

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



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему: Проект системи холодопостачання камер зберігання
фруктів в м. Миколаїв з використанням CO₂

Здобувача

Сімонов С.С.

4 курсу

ХМ-741 групи

Керівник

к.т.н., доц. Трандафілов В.В.

Консультанти:

д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від

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

Сімонов Сергій Сергійович

1. Тема роботи Проект системи холодопостачання камер зберігання фруктів в м. Миколаїв з використанням CO₂

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 з висотою камер 5 м, з сіткою колон 6х12 м. Зберігання яблук з температурним режимом -1÷+1°C при високій відносній вологості 90% та місткістю 200 т. В якості холодильного агенту буде використано R744 та як альтернативний холодоагент R134A.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Реферат, Вступ, 1. Теоретична частина, 2. Об'ємно-планувальне рішення,

3. Розрахунок теплової ізоляції, 4. Визначення теплоприпливів в камерах,

5. Тепловий розрахунок компресора, 6. Розрахунок повітроохолоджувача.

7. Розрахунок повітряного конденсатора,

8. Розрахунок трубопроводів і підбір допоміжного обладнання,

9. Охорона праці, Висновки,

Перелік використаних джерел.

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 Сімонов С.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	Теоретична частина	21.04-22.04.2026	виконано
4	Об'ємно-планувальне рішення	24.04-30.04.2026	виконано
5	Розрахунок теплової ізоляції	01.05-05.05.2026	виконано
6	Визначення теплоприпливів в камерах	05.05-10.05.2026	виконано
7	Тепловий розрахунок компресора	12.05-15.05.2026	виконано
8	Розрахунок повітроохолоджувача	16.05-17.05.2026	виконано
9	Розрахунок повітряного конденсатора	20.05-23.05.2026	виконано
10	Розрахунок трубопроводів і підбір допоміжного обладнання	20.05-23.05.2026	виконано
11	Охорона праці	18.05-22.05.2026	виконано
12	Висновки	23.05-24.05.2026	виконано
13	Перелік використаних джерел	20.05-25.05.2026	виконано
14	Підготовка презентації в PowerPoint	23.05-27.05.2026	виконано

Здобувач-дипломник Сімонов С.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 Сімонов Сергій Сергійович

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	7
1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	9
2 ОБ'ЄКТНО-ПЛАНУВАЛЬНІ РІШЕННЯ.....	15
3 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ.....	16
4 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОПРИПЛИВІВ В КАМЕРАХ.....	23
5 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КОМПРЕСОРА.....	31
6 РОЗРАХУНОК ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА	46
7 РОЗРАХУНОК ПОВІТРЯНОГО КОНДЕНСАТОРА.....	53
8 РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВОДІВ І ПІДБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ	59
9 ОХОРОНА ПРАЦІ	62
ВИСНОВКИ.....	91
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	93

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4			
Зм.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата				
Розробив		Сімонов С.С.			Проект системи холодопостачання камер зберігання фруктів в м. Миколаїв з використанням CO ₂	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Трандафілов В.В.					6	94
Н. Контр.		Трандафілов В.В.				ОНТУ гр. ХМ-741		
Затвердив								

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі виконано проєкт системи холодопостачання камер зберігання яблук місткістю 200 т для умов м. Миколаїв із використанням природного холодоагенту R744 (діоксиду вуглецю).

Проведено аналіз сучасних технологій холодильного зберігання фруктів та визначено оптимальні параметри мікроклімату для тривалого зберігання яблук. Виконано розрахунок теплових навантажень на холодильну систему, за результатами якого встановлено необхідну холодопродуктивність установки 46,6 кВт.

У роботі розраховано термодинамічний цикл транскритичної холодильної машини на холодоагенті R744 при температурі кипіння -10°C та температурі газоохолоджувача 45°C . Визначено основні енергетичні характеристики системи, зокрема масову витрату холодоагенту, споживану потужність компресора та холодильний коефіцієнт.

Виконано порівняльний аналіз холодоагентів R134a та R744 за енергетичними, експлуатаційними та екологічними показниками. Встановлено, що холодоагент R744 характеризується мінімальним потенціалом глобального потепління ($\text{GWP} = 1$), що забезпечує його енергетичну та екологічну перевагу порівняно з R134a ($\text{GWP} = 1430$).

На основі проведених розрахунків здійснено підбір основного обладнання холодильної установки, зокрема компресорного агрегату на базі двох напівгерметичних поршневих компресорів BITZER серії ECOLINE Transcritical CO_2 . Також виконано розрахунок та підбір теплообмінного обладнання виробництва Alfa Laval для забезпечення необхідних режимів роботи системи.

Отримані результати підтверджують технічну можливість та доцільність застосування транскритичних CO_2 -систем для холодильного зберігання фруктів, а також їх відповідність сучасним вимогам щодо енергоефективності та екологічної безпеки.

Ключові слова: холодильна установка, R744, CO_2 , яблука, фруктосховище, транскритичний цикл, холодопостачання, компресорний агрегат, теплообмінне обладнання, енергоефективність, екологічна безпека.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

This thesis presents a design for a refrigeration system for 200-tonne apple storage chambers, tailored to the conditions in Mykolaiv, utilising the natural refrigerant R744 (carbon dioxide).

An analysis of modern fruit cold storage technologies was carried out and the optimal microclimate parameters for long-term apple storage were determined. The thermal loads on the refrigeration system were calculated, the results of which established the required cooling capacity of the unit at 46.6 kW.

The thermodynamic cycle of a transcritical refrigeration machine using R744 refrigerant at a boiling point of -10°C and a gas cooler temperature of 45°C was calculated. The main energy characteristics of the system have been determined, in particular the mass flow rate of the refrigerant, the power consumption of the compressor and the coefficient of performance.

A comparative analysis of the refrigerants R134a and R744 has been carried out in terms of energy, operational and environmental performance. It has been established that the R744 refrigerant has the lowest global warming potential ($\text{GWP} = 1$), which gives it an energy and environmental advantage over R134a ($\text{GWP} = 1430$).

Based on the calculations performed, the main equipment for the refrigeration plant was selected, specifically a compressor unit based on two semi-hermetic BITZER ECOLINE Transcritical CO_2 series piston compressors. Additionally, calculations were performed and heat exchange equipment manufactured by Alfa Laval was selected to ensure the necessary operating conditions of the system.

The results obtained confirm the technical feasibility and practicality of using transcritical CO_2 systems for the cold storage of fruit, as well as their compliance with current requirements regarding energy efficiency and environmental safety.

Keywords: refrigeration unit, R744, CO_2 , apples, fruit storage facility, transcritical cycle, refrigeration supply, compressor unit, heat exchange equipment, energy efficiency, environmental safety.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Забезпечення населення якісною плодоовочевою продукцією протягом усього року є одним із важливих завдань агропромислового комплексу України. Значна частина вирощених фруктів втрачається внаслідок недосконалих умов зберігання, що призводить до погіршення їх якості, зменшення терміну реалізації та економічних збитків виробників. Особливо актуальним є питання тривалого зберігання яблук, які займають провідне місце серед плодових культур та є важливою складовою продовольчого ринку країни.

Однією з основних умов збереження товарних і споживчих властивостей фруктів є підтримання оптимальних параметрів мікроклімату в камерах зберігання. До таких параметрів належать температура, відносна вологість повітря та рівномірність їх розподілу по об'єму камери. Забезпечення необхідних режимів можливе лише за умови використання сучасних вискоєфективних систем холодопостачання, здатних підтримувати задані параметри протягом усього періоду зберігання продукції.

У сучасних умовах особливого значення набувають питання підвищення енергоефективності холодильних установок та зменшення їх негативного впливу на навколишнє середовище. Традиційні синтетичні холодоагенти поступово обмежуються міжнародними екологічними вимогами через їх значний внесок у глобальне потепління. У зв'язку з цим дедалі більшого поширення набувають природні холодоагенти, серед яких особливе місце займає діоксид вуглецю (R744).

Холодоагент R744 характеризується нульовим впливом на руйнування озонового шару та надзвичайно низьким потенціалом глобального потепління. Крім того, він належить до класу безпеки A1, є негорючим та нетоксичним у робочих концентраціях. Використання CO₂ у холодильних системах дозволяє створювати екологічно безпечні установки, що відповідають сучасним вимогам сталого розвитку та міжнародним тенденціям розвитку холодильної техніки.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Південний регіон України, зокрема Миколаївська область, є одним із важливих центрів вирощування фруктових продукцій. Кліматичні умови регіону сприяють отриманню високих врожаїв яблук, однак потребують створення сучасних холодильних комплексів для забезпечення їх тривалого зберігання та мінімізації післязбиральних втрат. Тому проектування ефективних систем холодопостачання для фруктосховищ є актуальним інженерним завданням.

Метою роботи є проектування системи холодопостачання камер зберігання яблук місткістю 200 тонн у місті Миколаїв із використанням природного холодоагенту R744 та обґрунтування доцільності його застосування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасні технології холодильного зберігання фруктів;
- визначити оптимальні параметри зберігання яблук;
- виконати розрахунок теплових навантажень камер зберігання;
- розрахувати термодинамічний цикл холодильної установки на холодоагенті R744;
- провести порівняльний аналіз холодоагентів R134a та R744;
- здійснити підбір компресорного та теплообмінного обладнання;
- оцінити енергетичні та екологічні показники спроектованої системи;
- розробити технічне рішення системи холодопостачання камер зберігання фруктів.

Об'єктом дослідження є система холодопостачання камер тривалого зберігання яблук.

Предметом дослідження є процеси виробництва холоду та забезпечення температурного режиму в камерах зберігання фруктів із використанням холодоагенту R744.

Практичне значення роботи полягає у розробленні проекту сучасної холодильної установки для фруктосховища місткістю 200 тонн, яка забезпечує необхідні умови зберігання продукції, відповідає сучасним екологічним вимогам та може бути використана під час проектування і модернізації об'єктів агропромислового комплексу України.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Сучасний стан холодильного зберігання фруктів

Одним із найважливіших напрямів розвитку агропромислового комплексу є забезпечення тривалого зберігання плодоовочевої продукції із мінімальними втратами маси та якості. Яблука належать до найбільш поширених фруктових культур у світі та в Україні, а тому питання їх ефективного зберігання має важливе економічне значення. Після збирання врожаю плоди продовжують залишатися живими біологічними об'єктами, в яких відбуваються процеси дихання, випаровування вологи та дозрівання. Інтенсивність цих процесів безпосередньо залежить від температури навколишнього середовища.

За даними численних досліджень у галузі післязбиральної обробки фруктів, зниження температури зберігання є найбільш ефективним способом сповільнення біохімічних процесів у плодах. Для яблук оптимальна температура зберігання знаходиться в межах від 0 до +2 °С при відносній вологості повітря 90–95 %. За таких умов забезпечується максимальне збереження товарного вигляду, смакових характеристик та харчової цінності продукції.

Сучасні фруктосховища являють собою спеціалізовані холодильні комплекси, обладнані системами холодопостачання, вентиляції, контролю вологості та автоматизованого керування технологічними процесами. Залежно від вимог до терміну зберігання застосовують звичайні холодильні камери або камери з регульованим газовим середовищем (РГС). У випадку використання звичайних холодильних камер основним фактором забезпечення якості продукції є стабільне підтримання заданого температурного режиму.

У зв'язку зі збільшенням вартості енергоресурсів та посиленням екологічних вимог особливої актуальності набуває питання підвищення енергоефективності холодильних установок, які є основними споживачами електроенергії на підприємствах зі зберігання фруктів.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Особливості холодильних систем для фруктосховищ

Система холодопостачання є ключовим елементом будь-якого фруктосховища. Її основним завданням є компенсація теплопритоків через огорожувальні конструкції, під час відкривання дверей, роботи освітлення та вентиляційного обладнання, а також теплоти дихання продукції.

Під час проєктування холодильних систем для фруктосховищ особлива увага приділяється рівномірності розподілу температури в об'ємі камери. Навіть незначні відхилення температури можуть призвести до нерівномірного дозрівання продукції та збільшення втрат при зберіганні. Тому сучасні системи оснащуються повітроохолоджувачами з примусовою циркуляцією повітря та автоматичним регулюванням холодопродуктивності.

