **Холодильні склади** дозволяють зберігати великі обсяги продукції протягом тривалого часу, підтримуючи оптимальні параметри температури та вологості.

Основними елементами холодильних установок є компресор, випарник, конденсатор, терморегулюючий вентиль та холодоагент. Найчастіше застосовуються компресійні системи, але також використовуються абсорбційні, термоелектричні та вихрові установки.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Плодоовочесховища

Сховища для овочів і фруктів бувають стаціонарні та тимчасові.

- **Стаціонарні сховища** класифікують за спеціалізацією (овочесховища, фруктосховища, вузькоспеціалізовані для картоплі, капусти, цибулі тощо), місткістю (малі — до 500 т, середні — 500–2000 т, великі — понад 2000 т), ступенем заглиблення та наявністю огорожувальних конструкцій.
- **Великі плодовоовочеві бази** (40–80 тис. т) є універсальними: вони забезпечують не лише зберігання, а й переробку (квашення, соління, маринування, фасування).

Будівлі плодовоовочесховищ споруджуються із залізобетону та цегли, з використанням теплоізоляційних матеріалів. Сітка колон зазвичай становить 6×6 або 6×9 м. Добра теплоізоляція дозволяє ефективно регулювати температуру та вологість, запобігаючи утворенню конденсату.

Технологічне обладнання та вентиляція

У сховищах розміщуються оперативні та допоміжні приміщення: експедиції, камери охолодження, дозрівання та дефростації фруктів. Для транспортування передбачаються криті залізничні дебаркадери та утеплені автомобільні платформи. До технічних приміщень належать машинні відділення з компресорами, котельні та вентиляційні камери.

Найбільш ефективною є **активна вентиляція** (приточно-витяжна), коли свіже повітря вентилятори подають у сховище та пропускають крізь товщу продукту. Це дозволяє знизити втрати картоплі з 10–15% до 5–6% і збільшити висоту завантаження до 3 м.

Контейнери та механізація

Застосування контейнерів для зберігання овочів і фруктів сприяє механізації процесів: завантаження, транспортування, сортування та подачі продукції. Це значно підвищує ефективність роботи сховищ.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тимчасові сховища

Для зберігання картоплі та овочів використовуються також бурти і траншеї.

- **Бурти** влаштовують на сухих підвищених місцях, де немає загрози підтоплення.
- Заглиблення роблять завдовжки 15–20 м, шириною 1,7–2 м і глибиною 0,2 м.
- Розташування бортів враховує напрямок вітру, щоб у зимовий період вони менше охолоджувались.

НОРМАТИВНА БАЗА

В Україні зберігання плодоовочевої продукції регламентується:

- **ДБН В.2.2-15:2019** «Будівлі і споруди. Сховища для овочів і фруктів»;
- **ДСТУ 4950:2008** «Продукти плодоовочеві. Умови зберігання»;
- Санітарними нормами та правилами, гармонізованими з європейськими стандартами EN та ISO.

Ці документи визначають вимоги до температури, вологості, вентиляції, теплоізоляції та санітарного стану сховищ.

Умови зберігання продукції

- **Картопля:** температура $+2...+4$ °С, відносна вологість 85–95%.
- **Морква, буряк, капуста:** температура $0...+1$ °С, вологість 90–95%.
- **Цибуля:** температура $0...+3$ °С, вологість 70–80% (щоб уникнути проростання).
- **Яблука та груші:** температура $0...+2$ °С, вологість 90–95%.
- **Кісточкові плоди (сливи, абрикоси, вишні):** температура $-1...0$ °С, вологість 90–95%.

Для тривалого зберігання фруктів застосовуються **камери з регульованим газовим середовищем (РГС)**, де концентрація кисню знижена до 2–3%, а вуглекислого газу підвищена до 3–5%. Це дозволяє уповільнити процеси дозрівання та зберегти якість продукції до 8–10 місяців.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні технології в Україні

- **Активна вентиляція** з автоматичним контролем температури та вологості.
- **Контейнерне зберігання** — використання дерев'яних або пластикових контейнерів для механізації завантаження та транспортування.
- **Системи моніторингу** — датчики температури, вологості та газового складу з дистанційним контролем.
- **Енергоефективні рішення** — застосування CO₂ як холодоагенту, рекуперація тепла, використання сонячних панелей для живлення вентиляційних систем.

Практика великих підприємств

В Україні сучасні плодоовочесховища будуються переважно у великих аграрних регіонах (Одеська, Вінницька, Херсонська, Полтавська області).

- **Потужність сховищ** сягає 20–50 тис. т продукції.
- **Функціонал** включає охолодження камери, зони сортування, пакування та експедиції.
- **Логістика** передбачає пряме завантаження з вагонів та автомобілів через криті платформи.

Вимоги до санітарії

- Регулярна дезінфекція камер та контейнерів.
- Використання матеріалів, дозволених для контакту з харчовими продуктами.
- Система контролю шкідників та гризунів.

Таким чином, сучасні плодоовочесховища в Україні — це комплексні інженерні споруди, які поєднують технології охолодження, вентиляції, газового регулювання та автоматизованого контролю, що дозволяє зберігати продукцію протягом усього року без значних втрат якості.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

Метою даної роботи є **розробка системи охолодження для фермерського господарства в м. Миколаїв** з використанням природних холодоагентів (NH_3), призначеної для зберігання картоплі місткістю 900 тонн.

Компоновка овочесховища включає:

- камери зберігання продукції;
- залізничну та автомобільну рампу для логістики;
- компресорний цех;
- допоміжні приміщення для обробки овочів та персоналу.

Відповідно до нормативних умов зберігання картоплі приймається температура повітря камер $t_k = +2^\circ\text{C}$ та відносна вологість $\phi_k = 90\%$.

Біохімічні процеси при зберіганні

Обмін речовин у овочів супроводжується біохімічними та фізіологічними процесами:

- **Дихання** — розпад вуглеводів та органічних кислот із поглинанням кисню та виділенням CO_2 , води й тепла. Це призводить до зменшення ваги продукції.
- **Випаровування вологи** — спричиняє втрати маси та погіршення якості.

Інтенсивність дихання залежить від виду продукції та температури. При її підвищенні процеси активізуються, що скорочує термін зберігання. Тому підтримка постійної температури та вологості є критичною умовою.

Технологія зберігання

- Для картоплі застосовується **контейнерне зберігання** у дерев'яних або пластикових контейнерах, що встановлюються на палети.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Палети формуються у штабелі висотою 4–7 рядів, із залишенням проходів для контролю стану продукції та забезпечення циркуляції повітря.

- Система розподілу повітря забезпечує рівномірне охолодження та підтримку стабільних параметрів мікроклімату.

Вид упаковки, спосіб укладання та планування штабелів є визначальними факторами у збереженні якості продукції.

Сучасні вимоги в Україні

- **Температурний режим:** +2...+4 °С для картоплі, з допустимими коливаннями не більше $\pm 0,5$ °С.

- **Вологість:** 85–95%, контрольована автоматичними системами.

- **Вентиляція:** активна приточно-витяжна, що знижує втрати маси з 10–15% до 5–6%.

- **Газове середовище:** можливе застосування регульованої атмосфери (зниження O_2 до 3–5%, підвищення CO_2 до 3–4%) для подовження терміну зберігання.

- **Енергоефективність:** використання природних холодоагентів (CO_2 , NH_3), рекуперація тепла, автоматизовані системи моніторингу.

Практика фермерських господарств

В Україні сучасні овочесховища будуються у великих аграрних регіонах (Миколаївська, Вінницька, Полтавська області).

- Потужність сховищ сягає 1–20 тис. т.
- Використовуються автоматизовані системи контролю температури, вологості та газового складу.
- Логістика включає пряме завантаження з вагонів та автомобілів через криті платформи.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Встановити температурний режим

Критично

Підтримка стабільної температури забезпечує мінімальні втрати маси.

- Температура камер: **+2 °C**
- Допустиме відхилення: **±0,5 °C**
- Використати автоматичні датчики контролю

2. Забезпечити вологість

Рекомендовано

Висока вологість запобігає усиханню та втраті якості.

- Вологість: **85–95%**
- Використати зволожувачі та систему моніторингу

3. Організувати вентиляцію

Ефективність

Активна вентиляція знижує втрати продукції.

- Приточно-витяжна система
- Висота штабелів: до **3 м**
- Зниження втрат картоплі до **5–6%**

4. Використати контейнерне зберігання

Контейнери забезпечують механізацію та зручність логістики.

- Дерев'яні або пластикові контейнери
- Укладання на палети
- Формування штабелів у **4–7 рядів**

5. Застосувати регульовану атмосферу

Газове середовище подовжує термін зберігання.

- Зниження O₂ до **3–5%**
- Підвищення CO₂ до **3–4%**
- Тривалість зберігання: до **8 місяці**.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ВИЗНАЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ПЛОЩІ КАМЕР ХОЛОДИЛЬНИКА

Дані для розрахунку:

Овочесховище для зберігання капусти, місткістю $G=900$ тонн (камери $t_k = 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\phi_k=0.9$), розташоване в м. Миколаїв ($t_n=32^{\circ}\text{C}$, $\phi_n=0.55$).

Приймаємо норму завантаження для камер зберігання картоплі в дерев'яних ящиках $g_w=0.45\text{ т/м}^3$. Тоді загальний вантажний об'єм складе:

$$V_{\text{гр}}=G/g_w=900/0.45=2000\text{ м}^3 \quad (2.1)$$

При розрахунку вантажної площі камер приймаємо, що висота штабелю вантажу, укладеного в ящикних піддонах складає $h_{\text{гр}}=4.5$ м при будівельній висоті $h_{\text{стр}}=6$ м (приймаємо завантаження в камері по 3 пакети по висоті). Тоді вантажна площа всіх камер:

$$F_{\text{гр}}=V_{\text{гр}}/h_{\text{гр}}=2000/4.5=444\text{ м}^2 \quad (2.2)$$

Приймаємо коефіцієнт використання будівельної площі для великих камер зберігання овочів $\beta_F=0.85$, тоді загальна будівельна площа камер:

$$F_{\text{стр}}=F_{\text{гр}}/\beta_F=444/0.85=523\text{ м}^2 \quad (2.3)$$

Вибираємо як опорну площу одного будівельного прямокутника $f_{\text{стр}}=108\text{ м}^2$.

Кількість будівельних прямокутників:

$$n=F_{\text{стр}}/f_{\text{стр}}=523/108=4,84 \quad (2.4)$$

За необхідною площею вибираємо для зберігання картоплі 5 камер 9×12 .

Дійсна місткість камери зберігання:

$$G_k=9 \cdot 12 \cdot 0.85 \cdot 4.5 \cdot 0.45=185\text{ тон}$$

Дійсна місткість сховища:

$$G=4 \cdot G_k=5 \cdot 185=925\text{ тон}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ КАМЕР

Місто Миколаїв відноситься до середньої кліматичної зони, і літня температура повітря 32°C . Середньорічна температура повітря $9,8^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін визначається по формулі:

$$K_{nc} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+t_k)} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (3.1)$$

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

Коефіцієнт теплопередачі стелі з горищем:

$$K_{чп} = 1.05 K_{nc} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (3.2)$$

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

Коефіцієнт теплопередачі внутрішніх стін і перегородок:

$$K_{вс} = 1.18 K_{nc} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (3.3)$$

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

Товщина ізоляційного шару для огорожі визначається по формулі:

$$\delta_{из} = \left[\frac{1}{K} - \left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \cdot \lambda_{из} \quad [\text{м}] \quad (3.4)$$

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 м;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Вибір ізоляційної конструкції огорож і розрахунок товщини теплової
ізоляції огорож.

Для стін вибираємо стандартні легкі пінополіуретанові панелі типу
«сендвіч» з коефіцієнтом теплопровідності ізоляції пенополиуретану [3]
 $\lambda_{из}=0.03$ Вт/(м·К) (стандартна товщина панелей 40,60,80,100 мм).

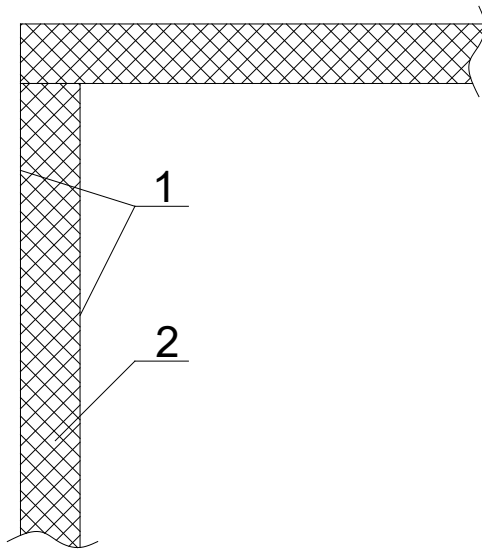


рис. 3.1 – Конструкція «сендвич» панелей

1 – алюмініва фольга;

2 – теплоізоляція пенополиуретан.

Для зовнішніх поверхонь зовнішніх стін і покриттів приймаємо
 $\alpha_n=23$ Вт/(м²К), для внутрішніх поверхонь з помірною примусовою
циркуляцією повітря приймаємо $\alpha_k=9$ Вт/(м²К).

Визначаємо розрахункову товщину ізоляції зовнішніх стін:

$$\delta_{из}=(1/0.4-(1/23+1/9))\cdot 0.03=0.07 \text{ м, приймаємо } \delta_{из}=0.08 \text{ м.}$$

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{нс}=1/(1/23+1/9+0.08/0.03)=0.35 \text{ Вт/(м}^2\text{К).}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Для зовнішніх поверхонь внутрішніх стін (коридор) приймаємо $\alpha_{\text{вн}}=8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

Визначаємо розрахункову товщину ізоляції внутрішніх стін:

$$\delta_{\text{из}}=(1/0.47-(1/9+1/8))\cdot 0.03=0.057 \text{ м, приймаємо } \delta_{\text{из}}=0.06 \text{ м.}$$

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{\text{вс}}=1/(1/8+0.06/0.03+1/9)=0.45 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К}).$$

Приймаємо між камерами зберігання ізоляцію таку ж, як і для перегородок.

Визначаємо розрахункову товщину ізоляції стелі:

$$\delta_{\text{из}}=(1/0.42-(1/23+1/9))\cdot 0.03=0.067 \text{ м, приймаємо } \delta_{\text{из}}=0.08 \text{ м.}$$

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{\text{ст}}=1/(1/23+1/9+0.08/0.03)=0.35 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ КАМЕР

Загальне теплове навантаження на холодильне устаткування:

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

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.

4.1 Розрахунок теплопритоків через огорожі

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

$$Q_1 = kF(\Delta t + \Delta t_c), \text{ Вт}, \quad (4.2)$$

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

F – площа огорожі м^2 ;

Δt – різниця між зовнішньою і внутрішньою температурою камери;

Δt_c – різниця температур від дії сонячного випромінювання.

$$\Delta t_c = p \cdot (q_c \cdot \epsilon_c / \alpha_n) \quad (4.3)$$

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

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

ϵ_c – коеф. поглинання сон. випромінювання поверхнею огорожі;

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

Із-за навісів рамп теплопритоки від сонячної радіації до зовнішніх західних стін відсутні.

Для 47° північної широти для південних стін вибираємо $q_c = 384 \text{ Вт}/\text{м}^2$, $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, фарба біла - $\epsilon = 0.3$, легка конструкція $p = 1$.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо різницю температур від сонячного випромінювання для південних стін камер: $\Delta t_c = 1 \cdot 384 \cdot 0.3 / 23 = 5 \text{ К}$

Для 47° північної широти для даху з горищем приймаємо $\Delta t_c = 10 \text{ К}$

Підлога у камерах схову не обігрівається, тому визначення теплопритоків через ґрунт ведеться позонно:

$$Q_{\Pi} = (t_n - t_k) \sum_{i=1}^4 (k_{yc})_i F_i \quad [\text{Вт}] \quad (4.4)$$

де F_i – площі відповідних зон, м^2 ;

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

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 кут).

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

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

Камери розташовано симетрично, площа відповідних зон однакова у кожної камери.

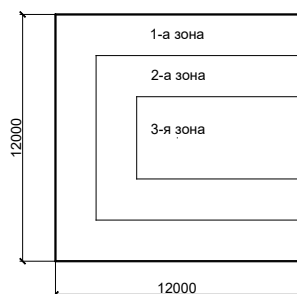


Рис 4.1 – Схема розташування концентричних зон в камері

Таблиця 4.1 – Розрахунок підлоги по зонах

	1-я зона, $F_1, \text{м}^2$	2-я зона, $F_1, \text{м}^2$	3-я зона, $F_1, \text{м}^2$	$\sum_{i=1}^4 (k_{yc})_i F_i, \text{Вт/К}$
Камера №1	72	48	32	49.92
Камера №2	72	48	32	49.92
Камера №3	72	48	32	49.92
Камера №4	72	48	32	49.92
Камера №5	72	48	32	49.92

Розрахунки теплопритоків крізь огорожі по усіх камерах зводимо в загальну таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Теплопритоки крізь огорожі

Камера №1		К, Вт/(м²К)	F, м²	tk, °C	tn, °C	Δtc, °C	Q1, Вт
	Північ	0,4	74,88	2	32	0	899
	Захід	0,4	71,68	2	32	0	860
	Південь	0,47	74,88	2	18	0	563
	Схід	0,47	71,68	2	2	0	0
	Підлога	49,92		2	32	0	1498
	Стеля	0,42	109,2	2	32	10	2439
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт						6259
Камера №2		К, Вт/(м²К)	F, м²	tk, °C	tn, °C	Δtc, °C	Q1, Вт
	Північ	0,47	74,88	2	18	0	563
	Захід	0,4	71,68	2	32	0	860
	Південь	0,4	74,88	2	32	5	1048
	Схід	0,47	71,68	2	2	0	0
	Підлога	49,92		2	32	0	1498
	Стеля	0,42	109,2	2	32	10	2439
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ2, Вт						6408
Камера №3		К, Вт/(м²К)	F, м²	tk, °C	tn, °C	Δtc, °C	Q1, Вт
	Північ	0,4	73,29	2	32	0	879
	Захід	0,47	71,68	2	2	0	0
	Південь	0,47	73,29	2	18	0	551
	Схід	0,47	71,68	2	18	0	539
	Підлога	49,92		2	32	0	1498
	Стеля	0,42	109,2	2	32	10	2388
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ3, Вт						5855
Камера №4		К, Вт/(м²К)	F, м²	tk, °C	tn, °C	Δtc, °C	Q1, Вт
	Північ	0,47	73,29	2	18	0	551
	Захід	0,47	71,68	2	2	0	0
	Південь	0,4	73,29	2	32	0	879
	Схід	0,47	71,68	2	18	5	707
	Підлога	49,92		2	32	0	1498
	Стеля	0,42	109,2	2	32	10	2388
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ4, Вт						6023
Камера №5		К, Вт/(м²К)	F, м²	tk, °C	tn, °C	Δtc, °C	Q1, Вт
	Північ	0,47	73,29	2	18	0	551
	Захід	0,47	71,68	2	2	0	0
	Південь	0,4	73,29	2	32	0	879
	Схід	0,47	71,68	2	18	5	707
	Підлога	49,92		2	32	0	1498
	Стеля	0,42	109,2	2	32	10	2388
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ5, Вт						6023

Розрахунки решти теплопритоків проводимо по одній камері, оскільки умови роботи і площі камер відрізняються незначно.