Таблиця 1.1 – Рекомендовані режими холодильного зберігання яблук різних сортів

Сорт яблук	Температура зберігання, °C	Відносна вологість, %	Орієнтовний термін зберігання, міс.
Голден Делішес	0...+1	90–95	6–8
Гала	0...+1	90–95	4–6
Фуджі	-1...0	90–95	7–9
Гренні Сміт	0...+1	90–95	7–9
Джонаголд	0...+1	90–95	5–7
Айдаред	0...+1	90–95	6–8
Ренет Сими-ренка	0...+2	90–95	5–7
Чемпіон	0...+1	90–95	4–6
Пінова	0...+1	90–95	5–7
Ред Делішес	0...+1	90–95	5–7

Як видно з таблиці 1.1, більшість промислових сортів яблук рекомендується зберігати при температурі від 0 до +1 °C та відносній вологості повітря 90–95 %. Саме такий температурно-вологісний режим забезпечує мінімальну інтенсивність дихання плодів, знижує втрати маси внаслідок випаровування вологи та дозволяє максимально зберегти товарні й смакові властивості продукції протягом тривалого часу. Для даного проєкту прийнято температуру зберігання +1 °C, що відповідає вимогам більшості поширених

сортів яблук та забезпечує надійне функціонування холодильного обладнання.

Важливим фактором, що визначає ефективність холодильного зберігання яблук, є стабільність підтримання температурного режиму протягом усього періоду зберігання. Навіть короточасні коливання температури можуть призводити до активізації процесів дихання плодів, прискорення дозрівання та розвитку фізіологічних захворювань. Особливо чутливими до змін температури є зимові сорти яблук, які призначені для тривалого зберігання протягом 6–9 місяців.

Під час зберігання яблука постійно виділяють теплоту внаслідок процесів дихання. Інтенсивність тепловиділення залежить від сорту плодів, ступеня стиглості, температури зберігання та умов навколишнього середовища. Саме тому під час проєктування холодильних камер необхідно враховувати не лише зовнішні теплопритоки через огорожувальні конструкції, але й внутрішні тепловиділення від продукції. Для фруктосховищ великої місткості частка теплоти дихання може становити значну частину загального теплового навантаження.

Не менш важливим параметром є відносна вологість повітря в камері. При недостатній вологості відбувається інтенсивне випаровування вологи з поверхні плодів, що призводить до втрати маси, погіршення зовнішнього вигляду та зниження товарної цінності продукції. Надмірна вологість, навпаки, може сприяти утворенню конденсату та розвитку грибкових захворювань. Тому для більшості сортів яблук рекомендується підтримувати відносну вологість на рівні 90–95 %.

Сучасні холодильні системи для фруктосховищ забезпечують не лише охолодження продукції, але й рівномірний розподіл повітря в об'ємі камери. Для цього використовуються повітроохолоджувачі з осьовими або відцентровими вентиляторами, які створюють необхідну циркуляцію повітря. Правильно організований повітрообмін дозволяє уникнути локальних зон пере-

					КРБ.ХУКП.1.499–03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

охолодження або перегріву та забезпечує однакові умови зберігання для всієї партії продукції.

У зв'язку з постійним зростанням вартості енергоресурсів значна увага приділяється питанням енергоефективності холодильних установок. Витрати електроенергії на виробництво холоду є однією з найбільших статей експлуатаційних витрат фруктосховищ. Саме тому під час проектування сучасних холодильних систем широко застосовуються енергоефективні компресори, високоефективні теплообмінники та автоматизовані системи керування, які дозволяють оптимізувати режими роботи обладнання залежно від поточного теплового навантаження.

Окремої уваги заслуговує питання екологічної безпеки холодильних установок. Світові тенденції розвитку холодильної техніки спрямовані на поступову відмову від синтетичних холодоагентів із високим потенціалом глобального потепління та перехід до природних робочих речовин. Одним із найбільш перспективних рішень є використання діоксиду вуглецю (R744), який характеризується мінімальним впливом на навколишнє середовище та відповідає сучасним міжнародним вимогам щодо скорочення викидів парникових газів. Саме тому проектування систем холодопостачання фруктосховищ на базі CO₂ є актуальним напрямком розвитку холодильних технологій.

Традиційно для холодильних установок фруктосховищ використовувалися синтетичні холодоагенти групи HFC, зокрема R134a, R404A та R507A. Ці речовини характеризуються високою ефективністю та відносно простими умовами експлуатації. Проте більшість з них мають високий потенціал глобального потепління, що стало причиною поступового обмеження їх використання.

Сучасні тенденції розвитку холодильної техніки передбачають перехід до використання природних холодоагентів, серед яких найбільшого поширення набули аміак (R717), вуглекислий газ (R744) та пропан (R290). Кожен із цих холодоагентів має свої переваги та недоліки, що необхідно враховувати під час вибору типу холодильної установки.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Використання діоксиду вуглецю як холодоагенту

Останніми роками діоксид вуглецю (R744) став одним із найбільш перспективних природних холодоагентів. Інтерес до його використання обумовлений насамперед екологічними перевагами та відсутністю негативного впливу на озоновий шар.

Вуглекислий газ має потенціал глобального потепління $GWP = 1$, що є еталонним значенням для оцінки інших холодоагентів. Для порівняння, широко застосовуваний холодоагент R134a має GWP близько 1430. Таким чином, навіть незначні витoki R134a можуть створювати суттєвий негативний вплив на довкілля, тоді як використання CO_2 практично виключає цю проблему.

Важливою перевагою R744 є його належність до класу безпеки A1 відповідно до міжнародних стандартів ISO 817 та EN 378. Це означає, що холодоагент є негорючим та характеризується низькою токсичністю, що підвищує безпеку експлуатації холодильних установок.

Разом з тим застосування CO_2 пов'язане з рядом технічних особливостей. Критична температура діоксиду вуглецю становить лише $31,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, тому при високих температурах навколишнього середовища холодильна машина працює у транскритичному режимі. У таких системах замість конденсатора використовується газоохолоджувач, а робочі тиски можуть перевищувати 100 бар. Це висуває підвищені вимоги до міцності компресорів, теплообмінного обладнання та трубопроводів.

Незважаючи на складніші умови експлуатації, сучасні технічні рішення дозволяють ефективно використовувати транскритичні CO_2 -системи в харчовій промисловості, логістичних центрах, супермаркетах та холодильних складах. Особливо перспективним є їх застосування в об'єктах, де екологічна безпека та довгострокова відповідність нормативним вимогам мають пріоритетне значення.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Аналіз сучасних тенденцій розвитку холодильних систем на CO₂

Провідні виробники холодильного обладнання активно розвивають напрямок використання природних холодоагентів. Сучасні компресори, теплообмінники та автоматичні системи керування дозволяють забезпечувати високу надійність і безпеку роботи CO₂-установок навіть за умов значних робочих тисків.

Значна увага приділяється підвищенню енергоефективності транскритичних циклів. Для цього застосовуються паралельне стискання, ежекторні технології, проміжне охолодження та оптимізація високого тиску в газоохолоджувачі. Використання таких рішень дозволяє наблизити енергетичні показники систем на CO₂ до показників традиційних холодильних машин на синтетичних холодоагентах.

Аналіз літературних джерел показує, що незважаючи на дещо нижчі значення холодильного коефіцієнта в окремих режимах роботи, системи на R744 мають значний потенціал розвитку завдяки своїй екологічності, безпечності та відповідності сучасним міжнародним вимогам щодо скорочення викидів парникових газів. Саме тому застосування CO₂ є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку холодильних систем для фруктосховищ та інших об'єктів агропромислового комплексу.

Проведений аналіз науково-технічної літератури підтверджує доцільність використання транскритичної холодильної установки на холодоагенті R744 для забезпечення необхідних умов зберігання яблук у фруктосховищі місткістю 200 т. Це рішення поєднує екологічну безпеку, енергетичну ефективність, відповідність сучасним нормативним вимогам та можливість забезпечення стабільних температурних режимів протягом тривалого терміну зберігання продукції.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 О'ЄКТНО-ПЛАНУВАЛЬНІ РІШЕННЯ

Вибір об'ємно планувального вирішення холодильника залежить від призначення підприємства і схеми технологічного процесу. Розраховуємо вантажний об'єм камер схову.

$$V_{\text{сп}} = \frac{E}{q_v} \quad (2.1)$$

$$F_{\text{сп}} = \frac{V_{\text{сп}}}{h_{\text{сп}}} \quad (2.2)$$

$$F_{\text{стр}} = \frac{F_{\text{сп}}}{\beta_f} \quad (2.3)$$

де $V_{\text{сп}}$ - вантажний об'єм камер, м³;
 E - ємність камер, т;
 q_v - норма завантаження яблук в дерев'яних ящиках, т/м³;
 $F_{\text{сп}}$ - вантажна площа, м;
 $h_{\text{сп}}$ - вантажна висота камер, м;
 $F_{\text{стр}}$ - будівельна площа, м²;
 β_f - коефіцієнт використання будівельної площі.
 $\beta_f = 0,8$

$$V_{\text{сп}} = \frac{200}{0,4} = 500 \text{ м}^3;$$

$$F_{\text{сп}} = \frac{571}{3,6} = 138,8 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{стр}} = \frac{138,8}{0,95} = 144 \text{ м}^2$$

Кількість будівельних прямокутників:

$$n = \frac{F_{\text{стр}}}{f} = \frac{144}{72} = 2 \quad (2.4)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

Вибираємо будівельну конструкцію будівлі.

Приймаємо, що будівля холодильника каркасного типу, колони перетинном 400х400мм. Будівельні балки односкіли завдовжки 12м .

Висота камер до низу балки 5м. Покриття плоске. Покрівельні плити - ребристі, завширшки 6м . Приймаємо, що зовнішні стіни і перегородки будівлі виконані з цеглини з утеплювачем з пінопласту марки ПСБ-С.

Необхідних значень коефіцієнтів теплопередачі і тепловіддачі для камер набуваємо залежно від середньорічної температури повітря в районі будівництва і характеристики камер.

Середньорічна температура повітря дорівнює 7,4°C. Система охолодження з помірною циркуляцією повітря. Температура в камерах 0 °С.

Розрахунки в даному розділі проводимо згідно літератури [1, 2].

Необхідну товщину ізоляційних конструкцій визначаємо по формулі:

$$\delta_{из} = \left[\frac{1}{k_n} - \left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \right] \cdot \lambda_{из} \quad (3.1)$$

где k_i - нормативний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

α_i , α_a - коефіцієнт тепловіддачі для зовнішнього повітря, стін і покриттів і тепловіддачі обгороджування, Вт/(м²·К);

δ_i , $\lambda_{из}$ - товщина і коефіцієнти теплопровідності окремих шарів огороження, м, Вт/(м·К).

Після розрахунку уточнюємо товщину теплоізоляційної конструкції, оскільки її споруджують з блоків, що стандартно виготовляються, мають свої розміри. Дійсна товщина ізоляційної конструкції має бути не менш потрібною. Після уточнення товщини ізоляційної конструкції дійсний коефіцієнт теплопередачі визначають по формулі:

$$k_n = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_n}} \quad (3.2)$$

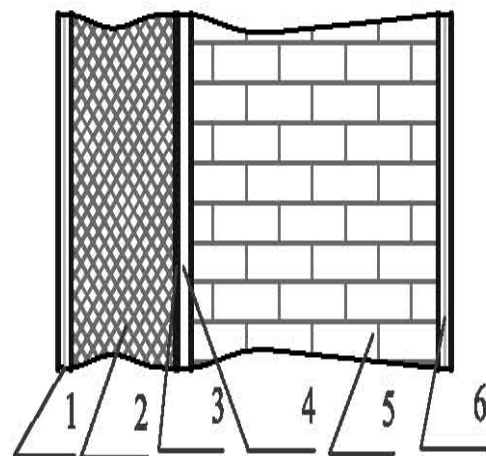
При цьому необхідно щоб:

$$k_o \leq k_n$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

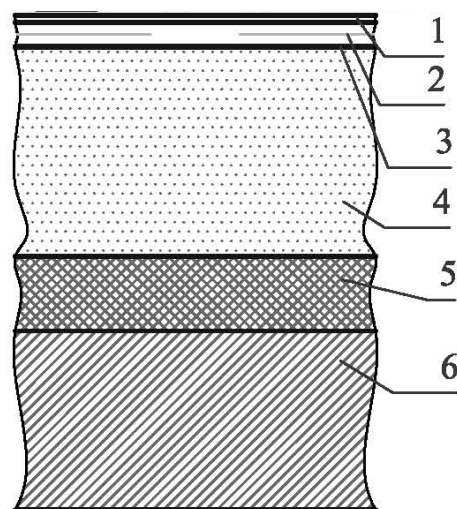
3.1.1 Конструкція зовнішньої стіни

1. Штукатурка складним розчином по металевій сітці.
2. Теплоізоляція – пінопласт полістирольний марки ПСБ-С .
3. Пароізоляція – 2 шари гідроізолу на бітумній мастиці.
4. Штукатурка цементно – піщана.
5. Цегляна кладка.
6. Штукатурка складним розчином по металевій сітці.