4.2 Розрахунок теплопритоків від вантажів при їх холодильній обробці

Теплопритоки від холодильної обробки вантажу розраховують по формулі:

$$Q_2 = (Q_{2B} + Q_{2T}) \cdot (\tau_{\text{ц}} / \tau_p) \quad [\text{Вт}], \quad (4.5)$$

де Q_{2B} – теплопритоки від добового надходження фруктів, Вт;

Q_{2T} – теплопритоки від тари, що поступає з вантажем, Вт;

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

τ_p – час, в перебігу якого споживається холод, год;

$$Q_{2B} = G_{\text{п}} \cdot (h_{\text{п}} - h_{\text{к}}) / 0.0864 \quad [\text{Вт}], \quad (4.6)$$

де $h_{\text{п}}, h_{\text{к}}$ – ентальпія фруктів при початковій і кінцевій температурі обробки, відповідно, кДж/кг;

$G_{\text{п}}$ – максимальне добове надходження вантажу в камеру, т.

Приймаємо максимальне добове надходження вантажу в камери 7% від місткості камер.

Фрукти в камери поступають з рефрижераторного транспорту з температурою $t_{\text{п}} = 8^\circ\text{C}$, охолоджуються в камері до температури зберігання.

Ентальпія фруктів при початковій температурі $h_{\text{п}} = 302$ кДж/кг, ентальпія фруктів при кінцевій температурі $h_{\text{к}} = 279$ кДж/кг

Визначаємо теплоприток при охолодженні вантажу:

$$Q_{2\text{гр}} = 0.07 \cdot 248 \cdot (302 - 279) / 0.0864 = 4621 \text{ Вт.}$$

Теплопритоки від тари, що поступає з вантажем, можна визначити по формулі:

$$Q_{2\text{тари}} = G_{\text{т}} \cdot C_{\text{т}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{к}}) / 0.0864 \quad [\text{Вт}], \quad (4.7)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де C_T – теплоємність тари, приймаємо для дерев'яних ящиків
 $C_T=2.5 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

G_T – маса тари, т, приймаємо для дерев'яних ящиків в кількості 20% від маси вантажу.

t_n, t_k – температура тари при початковій і кінцевій температурі, відповідно, $^{\circ}\text{C}$.

Визначуваний теплоприток від охолодження тари:

$$Q_{2\text{тари}}=0.2\cdot0.07\cdot248\cdot2.5\cdot(8-2)/0.0864=603 \text{ Вт.}$$

Тривалість циклу холодильної обробки, з урахуванням завантаження і вивантаження продукту – $\tau_{\text{ц}}=24 \text{ год.}$

Загальний теплоприток від обробки вантажу в режимі охолодження:

$$Q_2=(4621+603)\cdot(24/24)=5224 \text{ Вт}$$

4.3. Розрахунок теплопритоків при вентиляції камери

Теплопритокі від вентиляції камери визначаються по формулі:

$$Q_3=V_{\text{стр}}\cdot a\cdot\rho_k\cdot(h_3-h_k) \text{ [Вт]}, \quad (4.8)$$

де $V_{\text{буд}}$ – будівельний об'єм камери, м^3 , $V_{\text{буд}}=12\cdot12\cdot6=864 \text{ м}^3$;

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

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_3, h_k – ентальпії повітря при температурі зовнішньою і камери, $\text{кДж}/\text{кг}$, $h_n=74 \text{ кДж}/\text{кг}$, $h_k=12 \text{ кДж}/\text{кг}$.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплоприток від вентиляції:

$$Q_3 = 864 \cdot 3 \cdot 1.016 \cdot (74 - 12) / (3.6 \cdot 24) = 1890 \text{ Вт.}$$

4.4. Розрахунок експлуатаційних теплопритоків

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

Сумарні експлуатаційні теплопритоки визначаються по формулі:

$$Q_4 = Q_4' + Q_4'' + Q_4''' + Q_4'''' \quad [\text{Вт}], \quad (4.10)$$

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

Q_4'' - теплопритоки от електродвигунів, Вт;

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

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

Теплоприток від електричного освітлення визначається по формулі:

$$Q_4' = q_4' \cdot j_{\text{св}} \cdot F_{\text{стр}} \quad [\text{Вт}], \quad (4.11)$$

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

$j_{\text{св}}$ – коефіцієнт одночасності роботи світильників, приймаємо 3 зони освітлення $j_{\text{св}} = 0.33$.

Теплоприток від освітлення:

$$Q_4' = 3 \cdot 0.33 \cdot 144 = 144 \text{ Вт}$$

Теплоприток від електродвигунів повітроохолоджувачів визначаємо по формулі:

$$Q_4'' = j_{\text{дв}} \cdot \sum N_{\text{дв}} \quad [\text{Вт}], \quad (4.12)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot m \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3), \text{ Вт} \quad (4.13)$$

де m – коефіцієнт відношення потужності електродвигуна до його холодопродуктивності, в режимі зберігання $m=0.08$.

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.08 \cdot (6200 + 5224 + 1890) = 1278 \text{ Вт}$$

Визначаємо теплоприток від електродвигунів апаратів:

$$Q_4'' = 0.5 \cdot 1278 = 639 \text{ Вт}$$

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

$$Q_4''' = (270 - 6 \cdot t_k) \cdot n \text{ [Вт]}, \quad (4.14)$$

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

Теплоприток від людей:

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

Теплопритокі від інфільтрації через двері визначаються по формулі:

$$Q_4'''' = B \cdot F_{\text{стр}} \text{ [Вт]}, \quad (4.15)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Теплоприток від інфільтрації через двері:

$$Q_4''' = 9 \cdot 108 = 1296 \text{ Вт.}$$

Сумарні експлуатаційні теплопритоки:

$$Q_4 = 144 + 639 + 516 + 1296 = 2595 \text{ кВт}$$

4.5 Розрахунок теплопритоків від дихання охолоджених овочів

У загальному випадку для овочесховищ теплопритоки від дихання охолоджених фруктів розраховуються по формулі:

$$Q_5 = q_5' \cdot G_{\text{п}} + q_5'' \cdot (G_{\text{к}} - G_{\text{п}}), [\text{Вт}], \quad (4.16)$$

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

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

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

$$G_{\text{п}} = 0.07 \cdot 248 = 17.36 \text{ т}$$

Тепловиділення фруктів визначаються:

$$q_t = q_0 \cdot e^{bt} [\text{Вт/т}], \quad (4.18)$$

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

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

Для $t_{\text{п}} = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$q_5' = 12.1 \cdot e^{0.0932 \cdot 8} = 25.5 \text{ Вт/т.}$$

Для $t_{\text{п}} = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$q_5'' = 12.1 \cdot e^{0.0932 \cdot 2} = 14.6 \text{ Вт/т.}$$

$$Q_5 = 25.5 \cdot 17.36 + 14.6 \cdot (248 - 17.36) = 3810 \text{ Вт.}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.3 – Звідна таблиця теплопритоків

	Q ₁ , Вт	Q ₂ , Вт	Q ₃ , Вт	Q ₄ , Вт	Q ₅ , Вт	ΣQ _{кам} , Вт
Камера №1	6259	5224	1890	2595	3810	19778
Камера №2	5855	5224	1890	2595	3810	19374
Камера №3	6023	5224	1890	2595	3810	19542
Камера №4	6259	5224	1890	2595	3810	19778
Камера №5	6408	5224	1890	2595	3810	19927

Таким чином, сумарне навантаження на прилади в режимі охолодження в кожній камері складає $Q_0=19\div 20$ кВт. Для уніфікації устаткування прилади охолодження для всіх камер підбираємо по максимальному навантаженню. У камерах, як прилади, що охолоджують, будуть використані повітроохолоджувачі з безпосереднім кипінням фреону усередині труб, в кількості 2 штук в кожній камері, які забезпечать рівномірне температурно-вологове поле в процесі зберігання. Відповідно, навантаження на один апарат $Q_{по}=20/2=10$ кВт.

При розрахунку навантаження на компресора теплопритоки від холодильної обробки вантажу і експлуатаційні теплопритоки приймаємо у розмірі 50%, інші у розмірі 100%.

Сумарне навантаження на компресора:

$$\Sigma Q_0=(6259+6408+5855+6023)+0.5\cdot 5\cdot (5224+2595)+5\cdot (1890+3810)=62983 \text{ Вт.}$$

Таким чином, встановлюємо паралельно 3(1) компресори з холодопродуктивністю 21 кВт, що мають загальну лінію всмоктування і нагнітання.

Теплове навантаження на один компресор, визначається з урахуванням втрат в системі при безпосередньому охолодженні у розмірі 5 %, $\kappa=1.05$, і коефіцієнта робочого часу $b=0.9$:

$$Q_{0 \text{ комп}}=\kappa \cdot Q_0/b=1.05 \cdot 21/0.9=24.5 \text{ кВт} \quad (4.19)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ХОЛОДИЛЬНОЇ СИСТЕМИ

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

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

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

При роботі на хладоні R717, який використовуватиметься як холодильний агент, немає необхідності в додатковому перегріві на всмоктуванні, для забезпечення безпечної роботи компресорів, тому регенеративний теплообмінник в системі відсутній.