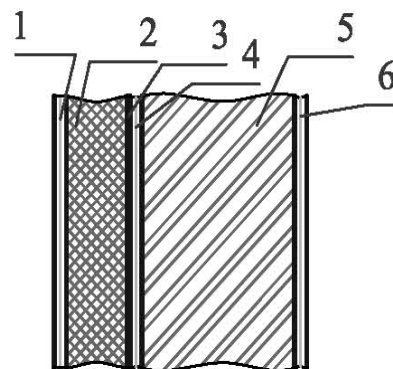
3.1.2 Конструкція покриття

1. 5 шарів гідроізолу на бітумній мастиці.
2. Стяжка з бетону по металевій сітці.
3. Пароізоляція (шари пергаміну).
4. Засипна ізоляція – керамзитовий гравій.
5. Плитна теплоізоляція (пінопласт полістирольний марки ПСБ –С).
6. Залізобетонна плита перекриття.



3.1.3 Конструкція внутрішньої стінки

1. Штукатурка складним розчином по металевій сітці.
2. Теплоізоляція – пінопласт полістирольний марки ПСБ-С .
3. Пароізоляція – 2 шари гідроізолу на бітумній мастиці.
4. Штукатурка цементно – піщана.
5. Цегляна кладка.
6. Штукатурка складним розчином по металевій сітці.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

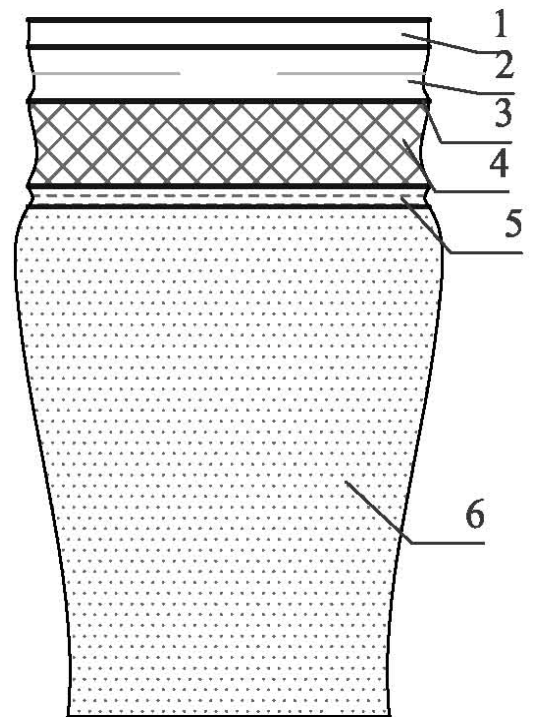
КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4

Арк.

17

3.1.4 Конструкція підлоги

1. Бетонне покриття з важкого бетону.
2. Армобетонна стяжка.
3. Пароізоляція (1 шар пергаменту).
4. Плитна теплоізоляція (пінопласт марки ПСБ –С).
5. Цементно – пісчаний розчин.
6. Ущільнений пісок.



Коефіцієнти теплопередачі зовнішніх стін холодильних камер $\kappa_{нс}$

$$\kappa_{нс} = 0,16 \cdot e^{0,022(40+t_0)} = 0,16 \cdot e^{0,022(40+5)} = 0,386 \text{ [Вт/(м}^2\text{K)]} \quad (3.1)$$

Для південної кліматичної зони значення $\kappa_{нс}$, варто зменшити на 20%.

$$\kappa_{нс} = 0,386 - 0,386 \cdot 0,2 = 0,309 \text{ [Вт/(м}^2\text{K)]} \quad (3.2)$$

Коефіцієнти теплопередачі покриттів холодильників, які не мають го-рищ,

$$\kappa_{он} = 0,95\kappa_{нс} = 0,95 \cdot 0,309 = 0,347 \text{ [Вт/(м}^2\text{K)]} \quad (3.3)$$

Коефіцієнти теплопередачі внутрішніх стін і перегородок, що відокремлюють охолоджувані приміщення від неоохолоджуваних, але неопалюваних

$$\kappa_{но} = 1,18\kappa_{нс} = 1,18 \cdot 0,294 = 0,347 \text{ [Вт/(м}^2\text{K)]} \quad (3.4)$$

Коефіцієнти теплопередачі внутрішніх стін, перегородок і межповерхових перекриттів між охолоджуваними приміщеннями

$$\kappa_{\text{вн}} = \frac{1}{2 + 0,07\Delta t_n} = 0.5 \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})], \quad (3.5)$$

де Δt_n – різниця між температурами повітря більш теплого і холодного охолоджуваних приміщень по оба боки огороження.

3.1 Розрахунок товщини теплоізоляційного шару зовнішньої стінки

$$\delta_{\text{из}} = \left[\frac{1}{\kappa^{\text{нс}}} - \left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \lambda_{\text{из}}, = \quad (3.6)$$

$$= \left[\frac{1}{0.336} - \left(\frac{1}{7} + \frac{0.02}{0.98} + \frac{0.004}{0.3} + \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.38}{0.81} + \frac{0.02}{0.93} + \frac{1}{23} \right) \right] 0.04 = 0.0898 \approx 0.09 \text{ м}$$

де α_n і α_k – розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі з зовнішнього і внутрішнього боків огороження;

δ_i і λ_i – товщина і коефіцієнт теплопровідності кожного будівельного шару конструкції огороження;

$\lambda_{\text{из}}$ – розрахункове значення коефіцієнта теплопровідності обраного ізоляційного матеріалу огороження.

Для урахування впливу теплопровідних включень в ізоляційному шарі розрахункове значення $\lambda_{\text{из}}$ визначають як:

$$\lambda_{\text{из}} = (1,1 \dots 1,15) \lambda = 1.15 \cdot 0.035 = 0.04, \quad \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \quad (3.7)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного матеріал

3.2 Розрахунок товщини теплоізоляційного шару покриття

$$\delta_{\text{из}} = \left[\frac{1}{\kappa^{\text{бн}}} - \left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \lambda_{\text{из}}, = \quad (3.8)$$

$$= \left[\frac{1}{0.319} - \left(\frac{1}{7} + \frac{0.012}{0.3} + \frac{0.04}{1.86} + \frac{0.001}{0.15} + \frac{0.38}{0.81} + \frac{0.400}{2.04} + \frac{1}{23} \right) \right] 0.04 = 0.095 \approx 0.1 \text{ м}$$

3.3 Розрахунок товщини теплоізоляційного шару внутрішньої сті-

ни

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\delta_{из} = \left[\frac{1}{K^n} - \left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \lambda_{из}, =$$

$$= \left[\frac{1}{0.5} - \left(\frac{1}{7} + \frac{0.02}{0.98} + \frac{0.004}{0.3} + \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.24}{0.81} + \frac{0.02}{0.98} + \frac{1}{7} \right) \right] \cdot 0.04 = 0.05_m \quad (3.9)$$

3.4 Розрахунок товщини теплоізоляційного шару підлоги

$$K_{пол} = K_{нс} = 0,309 [Вт/(м^2К)]$$

$$\delta_{из} = \left[\frac{1}{K^{пол}} - \left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \lambda_{из}, =$$

$$= \left[\frac{1}{0.309} - \left(\frac{1}{7} + \frac{0.04}{1.86} + \frac{0.08}{1.86} + \frac{0.001}{0.15} + \frac{0.025}{0.98} + \frac{0.03}{0.58} + \frac{1}{23} \right) \right] \cdot (0.15 \cdot 1.15) = 0.45_m \quad (3.10)$$

3.5 Визначення товщини пароізоляційного матеріалу

Зовнішні стіни

$$\delta_n = \delta_{из} \frac{\mu_n}{\mu_{из}} \left(\frac{\frac{m}{n} e^{\frac{b t_{ин} - c t_{ик}}{n}} - 1}{c(t_{ин} - t_{ик})} - 1 \right) = 0.09 \frac{0.345 \cdot 10^{-12}}{6.39 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{\frac{630}{630} e^{0.0646 \cdot 8.604 - 0.0646 \cdot 4.306} - 1}{0.0646(7.26 - 0.488)} - 1 \right) = 0.00012_m, \quad (3.11)$$

де μ_n і $\mu_{из}$ – коефіцієнти паропроникності пароізоляційного і теплоізоляційного матеріалів;

$t_{ин}$ – температура зовнішньої поверхні шару теплової ізоляції;

$t_{ив}$ – температура внутрішньої поверхні шару теплової ізоляції;

b, c, m, n – коефіцієнти, що залежать від $t_{ин}$ і $t_{ик}$

температури зовнішньої і внутрішньої поверхонь шару теплової ізоляції $t_{ин}$ і $t_{ик}$

$$t_{ин} = t_k + K(t_n - t_k) \left(\frac{1}{\alpha_k} + \frac{\delta_{вн}}{\lambda_{вн}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} \right) = 0 + 0.309(9.6 - 0) \left(\frac{1}{7} + \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.08}{0.035} \right) = 7.26, \quad (3.12)$$

$$t_{ик} = t_k + K(t_n - t_k) \left(\frac{1}{\alpha_k} + \frac{\delta_{вн}}{\lambda_{вн}} \right) = 0 + 0.309(9.6 - 0) \left(\frac{1}{7} + \frac{0.02}{0.93} \right) = 0.488, \quad (3.13)$$

де

$\delta_{вн}, \lambda_{вн}$ – товщина і коефіцієнт теплопровідності внутрішнього ліцевального шару огороження;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

δ_3, λ_3 – товщина і коефіцієнт теплопровідності шару теплової ізоляції.

Стеля

$$\delta_n = \delta_{из} \frac{\mu_n}{\mu_{из}} \left(\frac{\frac{m}{n} e^{bt_{ин} - ct_{ук}} - 1}{c(t_{ин} - t_{ук})} - 1 \right) = 0.01 \frac{0.345 \cdot 10^{-12}}{6.39 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{\frac{630}{630} e^{0.0646 \cdot 8.604 - 0.0646 \cdot 4.306} - 1}{0.0646(8.604 - 4.306)} - 1 \right) = 0.0000137 м$$

(3.14)

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ізоляція конструкція

Номер Кам.	Найменування обгороджування	Характеристика обгороджувальної конструкції			Нормативні коефіцієнти			Розрахункові величини		
		Матеріал	Товщина Шару Δ , м	λ Вт/(м·К)	K_0 Вт/(м²·К)	α_i Вт/(м²·К)	α_{BH} Вт/(м²·К)	$\delta_{из}$, м рас.	$\delta_{из}$, м прин.	K_0 Вт/(м²·К)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1-2	Зовнішня стіна	Штукатурка Кладка цегляна Пароізоляція Теплоізоляція ПСБ-С	0,06 0,38 0,0001 0,02	0,88 0,82 0,3 0,032	0,4	23	7	0,09	0,05	0,386
1-2	Покриття	Гідроізол на бітум. мастиці Армована бетонна стяжка Пароізоляція Залізобетонна плита	0,012 0,04 0,001 0,40	0,3 1,86 0,15 2,04	0,37	23	7	0,1	0,12	0,347
1-2	Стіна суміжна с камерою	Цегляна кладка шар штукатурки Пароізоляція Теплоізоляція ПСБ-С	0,24 0,02 0,004 0,02	0,81 0,88 0,3 0,058	0,5	23	7	0,05	0,04	0,347
1-2	Підлога	Тяжкий бетон Цементно – пісчаний розчин Теплоізоляція ПСБ-С	0,04 0,025 0,03	1,86 0,98 0,058	0,42		7	0,45	0,3	0,41

4 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОПРИПЛИВІВ В КАМЕРАХ

Розрахунки проводимо при використанні літератури [1, 2].

Тепловий баланс охолоджуваного приміщення.

Рівняння теплового балансу:

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

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

4.1.1 Теплоприпливи через огородження.

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

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

Теплоприпливи унаслідок теплопередачі

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

де k_o - дійсний коефіцієнт теплопередачі обгороджування, визначений після прийняття товщини ізоляційного шару, Вт/(м²К);

F - теплопередаюча поверхня обгороджування, м²;

t_i - розрахункова зовнішня температура повітря, °С;

t_a - розрахункова температура повітря в камері, °С;

$$t_n = t_{ср.м.л.} \quad (4.4)$$

де $t_{ср.м.л.}$ - середньомісячна температура о 13 годині найжаркішого місяця.
для м. Миколаїв $t_i = 32$ °С

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплоприпливи від сонячної радіації визначаємо по формулі:

$$Q_{1C} = k_a \cdot F \cdot \Delta t_c \quad (4.5)$$

де Δt_c - надлишкова різниця температур, викликана дією сонячної радіації.