Тепловий розрахунок буде проводитись за наступними даними:

- холодильний агент – R717(аміак)
- температура кипіння R717 $t_0 = -6 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- потрібна холодопродуктивність $Q_{0 \text{ комп}} = 24.5 \text{ кВт}$;
- температура конденсації агента $t_k = 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- сумарний перегрів на всмоктуванні $\Theta = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- переохолодження після конденсатора $\Delta t_{\text{по}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

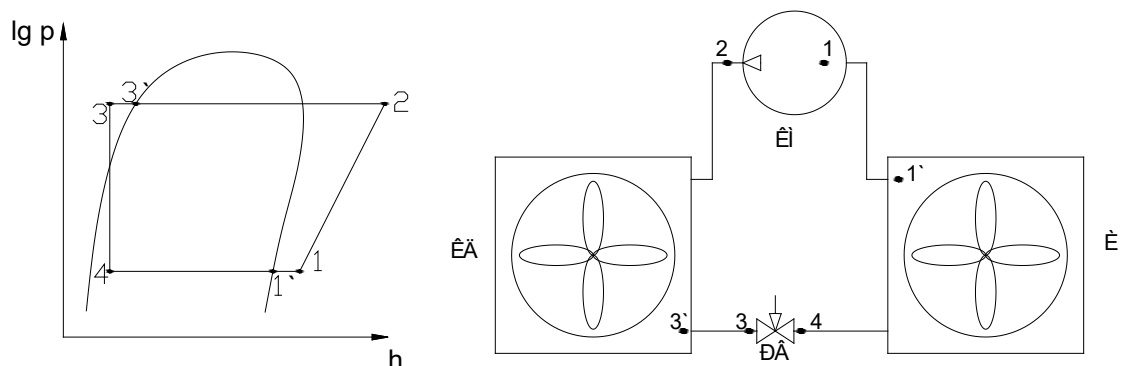


рис. 5.1 – Термодинамічний цикл і умовна схема холодильної системи

Процеси, відображені в циклі R717:

1-2 – стискування в компресорі;

2-3' – конденсація;

3-4 – дроселювання агента;

4-1 – кипіння у випарнику;

1'-1 – перегрів на всмоктуванні;

3'-3 – переохолодження після конденсатора.

Таблиця 5.1 – Розрахункові дані циклу холодильної машини

	1'	1	2	3	4
t, °C	-6	-1	80	38	-6.3
P, бар	5	5	19	19	5
h, кДж/кг	1366	1384	1413	1258	1258
v, м³/кг	-	0.045	-	-	

Питомі характеристики циклу:

- питома масова продуктивність:

$$q_0 = h_{1'} - h_4 = 1366 - 1258 = 108 \text{ кДж/кг} \quad (5.1)$$

- питома об'ємна продуктивність

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

- питома адіабатна робота стискування

$$l = h_2 - h_1 = 1413 - 1384 = 29 \text{ кДж/кг} \quad (5.3)$$

Масова витрата агента:

$$M_a = Q_0 / q_0 = 24.5 / 108 = 0.23 \text{ кг/с} \quad (5.4)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_d = M_a \cdot v_1 = 0.23 \cdot 0.045 = 0.01 \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.5)$$

Коефіцієнт подачі компресора:

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

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

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

Об'єм, описаний поршнями компресора:

$$V_h = V_d / \lambda = 0.01 / 0.72 = 0.014 \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.7)$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = M_a \cdot l = 0.23 \cdot 29 = 6.67 \text{ кВт} \quad (5.8)$$

Індикаторний ККД компресора:

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

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = N_a / \eta_i = 6.67 / 0.784 = 8.5 \text{ кВт} \quad (5.10)$$

Потужність тертя:

$$N_{тр} = V_h \cdot P_{тр} = 0.014 \cdot 40 = 0.56 \text{ кВт}, \quad (5.11)$$

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

Ефективна потужність компресора:

$$N_e = N_i + N_{тр} = 8.5 + 0.56 = 9.06 \text{ кВт} \quad (5.12)$$

Електрична потужність компресора:

$$N_{ел} = N_e / \eta_{ел} = 9.06 / 0.9 = 10.07 \text{ кВт}, \quad (5.13)$$

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 – Результати теплового розрахунку

Параметри	
Холодопродуктивність, кВт	24.5
Температура кипіння, °C	-6
Температура конденсації, °C	42
Перегрів в випарнику °C	5
Переохолодження в конденсаторі, °C	5
Тиск кипіння/конденсації, бар	5/19
Теор. об'єм, описаний поршнями, м³/с	0.014
Ефективна потужність компресора, кВт	9.06
Електрична потужність компресора, кВт	10.07

6 РОЗРАХУНОК ПОВІТРЯНОГО КОНДЕНСАТОРА

За результатами теплового розрахунку:

$$\sum Q_k = 3 \cdot (Q_{0 \text{ комп}} + N_e) = 3 \cdot (24.5 + 10.1) = 100 \text{ кВт}$$

Приймаємо для відведення теплоти конденсації повітряний конденсатор з продуктивністю $Q_k = 100 \text{ кВт}$

Дані для розрахунку:

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

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

Відносна вологість зовнішнього повітря: $\phi_n = 0.6$

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

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

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

Крок ребер: $u = 0.008 \text{ м}$

Ширина ребра: $B = 0.044 \text{ м}$

Матеріал труб/ребер: сталь

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: R717

5.1 Тепловий розрахунок конденсатора

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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:

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

- внутрішня поверхня труби ребристого елемента:

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

- повна зовнішня поверхня ребристого елемента:

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

- коефіцієнт обребрення β и ступінь обребрення ϕ_n :

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

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

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

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Критерій Рейнольдса визначаємо по формулі:

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

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

Критерій Нуссельта для пластинчастого ребра визначаємо по формулі:

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

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

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ребра до повітря визначаємо по формулі:

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

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

Умовна висота ребра для пластинчастих ребер визначаємо по формулі:

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

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

Для сталевих труб коефіцієнт теплопровідності стінки $\lambda_{тр} = 47 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$,
для сталевих ребер $\lambda_p = 47 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт ефективності ребра визначаємо по формулі:

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

$$E = \tanh[(2 \cdot 69.1 / (0.0008 \cdot 47))^{0.5} \cdot (0.018 + 0.5 \cdot 0.0008)] / [2 \cdot 69.1 / (0.0008 \cdot 47))^{0.5} \cdot (0.018 + 0.5 \cdot 0.0008)] = 0.91$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі визначаємо по формулі:

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

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

Розрахункові дані для визначення термічного опору шару мастила:

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

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

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

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

$$K = [(1 / 64.2 + 8 \cdot 2.2 \cdot 10^{-3} / (\pi \cdot (0.022^2 + 0.002^2)) \cdot (0.5 \cdot (0.022 - 0.02) / 47 + 0.0008 / 47 + 0.0005 / 0.12)]^{-1} = 23.8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Властивості агента (R717) 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:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q=\beta^{-1}\cdot 0.72\cdot [9.81\cdot r\cdot \rho_K^2\cdot \lambda_K^3\cdot (\mu_K\cdot d_{BH})^{-1}]^{0.25}\cdot (t_K-t_{CT})^{-0.75}, \text{ Вт/м}^2 \quad (5.9)$$

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

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

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

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

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

Повну оребрену поверхню апарату визначаємо по формулі:

$$F=Q_K\cdot 10^3/q, \text{ м}^2 \quad (5.11)$$

$$F=100\cdot 10^3/168.2=595 \text{ м}^2$$

5.2 Конструктивний розрахунок апарату

Об'ємна витрата повітря через апарат:

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

$$V=100/(1.16\cdot 1.005\cdot 6)=17.15 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\text{Площа «живого» перетину конденсатора: } F_{\text{ж}}=V/w=14.3/8=1.7 \text{ м}^2$$

$$\text{Сумарна довжина труб в апараті: } \sum L=F_{\text{ж}}/f_{\text{п}}=1.7/(2.2\cdot 10^{-3})=772 \text{ м}$$

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Число ребристих елементів у фронтальному перетині пучка труб апарату: $n_{\text{ре}} = F_{\text{ж}} / f_{\text{ж}} = 1.7 / 0.1465 \cdot 10^{-3} = 11604$

Сумарна довжина труб у фронтальному перетині пучка:

$$\sum L_{\text{ф}} = u \cdot n_{\text{ре}} = 0.008 \cdot 11604 = 92.8 \text{ м}$$

$$\text{Площа фронтального перетину апарату: } S_{\text{ф}} = S_1 \cdot \sum L_{\text{ф}} = 0.044 \cdot 92.8 = 4.1 \text{ м}^2$$

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

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

Орієнтовні геометричні розміри конденсатора:

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

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

Число труб у фронтальному перетині апарату з округленням до цілого:

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

Дійсні геометричні розміри конденсатора:

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

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

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

$$N = \sum L / \sum L_{\text{ф}} = 772 / 92.8 \approx 9$$

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

7 РОЗРАХУНОК ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА

У розрахунку використовуються наступні дані:

- холодопродуктивність апарату $Q_0=10000$ Вт;
- температура повітря камери $t_k=2$ °C;
- відносна вологість повітря камери $\phi_k=0.9$;
- швидкість повітря в живому перетині $V_B=3$ м/с;
- форма ребра – кругле;
- матеріал труб сталь $\lambda_{тр}=50$ Вт/(м·K), $d_n=0.02$ м, $d_{вн}=0.016$ м;
- матеріал ребер сталь $\lambda_p=50$ Вт/(м·K),
- крок ребер $u=0.008$ м, висота ребра $h_p=0.02$ м, товщина ребра у підстави $\delta_{op}=0.002$ м, у вершини $\delta_{вр}=0.0006$ м діаметр ребра $D_p=0.063$ м;
- температура кипіння агента (R 717) $t_0=-6$ °C;
- товщина інею, що осів $\delta_i=0.0015$ м, $\lambda_i=0.2$ Вт/(м·K).

Розрахунок

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

Температура на виході з апарату:

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

Середня температура повітря:

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

Задаємося середньою температурою поверхні ПО, покритою інеєм:

$$t_n = -2.9 \text{ °C}.$$

По таблицях визначаємо вологовміст насиченого повітря при:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_k - d_k'' = 0.0044 \text{ кг/кг}; t_{\text{п}} - d_{\text{п}}'' = 0.003 \text{ кг/кг}; t_{\text{в}} - d_{\text{в}}'' = 0.0038 \text{ кг/кг}.$$

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

Вологовміст на виході з повітроохолоджувача:

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

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

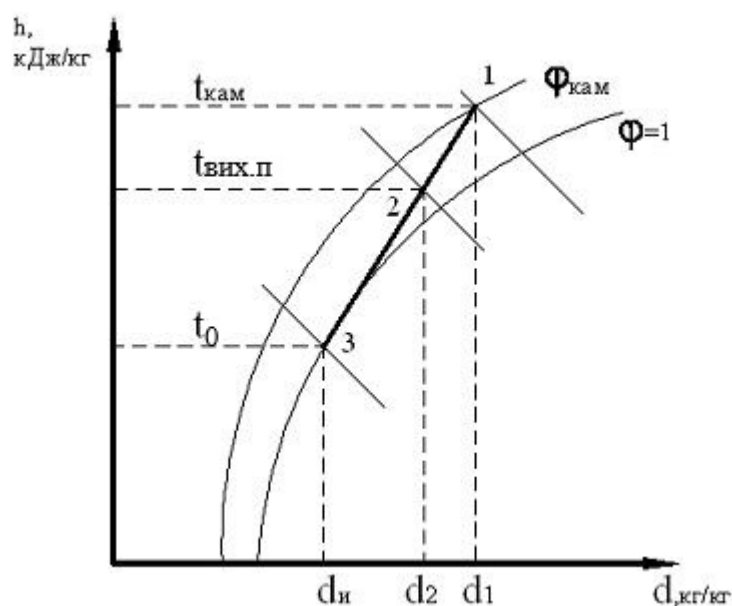


рис. 6.1 – Процес обробки повітря у повітроохолоджувачі в h-d діаграмі.

Відносна вологість на виході з апарату:

$$\phi_{\text{в}} = d_{\text{в}} / d_{\text{в}}'' = 0.0035 / 0.0038 = 0.93$$

Ентальпія повітря визначається по формулі:

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

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

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

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

Поперечний і подовжній крок труб при коридорній компоновці:

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

Геометричні параметри прийнятого ребристого елементу.

Зовнішня поверхня ребра:

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

Зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

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

Внутрішня поверхня труби ребристого елементу:

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

Повна зовнішня поверхня ребристого елементу:

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

Коефіцієнт оребрення:

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

Ступінь оребрення:

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

Умовний ступінь оребрення:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Геометричні характеристики поверхні інею.

Зовнішня поверхня інею на ребрі:

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

Внутрішня поверхня інею на трубі між двома суміжними ребрами:

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

Повна зовнішня поверхня інею на ребристому елементі:

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

Коефіцієнт оребрення поверхні, покритої інеєм:

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

Площа `живого` перетину одного ребристого елемента з інеєм:

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

Теплообмін з боку повітря.

Теплофізичні властивості повітря при t_c :

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт вологовипадіння визначається по формулі:

$$\xi=1+(d_{к''}\cdot\varphi_{к}-d_{п''})\cdot(2835-2.09\cdot t_{п})/[(1.006+1.87\cdot d_{п''})\cdot(t_{к}-t_{п})] \quad (6.3)$$

$$\xi=1+(0.0044\cdot0.9-0.003)\cdot(2835-2.09\cdot(-2.8))/$$

$$/[(1.006+1.87\cdot0.003)\cdot(2+2.8)]=1.073$$

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

Визначальний розмір:

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

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

Число Рейнольдса:

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

$$Re_B=3\cdot0.051/(13.28\cdot10^{-6})=11498$$

Число Нусельта:

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні повітроохолоджувача до повітря:

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

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

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

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

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

Умовна висота ребра:

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

Безрозмірний комплекс

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

Коефіцієнт ефективності ребра:

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

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

Коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддачі по висоті ребра:

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елементу:

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

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

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби:

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

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

Коефіцієнт тепловіддачі в трубах апарату:

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

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

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

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні інею:

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні сухої поверхні:

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

Перевіряємо раніше прийняту температуру поверхні апарату:

- щільність теплового потоку, віднесена до зовнішньої поверхні інею:

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

- розрахункова різниця температур:

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

- відносна погрішність прийнятої і розрахункової різниці температур:

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

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

$$F_n = Q_0 / [K_n \cdot (t_c - t_0)] = 10000 / (10.67 \cdot 7) = 133.7 \text{ м}^2$$

Компонувальний розрахунок повітроохолоджувача.

Конструктивно проєктований повітроохолоджувач складатиметься з двох однакових теплообмінних секцій, через які прокачуватиметься вентиляторами тепле повітря, що відводиться з штабелів вантажу. Відповідно, холодопродуктивність і зовнішня площа кожної секції складатиме половину від розрахункових.

Об'ємна витрата повітря через секцію повітроохолоджувача:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$V_B = 3.35 / [1.29 \cdot (13.08 - 9.62)] = 0.75 \text{ м}^3/\text{с}$$

По графіках характеристик вентиляторів вибираємо 2 вентиляторів марки ВО-12-303-4 при орієнтовному натиску $H=120$ Па з діаметром вентилятора $D_B=0.4$ м.

Мінімальний `живий` перетин повітроохолоджувача:

$$F_{\text{ж}} = V_B / w_B = 0.75 / 3 = 0.25 \text{ м}^2$$

Площа фронтального перетину повітроохолоджувача:

$$F_{\text{ф}} = F_{\text{ж}} \cdot S_1 \cdot u / f_{\text{ж}} = 0.25 \cdot 0.069 \cdot 0.008 / 0.00044 = 0.32 \text{ м}^2$$

Задаємося орієнтовною довжиною теплообмінної секції $L'=1$ м, тоді ширина секції : $H'=F_{\text{ф}} / L' = 0.32 / 1 = 0.32$ м.

Число труб у фронтальному перетині пучка з округленням до цілого:

$$z_1 = H' / S_1 = 0.32 / 0.069 = 4.6$$

Приймаємо дійсне число труб $z_1=5$ шт

Дійсна ширина і довжина секції:

$$H = z_1 \cdot S_1 = 5 \cdot 0.069 = 0.345 \text{ м}$$

$$L = F_{\text{ф}} / H = 0.32 / 0.345 = 0.92 \text{ м}$$

Кількість труб по ходу повітря з округленням до найближчого більшого цілого: $z_2 = F_H / [f_{\text{п}} \cdot (F_{\text{ж}} / f_{\text{ж}})] = 40 / [0.0061 \cdot (0.25 / 0.00038)] = 10$ шт

Розрахункові параметри теплообмінної поверхні:

- сумарна довжина труб апарату:

$$\Sigma L = L \cdot z_1 \cdot z_2 = 0.81 \cdot 12 \cdot 10 = 97.2 \text{ м};$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- площа зовнішньої поверхні:

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

- глибина секції:

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

Перевірка по аеродинамічному опору.

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

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

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

Коефіцієнт, що враховує лінійні розміри ребер:

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

Коефіцієнт, що враховує фізичні властивості повітря:

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

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

Т.ч.

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

8 ПІДБІР КОМПРЕСОРІВ ТА ДОПОМІЖНОГО УСТАТКУВАННЯ

8.1 Підбір компресорів, конденсаторів та повітроохолоджувачів

Компресори

Для забезпечення холодопродуктивності в режимі зберігання картоплі приймаємо розрахункове навантаження на один компресор $Q_0 \approx 25$ кВт. Сучасне рішення — використання **гвинтових компресорів Bitzer серії OSKA5341-K або BOCK HGX** (для NH_3/CO_2).

- **Bitzer OSKA5341-K:** холодопродуктивність ~ 60 кВт при $t_0 = -6^\circ\text{C}$, $t_k = 42^\circ\text{C}$;
- Енергоефективність (COP) $\approx 3,2$;
- Можливість роботи на природних холодоагентах (NH_3 , CO_2).

Для нашої системи приймаємо **3 компресори Bitzer OSKA5341-K**, що забезпечують необхідний запас потужності та гнучкість у роботі.

Конденсатори

Розрахункове теплове навантаження:

$$\sum Q_k = 3 \cdot (Q_0 \text{ комп} + Q_e) \approx 3 \cdot (63 + 21) = 252 \text{ кВт}$$

Для відведення теплоти конденсації застосовуємо сучасні **повітряні конденсатори Alfa Laval серії BNMT або LU-VE EHDT**.