Для цегельних стін: Δt_c - південних - 9,1 °С;
східних - 11 °С;
західних - 13,2 °С;
північних - 0 °С;

для плоскої крівлі покритої гідроізолом $\Delta t_c = 17,7$ °С

Теплоприпливи через стіни, що відокремлюють камеру від неохолоджувальних приміщень:

$$Q_{1T} = k_a \cdot F \cdot \Delta t_a \quad (4.6)$$

де Δt_a - розрахункова температурна різниця, °С

$$\Delta t_a = 0,7(t_n - t_k) \quad (4.7)$$

4.1.2 Теплоприпливи через підлогу

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

де k_{ysl} - умовний коефіцієнт теплопередачі відповідної зони підлоги двометрової ширини, Вт/(м²·К);

Для зон, розташованих від зовнішніх стінів
на відстані до 2м - $k_1 = 0,47$ Вт/(м²·К);
від 2 до 4м - $k_2 = 0,23$ Вт/(м²·К);
від 4 до 6м - $k_3 = 0,12$ Вт/(м²·К);
для решти площі - $k_4 = 0,07$ Вт/(м²·К);

Результати розрахунків зведені в таблицю 4.1 – 4.2.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1- «Теплоприпливи через обгороджування в камеру №1»

Обгоро- джування	Орієнтація	$K_O^D,$ $\frac{Вт}{м^2 * К}$	F, м ²	t _н °C	t _в °C	Q _{1т} , Вт	Δt _c °C	Q _{1с} , Вт	Q _{общ} , Вт
Стіна	Південь	0,42	72	18	0	544	-	-	544
Стіна	Схід	0,5	72	0	0	0	-	-	0
Стіна	Північ	0,42	72	25	0	877	-	-	877
Стіна	Захід	0,42	72	25	0	877	13,2	399	1276
Перекриття	-	0,37	144	25	0	1545	17,7	943	2488
Підлога	К						м		
Зона 1	0.47		12	25	0	141	1		141
Зона 2	0.23		12	25	0	69	1		69
Зона 3	0.12		12	25	0	36	1		36
Зона 4	0,07		64	25	0	112	1		112
Сумарно	1 камера								5543

Таблиця 4.2- «Теплоприпливи через обгороджування в камеру №2»

Обгоро- джування	Орієнтація	$K_O^D,$ $\frac{Вт}{м^2 * К}$	F, м ²	t _н °C	t _в , °C	Q _{1т} , Вт	Δt _c °C	Q _{1с} , Вт	Q _{общ} , Вт
Стіна	Південь	0,42	72	18	0	544	-	-	544
Стіна	Схід	0,5	72	0	0	0	-	-	0
Стіна	Північ	0,42	72	25	0	877	-	-	877
Стіна	Захід	0,5	72	29	0	877	-	-	877
Перекриття	-	0,37	144	25	0	1545	17,7	943	2488
Підлога	К						м		
Зона 1	0.47		12	25	0	141	1		141
Зона 2	0.23		12	25	0	69	1		69
Зона 3	0.12		12	25	0	36	1		36
Зона 4	0,07		64	25	0	112	1		112
Сумарно	2 камера								5144

Сумарні теплоприпливи через обгороджування в двох камерах.
 $Q_1 = 5543 + 5144 = 10690 Вт$

4.1.3 Теплоприпливи від вантажів

Кількість тепла, що відводиться в одиницю часу, можна визначити по формулі:

$$Q_2 = \frac{G \cdot (h_1 - h_2) \cdot \tau_u}{M_m \cdot \tau_p} \quad (4.9)$$

де G - добовий вступ продукту, т/сут;
 $h_1 - h_2$ - різниця ентальпій, відповідна поч. і кінцевою Т, кДж/кг;
 τ - тривалість холодильної обробки, год. ; $\tau = 24$ години
 $t_i = 20^\circ\text{C}$;
 $t_k = 0^\circ\text{C}$;
 $h_1 = 347$ кДж/кг;
 $h_2 = 272$ кДж/кг;

Приймаємо добове надходження продукту на рівні 7% від всієї місткості фруктосховища

Для камер № 1 – 2 даний теплоприплив буде.

$$Q_{1-2\text{кам}} = \frac{38 \cdot (287 - 272) \cdot 24}{0,0864 \cdot 24} = 6597 \text{ Вт}$$

4.1.4 Теплопритоки від тари

$$Q_2 = \frac{G_m \cdot C \cdot (t_1 - t_2) \cdot \tau_u}{0,0864 \cdot \tau_p} \quad (4.10)$$

де M_T - добовий вступ тари, т/сут; 20% від вантажів;
 C_T - питома теплоємність тари, кДж/(кг·К);
 t_1 - температура поступлення, °С;
 t_2 - температура виходу, °С;

$$Q_{1-2\text{кам}} = \frac{6.6 \cdot 2,3(5 - 0) \cdot 24}{0,0864 \cdot 24} = 878 \text{ Вт}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1.5 Теплоприпливи при вентиляції

Розрахунок теплопритоків від зовнішнього повітря при вентиляції слід враховувати лише для спеціалізованих холодильників і камер для зберігання фруктів.

Теплоприпливи при вентиляції для камер 1 – 2

$$Q_3 = V_{\text{сmp}} \cdot a_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{к}} \cdot (i_{\text{н}} - i_{\text{к}}) / 3.6 \cdot 24 \quad (4.11)$$

де $V_{\text{сmp}}$ - будівельний об'єм вентилязованого приміщення, м³;

$a_{\text{в}}$ - кратність вентиляції;

$a_{\text{в}} = 4$ об'ємів на добу;

$\rho_{\text{к}}$ - щільність повітря в камері, кг/м³;

$i_{\text{н}}, i_{\text{к}}$ - питома ентальпія повітря при $t_{\text{н}}$ і $t_{\text{к}}$, кДж/кг.

$$Q_3 = \frac{3024 \cdot 4 \cdot 1,293 \cdot (73 - 7)}{3.6 \cdot 24} = 12194 \text{ Вт}$$

На підприємствах торгівлі і громадського харчування вентиляються камер зберігання фруктів і харчових відходів.

Камери схову фруктів обладнали приточно-витяжною вентиляцією, що забезпечує кратність вентиляції 4 об'єми в добу.

Камера харчових відходів повинні мати витяжну вентиляцію, що забезпечує кратність повітрообміну 10 об'ємів.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1.6 Експлуатаційні теплоприпливи

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

$$Q_4 = Q_4^I + Q_4^{II} + Q_4^{III} + Q_4^{IV} \quad (4.12)$$

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

4.1.7 Розрахунок теплоприпливів від електричного освітлення.

$$Q_4^I = q'_4 \cdot j_{св} \cdot F_{стр}, \quad (4.13)$$

де q'_4 - питома норма напруги світильників загального освітлення - 3 Вт/м².
 $j_{св}$ - коефіцієнт одночасної роботи світильників - 1.
 $F_{стр}$ - будівельна площа охолоджуваного приміщення.

$$Q_4^I = 3 \cdot 1 \cdot 246 = 738 \text{ Вт}$$

4.1.8 Розрахунок теплоприпливів від електричних двигунів.

$$Q_4^{II} = 1000 \cdot j_{дв} \cdot \sum N_{дв}, \quad (4.14)$$

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

$$\sum N_{дв} = 1,2(Q_1 + Q_2 + Q_3) \cdot m \text{ кВт.} \quad (4.15)$$

$(Q_1 + Q_2 + Q_3)$ - сума теплоприпливів для всіх камер, кВт.
 m - коефіцієнт обумовлений як відношення потужності ел.дв. до холодопродуктивності.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum N_{ог} = 1,2 \cdot (12026 + 6597 + 12194) \cdot 0,08 = 2.95 \text{ кВт}$$

$$Q_4^{II} = 1000 \cdot 1 \cdot 2.95 = 2950 \text{ Вт}$$

4.1.9 Розрахунок теплоприпливів від працюючих людей.

$$Q_4^{III} = q_4^{III} \cdot n, \quad (4.16)$$

де

q_4^{III} - теплоприплив однієї працюючої людини.

n - кількість людей.

Число людей, що працюють в приміщенні, приймають в залежності від площі камери: при площі камери до 200 м² 2 - 3 людини, так як в нас 2 камери площею до 200 м² то приймаємо 8 працівників.

$$q_4^{III} = 270 - 6 \cdot t_k, \quad (4.17)$$

$$q_4^{III} = 270 - 6 \cdot 0 = 270 \text{ Вт},$$

$$q_4^{III} = 270 \cdot 8 = 2160 \text{ Вт}$$

4.2.0 Розрахунок теплоприпливів від відкривання дверей.

$$Q_4^{IV} = F \cdot B = 246 \cdot 5 = 1230 \text{ Вт} \quad (4.18)$$

де F – будівельна площа камер (1 – 2), м²;

B - питомий приплив тепла від відкритих дверей, Вт/м².

Сумарні експлуатаційні теплоприпливи:

$$Q_4 = 0.7 + 2.95 + 2.16 + 1.23 = 7.04 \text{ кВт}.$$

4.2.1 Теплоприпливи від фруктів і овочів в результаті дихання

$$Q_5 = E \cdot (0.1 \cdot q_n + 0.9 \cdot q_{xp}) \cdot 10^{-3} \quad (4.19)$$

де q_n - питома кількість теплоти, що виділяється при диханні під час вступу, Вт/т;

q_{xp} - питома кількість теплоти, що виділяється при диханні під час зберігання, Вт/т;

E - ємність камер.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для камер зберігання №1-2 даний тепло приток рівний:

$$Q_{1-2\text{кам}} = 266 \cdot (0.1 \cdot 152 + 0.9 \cdot 19) \cdot 10^{-3} = 8.591 \text{ кВт}$$

Теплове навантаження на устаткування і компресори враховуємо таким чином.

Вид теплоприпливів	На устаткування	На компресори
Q_1, Q_2, Q_3, Q_5	100%	100%
Q_4	100%	75%

Таблиця 4.4 Звідна таблиця теплоприпливів

Номер камери	Q_1 , кВт	Q_2 кВт	Q_3 кВт	Q_4 кВт		Q_5 кВт	$\sum Q_0$ кВт	$\sum Q_0$ кВт
	На устат. і на КМ	На устат. і на КМ.	На устат. і на КМ.	На устат.	На КМ	На устат. і на КМ.	На устат.	На КМ
Камера №1	6,651	2,492	3,556	3.796	2.847	4.953	21.582	20.633
Камера №2	5,375	2,492	3,556	3.796	2.847	4.953	20,306	19,357
Сумарно	12,524	4,984	7,112	7,592	5,694	9,906	41,888	39,99

Холодопродуктивність компресорів визначають по формулі:

$$Q_0 = \frac{\sum Q_0 \cdot k}{b} \quad (4.20)$$

де k - коефіцієнт який враховує втрати в трубопроводах і апаратах холодильної установки;

b - коефіцієнт робочого часу.

Коефіцієнти, що враховують втрати в трубопроводах і апаратах, приймаємо залежно від температури кипіння холодильного агенту.

Визначаємо холодопродуктивність компресорів для всіх камер даного фруктосховища:

$$Q_0 = \frac{1,05 \cdot 39990}{0,9} = 46655 \text{ Вт}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КОМПРЕСОРА

Після визначення теплового навантаження на компресор і камерне устаткування вибирають систему охолодження, найбільш раціональну для даного об'єкту.

При цьому необхідно вирішити, чи проектувати систему централізованого холодопостачання або децентралізовану безпосереднього охолодження або з проміжним холодоносієм, аміачну або хладонову без насосну або насосно-циркуляційну, вибрати систему охолодження в камерах батареїну або повітряну. Необхідно вирішити, яку вибрати систему відведення теплоти конденсації, повітрям або водою. Кожна з перерахованих систем має свої переваги і недоліки. На вибір системи охолодження впливає наступні чинники: число і вигляд охолоджуваних об'єктів – споживачів холоду; розрахункова температура в об'єктах; теплове навантаження від кожного об'єкту і розрахункове сумарне холодонавантаження; вимога техніки безпеки; підбір автоматики з необхідними характеристиками. У централізованих системах створюється загальне машинне відділення для всіх компресорних агрегатів а також для ін. устаткування, конденсаторів, охолоджуваного холодильного устаткування.

Так як в даному фруктосховищі для зберігання яблук використовується дві ідентичних холодильних камери, які мають однакові розміри, температуру зберігання, я вирішив застосувати централь з трьох однакових компресорів з двома конденсаторами повітряного охолодження і двох повітроохолоджувачів на кожну з камер. В ролі холодильного агенту буде виступати холодильний агент марки R-134a, який найкраще підходить для даної температури кипіння (-8°C).

Розрахунки в данному розділі проводимо по літературі [3].