- **Alfa Laval BNMT1001BT:** теплопродуктивність ~ 90 кВт при $t_k = 42^\circ\text{C}$;
- Оснащені ЕС-вентиляторами з плавним регулюванням швидкості;
- Низький рівень шуму, енергоефективність класу А.

Приймаємо **3 конденсатори Alfa Laval BNMT1001BT**, кожен потужністю ~ 90 кВт.

Повітроохолоджувачі

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Для камер зберігання картоплі необхідно забезпечити рівномірний температурний режим $t = +2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\phi = 90\%$. Встановлюємо по два підвісних стельових охолоджувача на камеру.

- **Alfa Laval AlfaCubic BLH353AS**: холодопродуктивність $\sim 11\text{ кВт}$ при $t_0 = -2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Оснащені нержавіючим теплообмінником, антикорозійним покриттям;
- Рівномірний розподіл повітря, низький рівень шуму.

Приймаємо **Alfa Laval AlfaCubic BLH353AS**, по два охолоджувачі на кожну камеру.

Таблиця 8.1 - Підсумкова таблиця основного обладнання.

Елемент	Модель	Кількість	Потужність / параметри
Компресори	Bitzer OSKA5341-K	3 шт.	$Q_0 \approx 60\text{ кВт}$, $\text{COP} \approx 3,2$
Конденсатори	Alfa Laval BNMT1001BT	3 шт.	$Q_k \approx 90\text{ кВт}$, $t_k = 42\text{ }^{\circ}\text{C}$
Повітроохолоджувачі	Alfa Laval AlfaCubic BLH353AS	2 шт./кам.	$Q_0 \approx 11\text{ кВт}$, $\phi = 90\%$

8.2 Підбір допоміжного устаткування

Лінійний ресивер призначений для рівномірної подачі рідкого холодоагенту на дроселюючі пристрої та його зберігання при зупинці системи. Розрахунковий об'єм ресивера визначається як не менше 60% об'єму повітроохолоджувачів, з урахуванням коефіцієнта заповнення 50% та запасу 20% для безпеки:

$$V_{\text{Л}} = (0.6 \cdot V_{\text{вип}} 0.5) \cdot 1.2 = 0.68\text{ м}^3$$

Приймаємо сучасний горизонтальний ресивер **Alfa Laval VLR-0.75**, робочий тиск до 2,0 МПа, діапазон температур $-40 \dots +50\text{ }^{\circ}\text{C}$, оснащений запобіжними клапанами Ду 15 мм.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Віддільник рідини

Віддільник рідини захищає компресор від попадання рідкого холодоагенту. Сучасне рішення — вертикальний циліндричний апарат із автоматичними датчиками рівня та сигналізацією. Приймаємо віддільник рідини **Danfoss SLR-200**, робочий тиск до 2,0 МПа, швидкість пари $\leq 0,5$ м/с, діапазон температур $-50 \dots +40$ °С.

Масловіддільник

Масловіддільники призначені для відділення масла, що виходить із компресорів разом із холодоагентом. Підбір здійснюється за діаметром нагнітального патрубку компресора. Приймаємо сучасний циклонний масловіддільник **Alfa Laval OCS-50**, робочий тиск до 2,0 МПа, ефективність відділення масла $\geq 99\%$.

Маслозбірник

Маслозбірник використовується для збору масла з апаратів та його подальшого видалення із системи. Приймаємо вертикальний маслозбірник **Baltimore Aircoil MZ-10**, робочий тиск до 2,0 МПа, діапазон температур $-40 \dots +150$ °С, оснащений штуцерами для зливу та контролю рівня.

Дренажний ресивер

Для захисту віддільника рідини від переповнення та зберігання холодоагенту при тривалій зупинці системи застосовується дренажний ресивер. Приймаємо горизонтальний ресивер **Alfa Laval VLR-0.75**, аналогічний лінійному, робочий тиск до 2,0 МПа.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 8.2 - Підсумкова таблиця допоміжного обладнання

Елемент	Модель	Об'єм / параметри	Робочий тиск	Діапазон температур
Лінійний ресивер	Alfa Laval VLR-0.75	0,75 м³	2,0 МПа	–40...+50 °С
Віддільник рідини	Danfoss SLR-200	Ø200 мм, Н=1,2 м	2,0 МПа	–50...+40 °С
Масловіддільник	Alfa Laval OCS-50	DN50	2,0 МПа	–40...+60 °С
Маслозбірник	BAC MZ- 10	10 л	2,0 МПа	–40...+150 °С
Дренажний ресивер	Alfa Laval VLR-0.75	0,75 м³	2,0 МПа	–40...+50 °С

9 РОЗРАХУНОК МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Об'ємна витрата агента:

$$V_a = M_a / \rho, \text{ [м}^3/\text{с]}, \quad (9.1)$$

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

Діаметр трубопроводу, що розраховується:

$$d = 1.13 \cdot (V_a / w)^{0.5}, \text{ [м]}, \quad (9.2)$$

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 – щільність агента $\rho_2 = 86.6 \text{ кг/м}^3$.

$$V_a = 0.53 / 86.6 = 0.0061 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.0061 / 14)^{0.5} = 0.023 \text{ м}.$$

Приймаємо на нагнітанні сталеву трубу 24×1.5 .

Всмоктуючий трубопровід для одного компресора:

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

$$V_a = 0.53 / 24.4 = 0.022 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.022 / 12)^{0.5} = 0.028 \text{ м}.$$

Приймаємо на всмоктуванні сталеву трубу 32×2 .

Трубопровід на сливі від конденсаторів до ресівера:

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

$$V_a = 0.53 \cdot 3 / 964 = 0.0016 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.0012 / 1)^{0.5} = 0.016 \text{ м}.$$

Приймаємо на рідинному зливі сталеву трубу 18×1.6 .

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10 ОХОРОНА ПРАЦІ

Загальні вимоги

Аміак (NH_3) є ефективним природним холодоагентом, але має токсичні та вибухонебезпечні властивості. Тому експлуатація аміачних холодильних установок потребує суворого дотримання правил охорони праці та техніки безпеки.

Основні ризики:

- токсичність при вдиханні парів;
- корозійна дія на матеріали;
- небезпека утворення вибухонебезпечних сумішей з повітрям;
- ризик витоків через високий робочий тиск.

Нормативна база в Україні

- ДБН В.2.5-67:2013 «Холодильні установки»;
- **Правила охорони праці під час експлуатації аміачних холодильних установок» (наказ Держгірпромнагляду № 257);
- Санітарні норми ДСанПіН щодо гранично допустимих концентрацій аміаку у повітрі робочої зони (20 мг/м^3).

Організаційні заходи

- Допуск до роботи лише персоналу, який пройшов спеціальне навчання та інструктаж.
- Регулярні медичні огляди працівників.
- Забезпечення робочих місць засобами індивідуального захисту (протигази марки КД, захисні окуляри, спецодяг).
- Наявність плану ліквідації аварійних ситуацій та проведення тренувань.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Технічні заходи

- Установки обладнуються **системами газоаналізу** для контролю концентрації аміаку.
- Автоматичні сигналізації при перевищенні допустимих рівнів.
- Приміщення компресорних цехів оснащуються **приточно-витяжною вентиляцією** з аварійним режимом.
- Використання запобіжних клапанів, аварійних ресиверів та дренажних систем.
- Всі трубопроводи та апарати маркуються відповідно до стандартів.

Аварійні заходи

- При витокі аміаку необхідно негайно евакуювати персонал та включити аварійну вентиляцію.
- Викликати аварійну службу та локалізувати витік.
- Зона аварії огорожується, доступ сторонніх осіб забороняється.
- Постраждалим надається перша допомога: виведення на свіже повітря, інгаляція киснем, промивання очей та шкіри водою.

Сучасне обладнання для безпеки

- Газоаналізатори **Dräger Polytron NH₃** — безперервний контроль концентрації аміаку.
- Системи аварійної вентиляції **Systemair** з датчиками включення.
- Запобіжні клапани **Danfoss SFA** для захисту від перевищення тиску.
- Аварійні душові та станції промивання очей (Haws, Guardian).

Підбір запобіжного клапану

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Визначимо мінімальну площу перетину клапана

$$F = \frac{M}{\mu \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (P_1 - P_2)}} \text{ [м}^2\text{]}, \quad (10.1)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Діаметр клапану

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} \text{ [м]}, \quad (10.2)$$

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

Обираємо діаметр клапану з стандартного ряду $d = 0.02$ м.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Організація безпечної експлуатації на холодильних установках.

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

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

Заземлювання.

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

Розрахунок штучного заземлювання

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

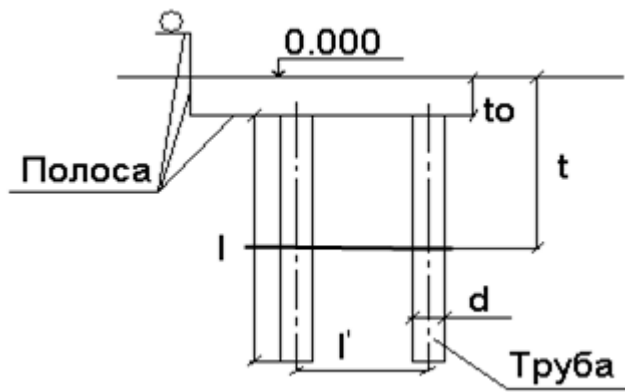


Рис.8.1 – Схема заземлювання

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

Визначимо розрахункове значення питомого опору ґрунту

$$\rho_p = \rho_\phi \cdot \psi, \quad (10.3)$$

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

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

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

приймаємо $\psi = 1,1$.