5.1.1 Тепловий розрахунок компресора

Вихідні дані (розрахунок ведемо для одного компресора):

Холодопродуктивність, $Q_0 = 46.6 \text{ кВт}$

Температура кипіння, $t_0 = -8^{\circ}\text{C}$

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

Температура всмоктування, $t_{sc} = 20^{\circ}\text{C}$

Холодильний агент, R-134a.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

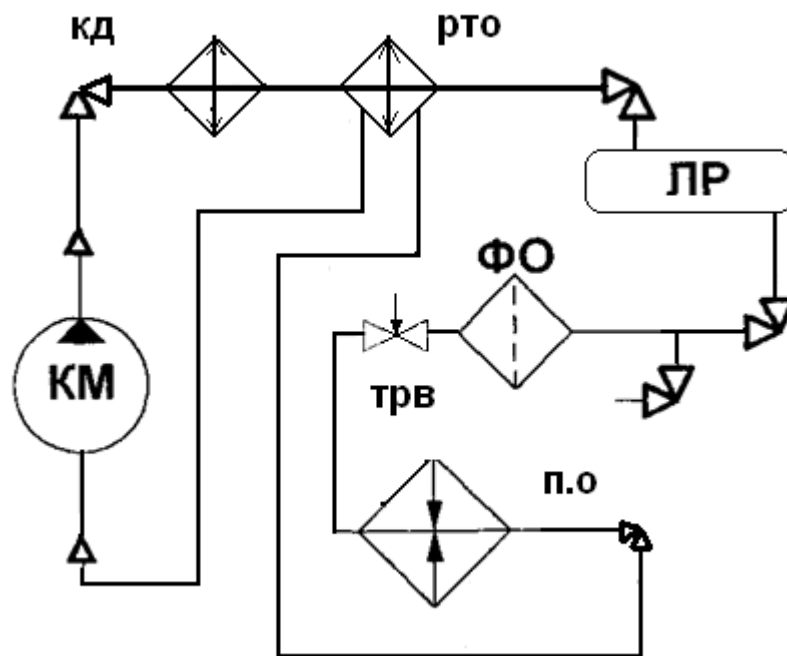


Рисунок 5.1- Схема холодильної установки.

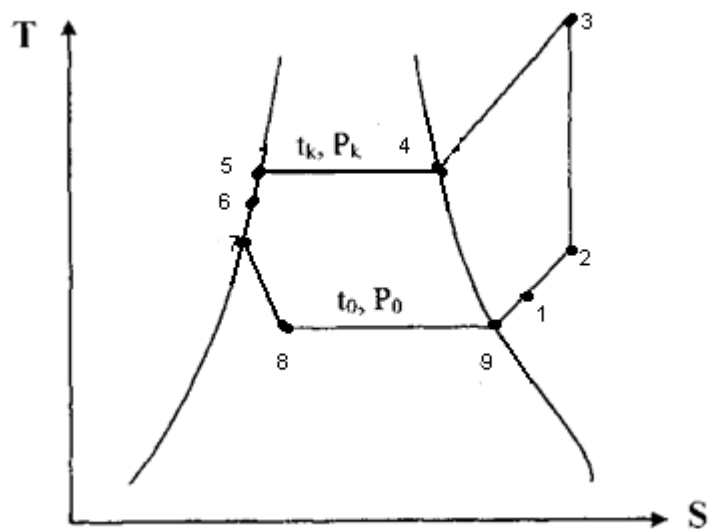


Рисунок 5.2-Цикл в Т-S діаграмі.

Таблиця 5.1- Параметри холодильного агенту в точках циклу.

Номер точ-ки	$t, ^\circ\text{C}$	P, Bar	$V, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$
1	0	2,2	0,1	400
2	20	2,2		418
3	76	13		456
4	45	13		420
5	45	13		264
6	40	13		257
7	28	13		239
8	-8	2,2		239
9	-8	2,2		393

В процесі розрахунку слід визначити об'єм описуваний поршнем, по якому підбираємо компресор, ефективну потужність на валу компресора і теплове навантаження на конденсатор. Розрахунок проводиться в наступній послідовності:

1. Питома масова холодопродуктивність:

$$q_0 = h_2 - h_8 = 418 - 239 = 179 \text{ кДж/кг} \quad (5.1)$$

2. Питома об'ємна холодопродуктивність:

$$q_v = \frac{q_0}{v_1} = \frac{46.6}{0.1} = 466 \text{ кДж/м}^3 \quad (5.2)$$

3. Питома теоретична робота компресора:

$$l_a = h_3 - h_2 = 456 - 418 = 38 \text{ кДж/кг} \quad (5.3)$$

4. Масова витрата холодильного агента:

$$G_a = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{46.6}{179} = 0.26 \text{ кг/с} \quad (5.4)$$

5. Дійсна об'ємна подача:

$$V_o = G_a \cdot V_1 = 0.26 \cdot 0.1 = 0.026 \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.5)$$

6. Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda_w = 0.93 \cdot 0.83 = 0.78 \quad (5.6)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

λ_c – коефіцієнт що відображає вплив мертвого об'єму

$$\lambda_c = 1 - C \cdot \left[\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] = 1 - 0.015 \cdot \left[\left(\frac{13}{2.2} \right)^{\frac{1}{1}} - 1 \right] = 0.93 \quad (5.7)$$

де C – відносна величина мертвого простору, лежить в межах 0,015...0,04.

m – показник політропи для хладонів рівний 1.

λ'_w - коефіцієнт, що враховує об'ємні втрати викликані дроселюванням пару в клапанах, підігрівом пару від стінок циліндра в процесі всмоктування, перетіканням з порожнини стиснення в порожнину всмоктування в результаті внутрішніх нещільностей.

$$\lambda'_w = \frac{T_0 + \theta}{\alpha T_k + \beta \theta}; \quad (5.8)$$

θ - сумарний перегрів робочого тіла на всмоктуванні;

$\alpha = 1,12; \beta = 0,5$ - коефіцієнти для всіх робочих тіл HFC та HCFC – типу.

$$\theta = t_1 - t_0 = 0 - (-8) = 8^\circ\text{C} \quad (5.9)$$

7. Теоретична об'ємна подача:

$$V_h = \frac{V_d}{\lambda} = \frac{0,026}{0,78} = 0,033 \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.10)$$

8. Адіабатна потужність:

$$N_a = G_a (i_3 - i_2) = 0.26 \cdot (456 - 418) = 9.88 \text{ кВт} \quad (5.11)$$

9. Індикаторний ККД:

$$\eta_i = \lambda'_w + b t_0 = 0,83 + 0,0025 \cdot (-8) = 0,81 \quad (5.12)$$

де $b = 0.0025$ для хладонів.

10. Індикаторна потужність:

$$N_i = \frac{N_a}{\eta_i} = \frac{9.88}{0,81} = 12.198 \text{ кВт} \quad (5.13)$$

11. Потужність, що витрачається на тертя:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{mp} = V_h \cdot P_{mp} = 0,031 \cdot 50 = 1.55 \text{ кВт} \quad (5.14)$$

12. Потужність на валу електродвигуна:

$$N_{ов} = N_i + N_{mp} = 12.198 + 1.55 = 13.78 \text{ кВт} \quad (5.15)$$

13. Теплове навантаження на конденсатори:

$$Q_k = Q_0 + N_i = 46.6 + (13.78 \cdot 3) = 87.94 \text{ кВт} \quad (5.16)$$

14. Теоретичний коефіцієнт перетворення

$$\text{COP}_{\text{теор}} = \frac{q_0}{w} = \frac{179}{38 \cdot 3} = 1,57 \quad (5.17)$$

15. Коефіцієнт перетворення циклу Карно:

$$\text{COP}_{\text{карно}} = \frac{T_0}{T_K - T_0} = \frac{265}{318 - 265} = 5,0 \quad (5.18)$$

16. Теоретичний ступінь термодинамічної досконалості:

$$\eta_{\text{СТС}}^{\text{ТЕОР}} = \frac{\text{COP}_{\text{ТЕОР}}}{\text{COP}_{\text{КАРНО}}} = \frac{1,57}{5,0} = 0,31 \quad (5.19)$$

17. Дійсний коефіцієнт перетворення:

$$\text{COP}_d = \frac{Q_0}{N_e} = \frac{46,6}{13,78 \cdot 3} = 1,12 \quad (5.20)$$

18. Дійсний ступінь термодинамічної досконалості:

$$\eta_{\text{СТС}}^d = \frac{\text{COP}_d}{\text{COP}_{\text{КАРНО}}} = \frac{1,12}{5,0} = 0,224 \quad (5.21)$$

По отриманих результатах підбираємо таке компресорний агрегат для камер зберігання:

компресор марки **Bitzer 6GE-40Y-40P**

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики компресора марки Bitzer 6GE-40Y-40P:

Холодопродуктивність -	55.4 кВт.
Об'ємна продуктивність -	183.0 м³/год.
Кількість циліндрів x діаметр x хід поршня	6 x 82 мм x 55 мм
Електроживлення мотора -	380 – 420 В Y/3/50 Гц
Споживаний струм -	38,0 А
Максимальний робочий струм -	78,0 А
Співвідношення в обмотках -	50/50
Пусковий струм (ротор заблокований) -	180,0 А Y / 323,0 А YY
Вага -	244 кг
Макс. тиск (LP/HP) -	19/32 bar.
Приєднання лінії всмоктування -	54 мм — 2 1/8"
Приєднання лінії нагнітання -	42 мм — 1 5/8"
Тип масла R134a -	tc <55°C: BSE32 tc >55°C: BSE55

Заправка маслом -

4,75 дм³

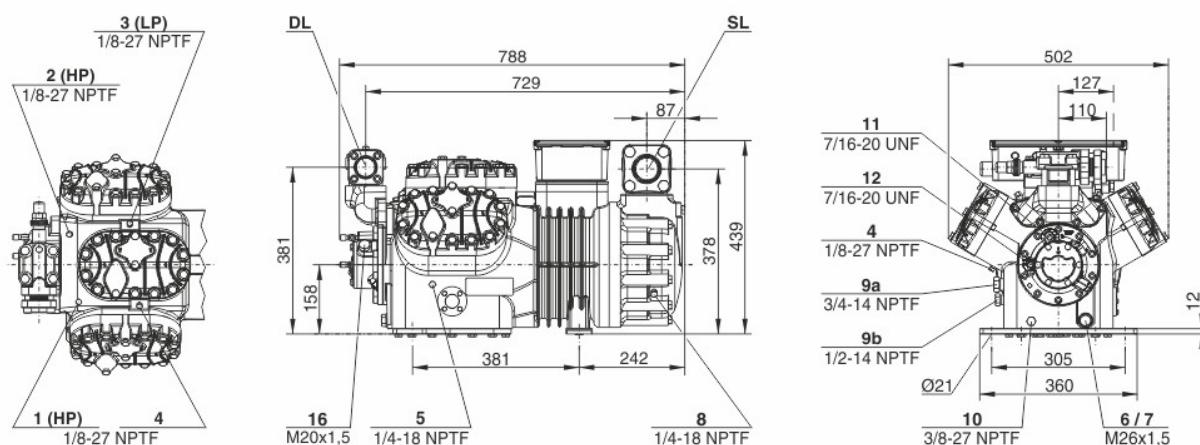


Рисунок 5.3- Компресорний агрегат Bitzer 6GE-40Y-40P.

Згідно зі стандартами ISO 817:2009 та EN 378-1:2017, холодоагенти R134a і R744 належать до класу безпеки A1 (низька токсичність, відсутність поширення полум'я). Тому заміна R134a на R744 не впливає на рівень пожежної та токсикологічної безпеки установки, але дозволяє зменшити значення GWP з 1430 до 1, що суттєво знижує екологічний вплив системи. Тому було прийнято рішення для зменшення рівня заправки системи холодильним агентом провести порівняльний аналіз з використанням двоступеневої бустерної холодильної установки на R744. Схема холодильної установки предста-

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

влена на рисунку 5.4.

З метою оцінки доцільності переходу від холодоагенту R134a до R744 було проведено порівняльний аналіз термодинамічних циклів обох систем. У ході дослідження визначено параметри характерних точок циклу, масову витрату холодоагенту, питому холодопродуктивність, потужність, що споживається компресором, а також холодильний коефіцієнт (COP). На основі отриманих результатів виконано оцінку впливу заміни холодоагенту на енергетичну ефективність та експлуатаційні характеристики установки.

Для виконання теплового розрахунку сучасної холодильної системи на природному холодоагенті CO₂ (R744) використовується спеціалізоване програмне забезпечення Coolselector2 компанії [Danfoss](#).

Програмний комплекс Coolselector2 дозволяє виконувати:

- розрахунок холодильних циклів;
- підбір компресорного обладнання;
- визначення параметрів роботи системи;
- розрахунок холодопродуктивності;
- оцінку енергоспоживання;
- підбір теплообмінного обладнання;
- аналіз режимів роботи CO₂-систем.

У даному проєкті тепловий розрахунок виконується для сучасної транскритичної CO₂-системи розподільчого холодильника з урахуванням:

- температурного режиму камер;
- теплопритоків через огорожувальні конструкції;
- теплопритоків від продукції;
- інфільтрації зовнішнього повітря;
- тепловиділень від персоналу та освітлення;
- роботи вентиляторів повітроохолоджувачів;
- кліматичних умов експлуатації.

При розрахунку визначаються:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- сумарне теплове навантаження;
- необхідна холодопродуктивність установки;
- температури кипіння та газового охолодження;
- робочі тиски системи;
- масова витрата холодоагенту;
- споживана потужність компресорів;
- коефіцієнт енергоефективності (COP).

Особлива увага приділяється роботі системи в умовах високих температур навколишнього середовища, що є характерним для кліматичних умов південних регіонів України, зокрема Миколаїв.

Таблиця 5.2 Вихідні дані для аналізу циклу на CO₂

Холодопродуктивність	Q_0	46,6 кВт
Температура конденсації	t_k	45°C
Температура кипіння	t_0	-8°C
Проміжна температура	$t_{пр}$	10°C
Тиск газового охолоджувача	$P_{го}$	115 бар
Перегрів на всмоктуванні	$\Delta t_{вс}$	10°C

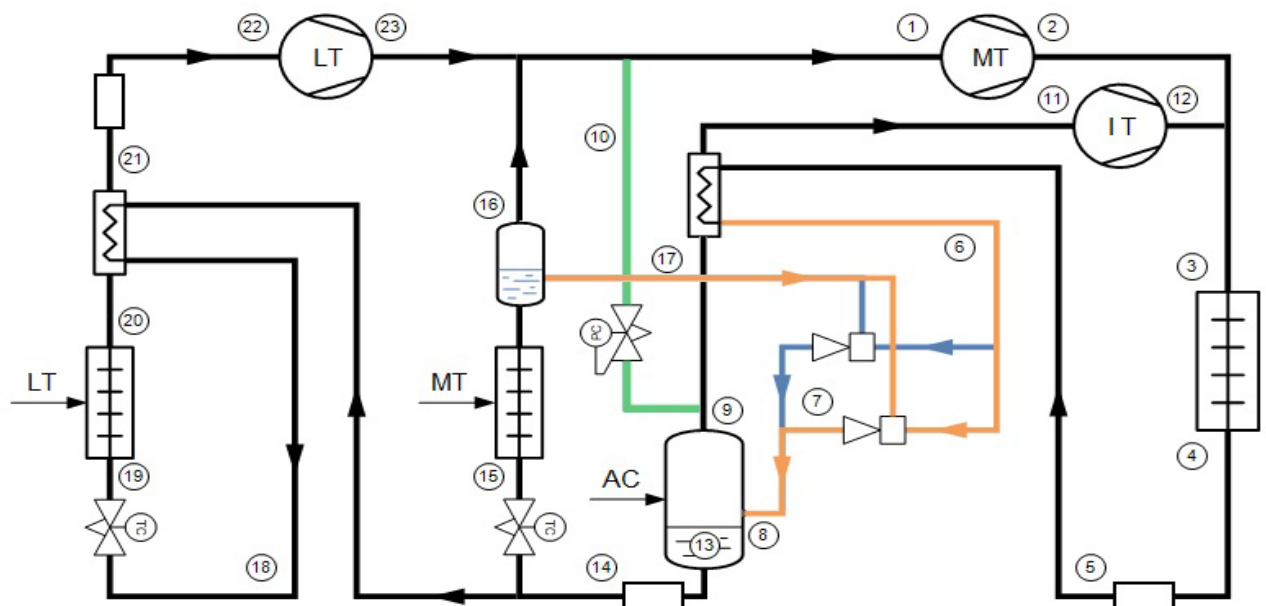


Рис. 5.4 Принципова схема транскритичної холодильної системи CO₂ з паралельним стисненням (Система 3): LT – компресор першого ступеня стиснення, MT – компресор другого ступеня стиснення, IT – компресор паралельного стиснення.

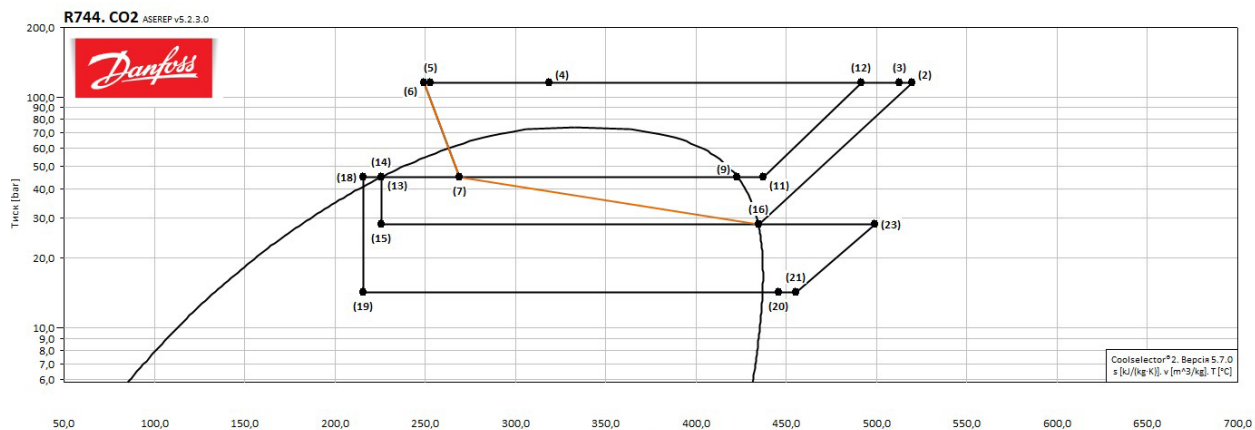


Рис.5.5 Цикл роботи холодильної установки R744.

Таблиця 5.3 Параметри в вузлових точках R744.

		Темпера- тура	Тис к (абс)	Густи- на	Енталь- пія	Ен- тропія	Ступі нь су- хості пари
Poi nt	Description	[°C]	[bar]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/(kg· K)]	[-]
1	Всмоктування СТ (МТ) ком- пресора	-8	28,0 3	75,82	434,5	1,888	1
2	Нагнітання СТ (МТ) компре- сора	117,8	115, 4	202,7	519,6	1,95	1
3	Вхід в газо- охолоджувач	113,3	115, 4	208,6	512,7	1,932	1
4	Вихід з газо- охолоджувача	45	115, 4	635,9	318,9	1,367	1
5	Вихід з газо- охолоджувача, додаткове охо-	25	115, 4	839,7	253,1	1,154	1

	лодження						
6	Після РТО	23,6	115,4	849,4	249,5	1,142	1
7	Вихід з ежектора	10	45,02	395,3	269	1,241	0,22
8	Вхід в ресивер	10	45,02	395,3	269	1,241	0,22
9	Насичений газ в ресивері	10	45,02	135,2	422,9	1,785	1
10	Після байпасного газового клапана	-8	28,03	79,19	422,9	1,844	0,95
11	Всмоктування паралельного (ІТ) компресора	16,6	45,02	121,9	437,4	1,835	1
12	Нагнітання паралельного (ІТ) компресора	100	115,4	229,2	491,4	1,876	1
13	Насичена рідина ресивері	10	45,02	860,9	225,7	1,088	0
14	Спільна рідина лінія	10	45,02	860,9	225,7	1,088	0
15	Після СТ (МТ) розширювального клапана	-8	28,03	315,3	225,7	1,101	0,18
16	Лінія всмоктування СТ (МТ)	-8	28,03	75,82	434,5	1,888	1

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

17	Ежектор, всмоктування	-8	28,0 3	75,82	434,5	1,888	1
18	НТ (LT) рідинна лінія	6,4	45,0 2	887	216	1,055	0
19	Після НТ (LT) розширювального клапана	-30	14,2 8	124,7	216	1,09	0,27
20	Вихід з НТ (LT) випарника	-22	14,2 8	35,07	445,7	2,034	1
21	Вихід з НТ (LT) РТО	-12,8	14,2 8	33,1	455,4	2,072	1
22	Всмоктування НТ (LT) компресора	-12,8	14,2 8	33,1	455,4	2,072	1
23	Нагнітання НТ (LT) компресора	44,9	28,0 3	53,08	498,9	2,111	1

Таблиця 5.4 Основні параметри продуктивності Системи на R744.

	COP [W/W]	2,28
Продуктивності		
	Холодопродуктивність НТ (LT) випарника [kW]	0
	Холодопродуктивність СТ (MT) випарника [kW]	46,6
	Холодопродуктивність СКП (AC) [kW]	0
	Продуктивність газоохолоджувача [kW]	49,58

	Переохолодження після газо-охолоджувача [kW]	16,83
Потужність компресора		
	НТ (LT) компресор [kW]	0
	СТ (MT) компресор [kW]	16,93
	Паралельний (IT) компресор [kW]	3,489
Теплові втрати компресора		
	НТ (LT) компресор [kW]	0
	СТ (MT) компресор [kW]	0,508
	Паралельний (IT) компресор [kW]	0,105
Енергетичний баланс		
	Вхід [kW]	67,02
	Вихід [kW]	67,02
	Різниця [kW]	0
Масова витрата		
	Масова витрата НТ (LT) випарника [kg/h]	0
	Масова витрата СТ (MT) випарника [kg/h]	803,5
	Масова витрата СТ (MT) компресора [kg/h]	695,2
	Масова витрата паралельного (IT) компресора [kg/h]	225,8
	Масова витрата ежектора на всмоктуванні [kg/h]	108,3
	Рушійна масова витрата ежектора [kg/h]	921

	Масова витрата газоохолоджувача [kg/h]	921
	Масова витрата від СТ (МТ) випарника до лінії всмоктування [kg/h]	695,2
Об'ємні витрати на всмоктуванні		
	НТ (ЛТ) компресор [m ³ /h]	0
	СТ (МТ) компресор [m ³ /h]	9,169
	Паралельний (ІТ) компресор [m ³ /h]	1,671

На основі проведеного розрахунку оцінюється ефективність запропонованої CO₂-системи та її відповідність сучасним вимогам промислового холодопостачання. Зведемо результати розрахунків на всіх запропонованих альтернативних холодильних агентах в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 Порівняння холодильних агентів R134A та R744.

Параметр	R134A	R744
COP	1.12	2.28
Масова витрата, кг/с	0.26	0.255
Потужність компресорів, кВт	41.34	19.879
Тиск нагнітання, бар	13	115
Тип	HFC	Природний
GWP	1430	1
Клас безпеки	A1 (негорючий)	A1 (негорючий)

Результати порівняльного аналізу показали, що використання холодоагенту R744 забезпечує вищу енергетичну ефективність установки порівняно з R134a. Значення холодильного коефіцієнта (COP) для R744 становить 2,28, що в 2 рази вище, ніж для R134a, у якого COP дорівнює 1,12. При практично однаковій масовій витраті холодоагенту (0,26 кг/с для R134a та 0,255

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кг/с для R744) компресор установки на R134A споживає в 2 рази більше електричної потужності, що пов'язано з особливостями транскритичного циклу та значно вищим тиском нагнітання.

Водночас застосування R744 супроводжується суттєвими екологічними перевагами. На відміну від R134a, який має потенціал глобального потепління (GWP) 1430, діоксид вуглецю має GWP, що дорівнює 1. Це практично виключає негативний вплив витоків холодоагенту на навколишнє середовище та відповідає сучасним тенденціям щодо скорочення використання фторованих парникових газів.

Аналіз також показав значну різницю в робочих тисках систем. Для R744 тиск нагнітання досягає 115 бар, що майже у 9 разів перевищує відповідний показник для R134a (13 бар). Це висуває підвищені вимоги до міцності обладнання, арматури та трубопроводів, а також впливає на вартість установки.

Обидва холодоагенти належать до класу безпеки A1 згідно з міжнародними стандартами ISO 817 та EN 378, тобто є негорючими та характеризуються низькою токсичністю. R134A має нижчий тиск і простіше в експлуатації, але його високий GWP обмежує використання у сучасних системах.

Перехід на R744 є перспективним напрямом розвитку холодильних технологій, особливо для промислових систем, де важлива екологічність і енергоефективність.

Для транскритичної холодильної установки на холодоагенті R744 з холодопродуктивністю 46,6 кВт та температурою кипіння -10°C обрано мультикомпресорний агрегат на базі двох напівгерметичних поршневіх компресорів **BITZER 4JTE-10K-40P** серії ECOLINE Transcritical. При заданих режимах роботи один компресор забезпечує холодопродуктивність 22,5 кВт, тому сумарна продуктивність агрегату становить 45 кВт, що максимально наближено до розрахункового навантаження. Використання

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двокомпресорної схеми додатково забезпечує ступінчасте регулювання продуктивності та підвищує надійність роботи холодильної установки.