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

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

Задаємося довжиною вертикального заземлювача з умови

$$\frac{l'}{l} = 1; 2; 3, \quad (10.4)$$

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

l – довжина заземлювача.

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

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

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

Розрахуємо опір одного вертикального заземлювача

$$R_o = \frac{\rho_p}{2\pi l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right) [\text{Ом}], \quad (10.5)$$

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

Визначимо кількість вертикальних заземлювачів

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

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

Визначимо опір системи вертикальних заземлювачів

$$R_{св} = \frac{R_o}{n' \cdot \eta_v}, \quad (10.6)$$

де η_v – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів,

$$\eta_v = 0,77 [6].$$

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

Визначимо опір з'єднувальної смуги:

Довжина смуги:

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

Довжина смуги не повинна перевищувати 150 м

Опір смуги:

$$R_n = \frac{P_p}{2\pi L \eta_r} \cdot \ln \frac{L^2}{d \cdot t_o}, \quad (10.7)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де η_r – коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів,
 $\eta_r = 0.92$ [6].

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

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

Визначимо загальний опір системи

$$R_c = \frac{R_n \cdot R_{cb}}{R_n + R_{cb}} < R_{тр}$$

$$R_c = \frac{4.9 \cdot 3.63}{4.9 + 3.63} = 2.08 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

Протипожежні заходи

Загальні положення

Протипожежні заходи реалізуються комплексом проектних рішень, спрямованих на:

- попередження виникнення пожежі та вибуху;
- створення умов для ефективного гасіння пожежі;
- обмеження поширення вогню;
- забезпечення безпечної евакуації працівників та матеріальних цінностей.

Нормативна база

В Україні діють:

- **Правила пожежної безпеки для промислових підприємств** (Наказ МВС №1417);
- **Правила будови і безпечної експлуатації аміачних холодильних установок**;
- **ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»**;
- **ДСТУ EN 378:2017 «Холодильні установки та теплові насоси. Вимоги щодо безпеки та охорони довкілля»**.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Організаційні заходи

- Розробка та затвердження інструкцій з пожежної безпеки.
- Проведення регулярних інструктажів та навчань персоналу.
- Забезпечення приміщень планами евакуації та системами оповіщення.
- Призначення відповідальних осіб за пожежну безпеку.

Технічні заходи

У приміщенні компресорної передбачено:

- **Щит первинних засобів пожежогасіння**, що включає:
 - вогнегасники (порошкові та вуглекислотні);
 - пожежні рукави та стволи;
 - ящики з піском та лопатами;
 - кошми (покривала для гасіння загорянь).
- **Автоматична пожежна сигналізація** з датчиками диму та температури.
- **Система автоматичного пожежогасіння** (водяна або газова, залежно від приміщення).
- **Приточно-витяжна вентиляція** з аварійним режимом для видалення парів аміаку.
- **Аварійне освітлення та системи оповіщення** для забезпечення евакуації.

Сучасне обладнання для протипожежного захисту

- **Вогнегасники Ogniochron ABC-12** (порошкові, універсальні).
- **Вуглекислотні вогнегасники Gloria CO₂-5** для електрообладнання.
- **Автоматичні системи пожежогасіння Minimax MX 1230** (газове середовище).
- **Датчики диму та NH₃ Dräger** з інтеграцією у систему пожежної сигналізації.
- **Аварійні світильники Philips CoreLine** для евакуаційних виходів.

Визначення об'єму недоторканого запасу води для гасіння пожежі.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

категорія приміщення – А

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

$$V_a = \frac{k \cdot g \cdot n \cdot \tau}{1000} \cdot 3600 \text{ [м}^3\text{]}, \quad (10.8)$$

де k – коефіцієнт запасу, $k = 1.1..1.2$, приймаємо $k = 1,2$;

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

n – кількість одночасних пожеж, згідно зі ДБН В.1.1-7:2016, приймаємо $n = 1$;

τ – тривалість гасіння пожежі.

Згідно зі ДБН В.1.1-7:2016 при ступені вогнестійкості І и ІІ з виробництвами категорій Г та Д розрахункову тривалість гасіння пожежі слід приймати рівною двом годинам; в інших випадках – три години, приймаємо $\tau = 3 \text{ г.}$

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

Виробнича санітарія

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вентиляція

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

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

Визначимо видатність вентиляції з кратності повітрообміну

$$L = k \cdot V_{\text{пом}} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right], \quad (10.9)$$

де k – кратність повітрообміну, приймаємо для робочої вентиляції:

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

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

тоді

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

$$L_{\text{выт}} = 3 \cdot 938 = 2814 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

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

Визначимо потужність вентилятора

$$N = \frac{k \cdot L \cdot \Delta P_n}{\eta_v \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot 3.6 \cdot 10^6} [\text{кВт}], \quad (10.10)$$

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ΔP_n – втрати тиску в мережі повітроводів;

приймаємо для робочої вентиляції:

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

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

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

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

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

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

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

Освітлення

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

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

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Розрахунок освітлення

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

Визначимо відстань, між центрами світильників виходячи з умови

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

$$L = 2.8 \cdot 1.5 = 4.2 \text{ м}$$

Визначимо кількість світильників

$$N = \frac{A \cdot B}{L^2} [\text{шт}], \quad (10.11)$$

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

Визначимо світловий потік одного світильника

$$\Phi = \frac{E_n \cdot k \cdot z \cdot S \cdot 100}{N \cdot \eta} [\text{лм}], \quad (10.12)$$

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

k – коефіцієнт запасу, $k = 1.5$;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, $z = 1.1$;

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

η – коефіцієнт використання світлового потоку залежить від:

ККД та кривої розподілення сили світла світильника, коефіцієнту відбиття від стелі та стін ($\rho_{\text{ст}}$, $\rho_{\text{п}}$), висоти підвісу світильників над робочей поверхнею, показника приміщення:

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Компонуємо світильник:

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

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

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

Потужність освітлювальної установки

$$P = N \cdot n \cdot p \text{ [Вт]}, \quad (10.13)$$

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

p – потужність лампи, $p = 40$ Вт;

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

Долікарська допомога у випадку отруєння аміаком та ураженні електричним струмом

Ураження електричним струмом

Перша долікарська допомога у нещасних випадках від електричного струму складається з двох етапів: звільнення потерпілого від дії струму та надання йому медичної допомоги.

Звільнення потерпілого від дії струму найбільш простий та правильний спосіб – це відключення відповідної частини електроустановки. Якщо відключення швидко зробити неможна через будь-які причини, при напрузі до 1000 В перерубати дроти сокирою з дерев'яною рукояткою або відтягнути потерпілого від струмопровідної частини, тримаючись за його одяг, якщо він сухий, відкинути від нього дріт за допомогою дерев'яної палиці та ін.

При напрузі більше 1000 В слід застосовувати діелектричні рукавиці, боти та в необхідних випадках ізолюючу штангу або ізолюючі кліщі, розраховані на відповідну напругу.

Заходи першої медичної допомоги потерпілому від електричного струму залежать від його стану. Якщо потерпілий у свідомості, але до цього був в непритомності або тривалий час знаходився під струмом, йому

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідно забезпечити повний спокій до прибуття лікаря або терміново доставити до лікувальної установи.

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

Якщо постраждалий погано дихає - рідко, судорожно або якщо дихання поступово погіршується, тоді як у всіх цих випадках продовжується нормальна робота серця, необхідно робити штучне дихання.

За відсутності ознак життя треба робити штучне дихання і зовнішній масаж серця.

Отруєння аміаком

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

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

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

ЗАХИСТ РОБОЧИХ І СЛУЖБОВЦІВ ВІД СИЛЬНО ДІЮЧИХ ОТРУЮЧИХ РЕЧОВИН (АМІАК)

Безпека і надійність роботи персоналу забезпечується суворим дотриманням технологічних режимів експлуатації основних виробничих агрегатів і перевантажувальних комплексів, своєчасним проведенням капітальних і регламентних ремонтів.

Основні напрямки діяльності адміністрації в питаннях попередження локалізації і ліквідації надзвичайних ситуацій:

1. Попередження виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру і забезпечення мінімізації збитку у разі стихійного лиха, аварій, катастроф, вибухів:

- планування заходів щодо попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій; прогнозування можливості виникнення надзвичайних ситуацій і масштабів їх розвитку; безперервний контроль за станом навколишнього природного середовища; забезпечення необхідного рівня оснащення і підготовки аварійно-рятувальних формувань; організація їх підготовки для дій з призначення; створення необхідних запасів матеріальних засобів, зв'язку, засобів індивідуального захисту, медичного устаткування.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

2. Оповіщення персоналу і населення про загрозу і виникнення надзвичайних ситуацій, постійне інформування про обстановку, що складається:

- створення локальних систем оповіщення;
- забезпечення ефективної роботи диспетчерської служби;

3. Виконання заходів щодо захисту основних виробничих фондів (забезпечення стійкості систем водопостачання, теплопостачання, електропостачання, газопостачання і так далі).

4. Підготовка і перепідготовка осіб керівного, інженерно-технічного складу по питаннях охорони праці, цивільній обороні, пожежній безпеці.

5. Захист персоналу заводу від наслідків надзвичайних ситуацій:

- забезпечення засобами захисту, приладами контролю;
- укриття в захисних спорудах;
- евакуація;
- медичне забезпечення.