Таблица 5.6 Параметры компрессорного агрегату.

Параметр	Значення
Виробник	Bitzer
Серія	ECOLINE Transcritical CO ₂
Тип компресора	Напівгерметичний поршневий
Кількість компресорів в агрегаті	2
Холодоагент	R744 (CO ₂)
Холодопродуктивність одного компресора	27,1 кВт
Сумарна холодопродуктивність агрегату	54,2 кВт
Споживана потужність одного компресора	9,52 кВт
Сумарна споживана потужність	19,04 кВт
Теоретична об'ємна продуктивність одного компресора	8,8 м³/год
Сумарна об'ємна продуктивність	17,2 м³/год
Кількість циліндрів	4
Частота мережі	50 Гц
Напруга живлення	380–420 В
Максимальний робочий тиск високої сторони	до 160 бар
Максимальний робочий тиск низької сторони	до 100 бар
Система змащення	Примусова
Регулювання продуктивності	Ступінчасте (1 або 2 компресори)
Клас безпеки холодоагенту	A1
Тип циклу	Транскритичний

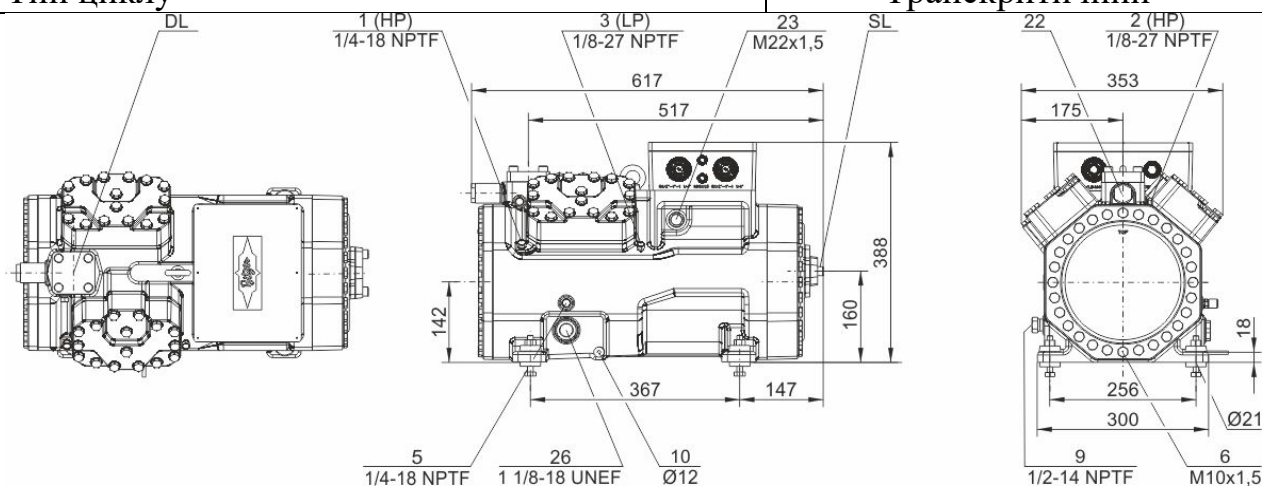


Рисунок 5.6 - Компрессорный агрегат Bitzer 4JTE-10K-40P.

6 РОЗРАХУНОК ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА

Розрахунок ведемо по літературі [4].

У розрахунку використовуються наступні дані:

- холодопродуктивність апарату $Q_0 = 11000$ Вт;
- температура повітря камери $t_k = 0$ °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), $d_H = 0.02$ м, $d_{BH} = 0.016$ м;
- матеріал ребер алюміній $\lambda_{реб} = 150$ 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,
- товщина у вершини $\delta_{вpl} = 0.0006$ м
- діаметр ребра $D_p = 0.063$ м;
- температура кипіння агента (R134a) $t_0 = -8$ °C;
- товщина інею, що осів $\delta_i = 0.0015$ м, $\lambda_i = 0.2$ Вт/(м•K).

Розрахунок

Приймаємо по графіку залежність від t_k під охолодження в апараті $\Delta t = 2$

Температура на виході з апарату:

$$t_e = t_k - \Delta t = 0 - 2 = -2^\circ C$$

Середня температура повітря:

$$t_c = 0.5 \cdot (t_k + t_e) = 0.5 \cdot (0 - 2) = -1^\circ C$$

Задаємося середньою температурою поверхні повітроохолоджувача, покритою інеєм: $t_n = -2.8$ °C.

По таблицях визначаємо вологовміст насиченого повітря при

$$t_k - d_k'' = 0.0044 \text{ кг/кг};$$

$$t_n - d_n'' = 0.003 \text{ кг/кг};$$

$$t_B - d_B'' = 0.0038 \text{ кг/кг}$$

Вологовміст повітря в камері при t_k по таблиці $d_k = 0.0039$ кг/кг

Вологовміст на виході з повітроохолоджувача:

$$d_e = d_k - (d_k - d_n'') \cdot (t_k - t_e) / (t_k - t_n) \text{ кг/кг} \quad (6.1)$$

$$d_e = 0,0039 - (0,0039 - 0,003) \cdot (0 + 2) / (0 + 2,8) = 0,0035 \text{ кг/кг}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

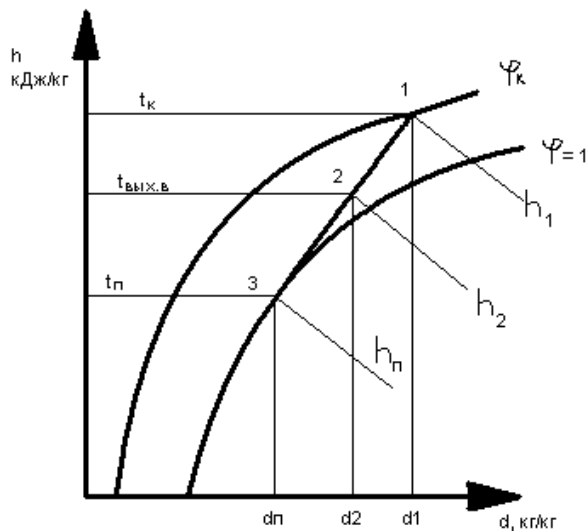


Рисунок 6.1 – Процес обробки повітря в повітроохолоджувачі в $h - d$ діаграмі.

Відносна вологість на виході з апарату:

$$\varphi_6 = d_6 / d_6'' = 0.0035 / 0.0038 = 0.93$$

Ентальпія повітря визначається по формулі:

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

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

$$h_6 = 1.006 \cdot 0 + (2835 + 2.09 \cdot 0) \cdot 0.0035 = 9.97 \quad \text{кДж/кг}$$

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

Поперечний і повздовжній крок труб при коридорній компоновці:

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

Зовнішня поверхня ребра:

$$f_p = 0.5 \cdot \pi (D_p^2 - d_n^2) + \pi \cdot D_p \cdot \delta_{ep} = 0.5 \cdot 3.14 (0.063^2 - 0.02^2) + \pi \cdot 0.063 \cdot 0.0006 = 5.7 \cdot 10^{-3} \quad \text{м}^2$$

Зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

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

Внутрішня поверхня труби ребристого елемента:

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

Повна зовнішня поверхня ребристого елемента:

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт оребрення:

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

Ступінь оребрення:

$$\phi = f_n / (\pi \cdot d_{вн} \cdot u) = 6.1 / (3.14 \cdot 0.02 \cdot 0.008) = 12.14$$

Умовний ступінь оребрення:

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

Геометричні характеристики поверхні інею.

Зовнішня поверхня інею на ребрі:

$$f_{pi} = 0.5 \cdot \pi \left[(D_p + 2 \cdot \delta_i)^2 - (d_n + 2 \cdot \delta_i)^2 \right] + \pi \cdot (D_p + 2 \cdot \delta_i) \cdot (\delta_{ep} + 2 \cdot \delta_i) =$$
$$0.5 \cdot 3.14 \cdot \left[(0.053 + 2 \cdot 0.0015)^2 - (0.02 + 2 \cdot 0.0015)^2 \right] + 3.14 \cdot (0.063 + 0.003) \cdot (0.0006 + 0.003) =$$
$$6.8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Внутрішня поверхня інею на трубі між двома суміжними ребрами:

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

Повна зовнішня поверхня інею на ребристому елементі:

$$f_i = f_{mp.i} + f_{p.i} = (6.8 + 0.22) \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Коефіцієнт оребрення поверхні, покритої інеєм:

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

Площа “живого” перетину одного ребристого елемента з інеєм:

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

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 Прандля $Pr_b = 0.707$;
- щільність $\rho_b = 1.293 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Коефіцієнт вологовиділення визначається по формулі:

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

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

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

Визначальний розмір:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_0 = d_n / \beta_n + (1 - \beta_n^{-1}) \cdot [0,785 \cdot (D_p^2 - d_n^2)]^{0,5} \quad (6.4)$$

$$L_0 = 0.2 / 16.19 + (1 - 16.19^{-1}) \cdot [0,785 \cdot (0.063^2 - 0.02^2)]^{0,5} = 0.051 \text{ м}$$

Число Рейнольдса:

$$Re_\epsilon = w_\epsilon \cdot L_0 / \nu_\epsilon \quad (6.5)$$

$$Re_\epsilon = 3 \cdot 0,051 / 13,28 \cdot 10^{-6} = 11498$$

Число Нуссельта:

$$Nu_\epsilon = 0.18 \cdot C_s \cdot C_z \cdot Re_\epsilon^{0.65 \cdot \beta_n^{-0.07}} \cdot \beta_n^{-0.7} \quad (6.6)$$

Оскільки $S_2/d_n = 3,45 > 2$ і кількість труб по передумовах більше 4 шт. то коефіцієнти $C_s = C_z = 1$.

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

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні повітроохолоджувача до повітря:

$$\alpha_\epsilon = Nu_\epsilon \cdot \lambda_\epsilon / L_0 \quad (6.7)$$

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

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{\epsilon, np} = [(\alpha_\epsilon \cdot \xi)^{-1} + \delta_i / \lambda_i]^{-1} \quad (6.8)$$

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

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:

$$mh' = [4 \cdot \alpha_{\epsilon, np} / ((\delta_{\epsilon p} + \delta_{op}) \cdot \lambda_p)]^{0,5} \cdot h' = 2 \cdot [18.3 / (0.008 \cdot 150)]^{0,5} = 0.384$$

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:

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

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елемента:

$$\alpha_{\epsilon, np}' = \alpha_{\epsilon, np} \cdot (f_p \cdot E \cdot \psi + f_{mp}) / f_n \quad (6.10)$$

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

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби:

$$q_\epsilon = \alpha_\epsilon \cdot \xi \cdot \beta_i \cdot (t_c - t_n) \quad (6.11)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$q_6 = 17.1 \cdot 1.073 \cdot 17.34 \cdot (1 + 2.8) = 1436 \text{ Вт/м}^2$$

Коефіцієнт тепловіддачі в трубах апарату:

$$\alpha_0 = 32 \cdot \omega \rho^{0.47} \cdot q_6^{0.15} \quad (6.12)$$

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

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

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні інею:

$$K_{ni} = \left[\beta_i / \alpha_0 + 1 / \alpha_{\text{вн.і}} + \phi \cdot (0.5 \cdot (d_n - d_{\text{вн}}) / \lambda_m) \right]^{-1} \quad (6.13)$$

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

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:

$$q_n = K_{ni} \cdot (t_c - t_0) = 10.67 \cdot (-1 + 8) = 85.3 \text{ Вт/м}^2$$

- розрахункова різниця температур:

$$\Delta t_p = q_n / (\alpha_6 \cdot \xi) = 85.3 / (19.8 \cdot 1.073) = 4.02^\circ \text{C}$$

- відносна похибка прийнятої і розрахункової різниці температур:

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

Оскільки відносна похибка задовольняє необхідну похибку розрахунку (<5%), тоді знаходимо зовнішню поверхню повітроохолоджувача:

$$F_n = Q_0 / [K_n \cdot (t_c - t_0)] = 11000 / (10.67 \cdot 7) = 147.3 \text{ м}^2$$

Компонувальний розрахунок повітроохолоджувача

Об'ємна витрата повітря через повітроохолоджувач:

$$V_6 = Q_0 \cdot 10^{-3} / [\rho_6 \cdot (h_k - h_6)] \quad (6.14)$$

$$V_6 = 11 / [1.29 \cdot (13.08 - 9.99)] = 2.76 \text{ м}^3/\text{с}$$

По графіках характеристик вентиляторів вибираємо вентилятор ВО-12-303-6.3 при орієнтованому натиску $H=120 \text{ Па}$ з діаметром вентилятора $D_B=0.63 \text{ м}$.