6. Організація і проведення рятувальних і інших невідкладних робіт, організація життєзабезпечення персоналу у разі надзвичайних ситуацій:

- планування заходів щодо ліквідації надзвичайних ситуацій і ведення рятувальних і інших невідкладних робіт (план ЦО, об'єктова підсистема, інструкції);
- забезпечення управління підприємством в екстремальних умовах;
- організація рятувальних і інших невідкладних робіт.

Для своєчасного реагування на можливі надзвичайні ситуації, пов'язані з викидом (протокою) аміаку і інших шкідливих речовин в атмосферу, на заводі є автоматизована система контролю навколишнього середовища (АСКНС), що забезпечує постійний контроль і своєчасне виявлення шкідливих речовин в повітрі на території заводу і в довколишніх населених пунктах.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система АСКНС включає п'ять станцій багатокомпонентного контролю атмосфери, які автоматично, в постійному режимі передають інформацію на комп'ютер диспетчера про наявність в атмосфері наступних речовин: аміаку, метанолу, окислу вуглецю, двоокиси сірі, водяної пари, окислу і двоокиси азоту.

Є система моніторингу аміаку в місцях виробництва, перевантаження і зберігання аміаку, що складається з 31 датчика, які в автоматичному режимі передають інформацію про наявність аміаку в атмосфері на комп'ютер диспетчера заводу і в ЦПУ цехів виробництва аміаку, перевантаження аміаку і виробництва карбаміду, а також оперативному черговому Головного управління ДСНС в Одеській області.

На підприємстві впроваджена автоматизована комп'ютерна система моделювання і розрахунку зон ураження при розливах аміаку, що дозволяє в режимі реального часу і на будь-який прогнозований період визначити території, що потрапили в зону зараження, і концентрацію аміаку в них. При цьому автоматично враховується вплив метеорологічних параметрів: швидкість і напрям вітру, температура, вологість, стан атмосфери, які поступають на комп'ютер з автоматичної метеостанції.

Межі допустимої концентрації аміаку:

- у населеному пункті – 0.2 мг/м^3 ;
- на території підприємства – 7 мг/м^3 ;
- вражаюча концентрація – 250 мг/м^3 ;
- смертельна концентрація – 1000 мг/м^3 ;

Запах аміаку відчувається при концентрації більше 0.5 мг/м^3 .

Безпека персоналу підприємства забезпечується наявністю індивідуальних і колективних засобів захисту. Кожному працівникові заводу виданий протигаз з коробкою мазкі КД, орієнтовний час захисної дії якого наступний:

- при концентрації 100 мг/м^3 – 75 годин; 300 мг/м^3 – 25 годин;
- 2000 мг/м^3 – 4 години.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Є три захисні споруди, призначені для укриття і захисту людей від отруйливих речовин, проникаючої радіації, світлового випромінювання, ударної хвилі, радіоактивного пилю, бактерійних засобів, місткістю 600 чоловік кожне, із ступенем ослаблення проникаючої радіації - 2000.

Устаткування захисних споруд забезпечує їх експлуатацію в режимах:

- I – чистій вентиляції;
- II – фільтровентиляція повітря;
- III – повній ізоляції від зовнішнього повітря, з регенерацією і створенням підпору повітря.

На підставі Закону України Про цивільну оборону України, Закону України "Про єдину державну систему по попередженню і реагуванню на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру" на заводі є відділ по питаннях надзвичайних ситуацій і цивільній обороні.

Штатний склад відділу - 4 людини.

Відділ по питаннях НС і ГО здійснює:

- роботу по впровадженню і реалізації на заводі державних правових норм у сфері цивільної оборони, захисту працюючого персоналу і територій від надзвичайних ситуацій;
- розробку планів цивільної оборони і здійснення організаційних в інженерно-технічних заходів, направлених на попередження надзвичайних ситуацій і підвищення стійкості функціонування заводу в надзвичайних ситуаціях;
- організацію взаємодії аварійно-рятувальних служб заводу;
- забезпечення взаємодії з місцевими виконавськими органами і координацію дій з органами управління територіальних структур ДСНС України при реагуванні на надзвичайні ситуації і ліквідації їх наслідків;
- організацію роботи диспетчерської служби заводу по сповіщенню працюючого персоналу ОПЗ, розташованих поблизу заводу підприємств і населення при загрозі і виникненні надзвичайних ситуацій;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

- забезпечення роботи автоматизованих систем аналізу і прогнозу хімічної обстановки і технічних засобів сповіщення;

- підтримка в постійній готовності до використання колективних засобів захисту, запасного пункту управління цивільної оборони і запасного диспетчерського пункту;

- підготовку і навчання персоналу заводу по питаннях цивільної оборони, попередження і реагування на надзвичайні ситуації.

Зовнішній і внутрішній контури системи контролю рівня загазованості повинні мати два рівні контролю концентрації аміака в повітрі:

- I рівень. Гранично допустима концентрація (ГДКр.з);

- II рівень. Аварійний витік фреону - концентрація фреону у місцях установки датчиків досягла величини, рівної 25 ГДКр.з

е) Система повинна бути обладнана автоматичними засобами, що дозволяють контролювати рівень загазованості на промисловому майданчику (I рівень зовнішнього контура контролю) і прогнозувати розповсюдження зони хімічного зараження за територію об'єкту. Таке оснащення повинне бути обґрунтоване оцінкою можливих наслідків аварії, підтвердженої відповідними розрахунками.

ж) Для хладонових холодильних установок, що мають в своєму складі технологічні блоки III категорії вибухонебезпеки.

з) Допускається установка сигналізаторів концентрації пари фреону, що спрацьовують при заданих значеннях концентрацій. Об'єм інформації від встановлених сигналізаторів повинен бути достатнім для формування відповідних дій, що управляють.

і) Система контролю рівня загазованості при перевищенні заданої величини концентрації фреону повинна забезпечувати автоматичне виконання наступних дій:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Актуальність роботи: Розробка системи охолодження для овочесховища місткістю 900 тонн є важливим завданням для забезпечення продовольчої безпеки та зменшення втрат продукції. Використання природних холодоагентів R717 (NH₃) відповідає сучасним екологічним вимогам та міжнародним стандартам.

Технологічні рішення:

- Прийнято оптимальні параметри зберігання картоплі: температура +2 °С, відносна вологість 90%.
- Система охолодження базується на компресійних установках із сучасними гвинтовими компресорами Bitzer, повітряними конденсаторами Alfa Laval та стельовими повітроохолоджувачами AlfaCubic.
- Використання контейнерного зберігання та активної вентиляції забезпечує рівномірний температурний режим і знижує втрати маси продукції.

Допоміжне обладнання:

- Підібрані сучасні ресивери, віддільники рідини, масловіддільники та маслозбірники, що гарантують стабільну роботу системи та захист компресорів.
- Використання автоматичних систем контролю рівня та запобіжних клапанів підвищує надійність і безпеку експлуатації.

Охорона праці та безпека:

- Враховані вимоги охорони праці при роботі з аміачними установками: газоаналізатори, аварійна вентиляція, засоби індивідуального захисту, план ліквідації аварій.
- Протипожежні заходи реалізовані комплексно: автоматична сигналізація, первинні засоби пожежогасіння, системи аварійного освітлення та евакуації.

Енергоефективність та екологічність:

- Використання природних холодоагентів знижує вплив на довкілля та відповідає вимогам ЄС щодо озонобезпечних технологій.
- Застосування сучасних енергоефективних вентиляторів та систем рекуперації тепла зменшує експлуатаційні витрати.

Практична значимість: Запропонована система охолодження забезпечує тривале зберігання картоплі без втрати якості, відповідає сучасним українським та міжнародним стандартам, а також може бути використана як модель для інших фермерських господарств.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. 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. – Миколаїв: ОНТУ, 2022 р. – 164 с.
2. Бараболя О.В., Прудкий Т.А. Зберігання картоплі – технології, умови та секрети. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, Полтава: ПДАУ, 2022.
3. Мельник С., Пашковський А., Суліма Л. Прогресивні технології вирощування і зберігання картоплі. Київ: Центр аграрних технологій «Дукат», 2010..
4. ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування".
5. ДСТУ EN 378:2017. Холодильні установки та теплові насоси. Вимоги щодо безпеки та охорони довкілля. Гармонізований стандарт України з європейськими нормами.
6. FAO (Food and Agriculture Organization). *Handbook on Potato Storage and Processing*. Рим: FAO, 2018. Міжнародний посібник з технологій зберігання картоплі.
7. Плодоовочесховища: проектування, оптимізація, розрахунки [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, В. П. Кочетов, А. В. Форсюк, Н. В. Жихарева ; під заг. ред. М. Г. Хмельнюка ; Одес. нац. акад. харч. технологій, Нац. ун-т харч. технологій. — Миколаїв : Бондаренко М. О., 2018. — 228 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 222-223.
8. Низькопотенційна енергетика [Текст] : навч. посіб. / А. О. Редько, М. К. Безродний, М. В. Загорученко та ін. ; Нац. техн. ун-т України "Київський політехнічний університет", Одес. нац. акад. харч. технологій, Харків. нац. ун-т будівництва та архітектури, Вінниц. нац. техн. ун-т. — Харків : Друкарня Мадрид, 2016. — 412 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 404-405.
9. Холодильні установки та сфери їх використання [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко, І. О. Подмазко ; під заг. ред. М.Г. Хмельнюка; Одеська нац. академія харчових технологій. — Херсон : Грінь Д.С., 2014. — 484 с. : іл.
10. Холодильні установки [Текст]: навч. посіб. / О. С. Подмазко, С. Ю. Лар'яновський. — Миколаїв: ОДАХ, 2012. — 60 с.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.2.7	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		