Мінімальний живий перетин повітроохолоджувача:

$$F_{жс} = V_6 / w_6 = 2.76 / 3 = 0.92 \text{ м}^2$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Площа фронтального перетину повітроохолоджувача:

$$F_{\phi} = F_{\text{жс}} \cdot S_1 \cdot u / f_{\text{жс}} = 0.92 \cdot 0.069 \cdot 0.008 / 0.00044 = 1.154 \text{ м}^2$$

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

$$e = F_{\phi} / (0.25 \cdot \pi \cdot D_6^2) = 1.154 / (0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.63^2) = 2.5$$

Орієнтовані геометричні розміри теплообмінної секції повітроохолоджувача у фронтальному перетині:

- ширина і довжина $H' = L' = F_{\phi}^{0.5} = 1.154 \text{ м};$

число труб у фронтальному перетині пучка з округленням до парного цілого:

$$z_1 = H' / S_1 = 1.154 / 0.069 = 17$$

Приймаємо дійсне число труб $z_1 = 18$ шт.

Дійсна ширина і довжина секції:

$$H = z_1 \cdot S_1 = 18 \cdot 0.069 = 1.242 \text{ м}$$

$$L = F_{\phi} / H = 1.154 / 1.242 = 0.93 \text{ м}$$

Кількість труб по ходу повітря з округленням до найближчого більшого цілого:

$$z_2 = F_n / [f_n \cdot (F_{\text{жс}} / f_{\text{жс}})] = 147.3 / [0.0061 \cdot (0.92 / 0.00044)] = 12 \text{ шт}$$

Розрахункові параметри теплообмінної поверхні:

- сумарна довжина труб апарату:

$$\Sigma L = L \cdot z_1 \cdot z_2 = 0.93 \cdot 18 \cdot 12 = 200 \text{ м}$$

- площа зовнішньої поверхні:

$$F_o = \Sigma L \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot \beta = 200 \cdot 3.14 \cdot 0.016 \cdot 15.17 = 153 \text{ м}^2$$

- глибина секції:

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

Перевірка по аеродинамічному опору.

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

$$\Delta P = 0.26 \cdot C_z \cdot C_l \cdot C_t \cdot (\omega \rho)^{1.92} \quad (6.15)$$

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:

$$C_t = \nu_6^{0.08} / \rho_6^{0.92} = (13.28 \cdot 10^{-6})^{0.08} / 1.293^{0.92} = 0.322$$

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta P = 0.26 \cdot 12 \cdot 1.87 \cdot 0.322 \cdot (3 \cdot 1.293)^{1.92} = 30 \text{ Па}$$

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

Обираємо по 2 повітроохолоджувача для камер №1-2 Alfa Laval CSEN253BS, характеристики занесено до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 Характеристики повітроохолоджувача

Площа поверхні, м ²	35.82
Теплове навантаження, кВт	5.99
Крок ребер, мм	4
Вентилятори :	
-кількість	3
-діаметр, мм	250
-частота обертання, об/хв	2250
-потужність, Вт	354
-витрата повітря, м ³ /с	1.011
Ціна, євро	1217

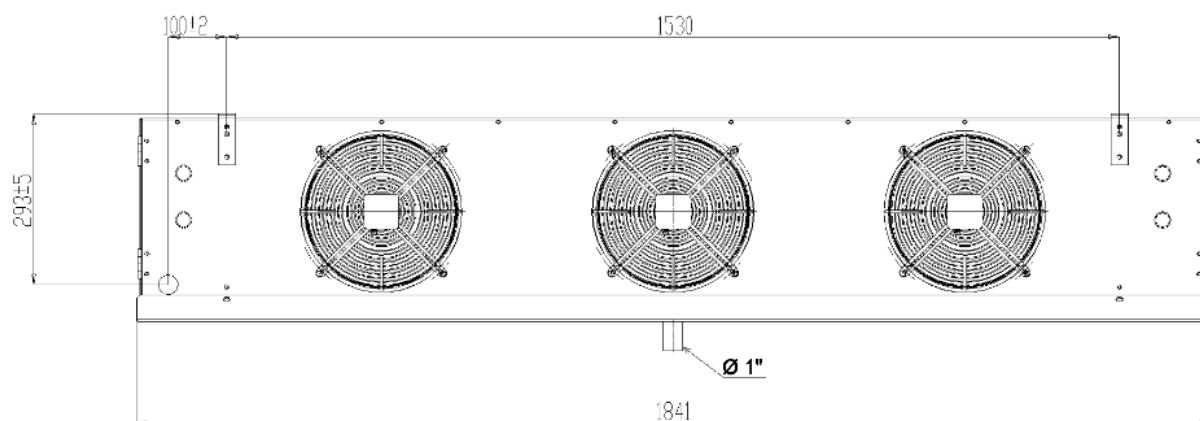


Рисунок 6.2 – Повітроохолоджувач Alfa Laval CSEN253BS.

7 РОЗРАХУНОК ПОВІТРЯНОГО КОНДЕНСАТОРА

Розрахунок ведемо на прикладі літератури [4].

Для конденсатора з повітряним охолодженням приймаємо конструкцію з пластичастим оребренням, рисунок 7.1

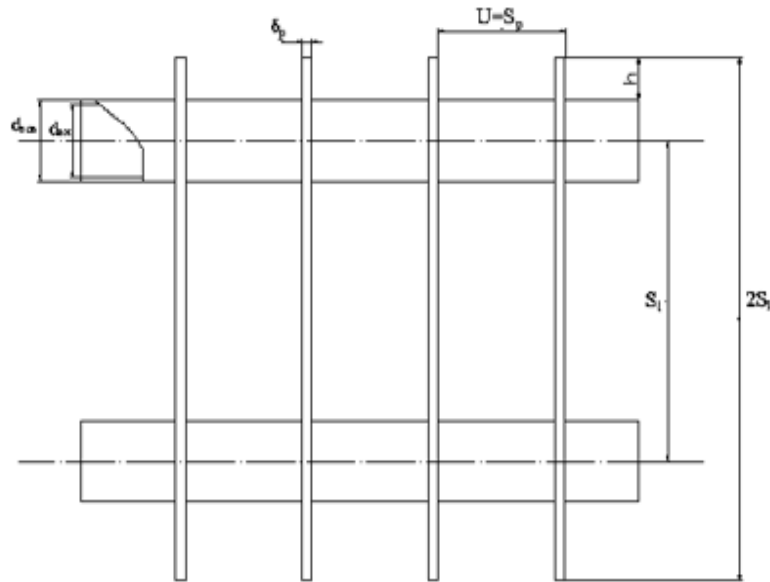


Рисунок 7.1 – Елемент оребрення конденсатора.

Визначаємо вихідні дані для розрахунку

- теплове навантаження $Q_k=84,7$ кВт
- температура конденсації $t_k=45$ °С
- холодильний агент R 134a
- розрахункова температура зовнішнього повітря $t_{зоб}=30$ °С
- відносна вологість зовнішнього повітря $\varphi=50\%$
- основні розміри елементів оребреної поверхні
- зовнішній діаметр труби $d_{зоб}=0.015$ м
- внутрішній діаметр труби $d_{вн}=0.013$ м
- ребра пластинчаті алюмінієві
- крок ребер $S_p=0.004$ м
- товщина ребер $\delta_p=0.0004$ м
- умовна висота ребра $h_p=0.028$ м

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

- крок труби по фронту повітря $S_1=0.028$ м
- крок труби по фронту повітря $S_2=0.028$ м
- Матеріал труб - мідь (Cu)
- матеріал ребер - алюміній (Al)
- розташування труб у пучку – коридорне
- характеристики труб обрано за даними виробника Alfacgreen

Задаємося різницею температур повітря на вході 30 °C, та на виході з конденсатора 36 °C

$$\Delta t = 36 - 30 = 6 \text{ °C}$$

1. Визначаємо логарифмічну різницю температур

$$\Theta = \frac{\Delta t}{\ln\left(\frac{t_k - t_n}{\Delta t}\right)} = \frac{6}{\ln\left(\frac{10}{30}\right)} = 6.55 \quad (7.1)$$

Визначаємо середнє значення температури

$$t_{п.сер.} = (\Delta t + t_n) / 2 = (36 + 30) / 2 = 33 \text{ °C} \quad (7.2)$$

Густина $\rho = 1.102$ кг/м³

Теплоємність $c_p = 1.007$ кДж/кг

$$\begin{aligned} v_{пар} &= (13.45 + 0.0885 \cdot t_{п.сер} + 0.00013 \cdot t_{п.сер}^2) \cdot 10^{-6} = \\ &= (13.45 + 0.0885 \cdot 33 + 0.00013 \cdot 33^2) \cdot 10^{-6} = 1.637 \cdot 10^{-5} \end{aligned} \quad (7.3)$$

Коефіцієнт теплопровідності повітря при температурі 36 °C

$$\lambda_{п} = 0.024 + 0.8 \cdot 10^{-4} \cdot t_{п.сер} = 0.024 + 0.8 \cdot 10^{-4} \cdot 36 = 0.027 \text{ Вт/(м·К)} \quad (7.4)$$

Масова витрата повітря складає

$$G_{п} = Q_K / c_p \cdot \Delta t = 84.7 / 1.007 \cdot 6 = 14.02 \text{ кг/с} \quad (7.5)$$

Обємна витрата повітря складає

$$V_{п} = G_{п} / \rho = 14.02 / 1.102 = 12.72 \text{ м}^3/\text{с} \quad (7.6)$$

2. Визначаємо площу живого перерізу апарата, для чого попередньо приймаємо швидкість повітря $\omega = 6$ м/с

$$F_{ж} = V_{п} / \omega = 12.72 / 6 = 2.12 \text{ м}^2 \quad (7.7)$$

Визначаємо площу зовнішньої теплообмінної поверхні 1 м. труби

Поверхня труби між ребрами, розрахована для 1 м. довжини оребреної

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

труби

$$F_{\text{тр}} = \pi \cdot d_{\text{зов}} \cdot (1 - \delta_p / S_p) = 3.14 \cdot 0.015 \cdot (1 - 0.0004 / 0.004) = 0.042 \text{ м}^2/\text{м}$$

Поверхня ребер, розрахована для 1м довжини оребреної труби

$$F_p = 2 \cdot (S_1 - \pi d_{\text{зов}}^2 / 4) \cdot 1 / S_p = 2 \cdot (0.028 - \pi 0.015^2 / 4) \cdot 1 / 0.028 = 0.304 \text{ м}^2/\text{м}$$

3. Зовнішня поверхня оребреної труби довжиною 1 м.

$$F_3 = F_{\text{тр}} + F_p = 0.042 + 0.304 = 0.346 \text{ м}^2/\text{м} \quad (7.10)$$

Зовнішня поверхня 1м. гладкої труби

$$F_0 = \pi \cdot d_{\text{зов}} = 3.14 \cdot 0.015 = 0.047 \text{ м}^2/\text{м} \quad (7.11)$$

4. Еквівалентний діаметр міжтрубної - ребристої ячейки для проходження повітря

$$d_e = \frac{2 \cdot (S_1 - d_{\text{зов}}) \cdot (S_p - \delta_{\text{вн}})}{(S_1 - d_{\text{зов}}) + (S_p - \delta_{\text{вн}})} = \frac{2 \cdot (0.028 - 0.015) \cdot (0.004 - 0.0004)}{(0.028 - 0.015) + (0.004 - 0.0004)} = 5.64 \cdot 10^{-3} \quad (7.12)$$

Приймаємо кількість паралельних секцій $a=4$ і розраховуємо довжину пластин по ходу повітря

5. Довжина в напрямі потоку повітря

a - кількість рядів труб в заданому напрямі, 4

$$L = S_1 \cdot a = 0.028 \cdot 4 = 0.112 \text{ м} \quad (7.13)$$

6. Визначаємо число Рейнольдса і характер руху повітря

$$R = \omega \cdot d_e / \nu = 6 \cdot 5.64 \cdot 10^{-3} / 1.637 \cdot 10^{-5} = 2066 \quad (7.14)$$

Знаходимо коефіцієнти

$$c_n = 0.518 - 0.02315 \cdot (L/d_e) + 0.425 \cdot 10^{-3} \cdot (L/d_e)^2 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot (L/d_e)^3 \cdot (1.36 - 0.24 \cdot R/1000) = 0.518 - 0.02315 \cdot (0.112/5.64 \cdot 10^{-3}) + 0.425 \cdot 10^{-3} \cdot (0.112/5.64 \cdot 10^{-3})^2 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot (0.112/5.64 \cdot 10^{-3})^3 \cdot (1.36 - 0.24 \cdot 2066/1000) = 0.169 \quad (7.15)$$

$$n = 0.45 + 0.0066 \cdot L/d_e = 0.45 + 0.0066 \cdot 0.112/5.64 \cdot 10^{-3} = 0.581 \quad (7.16)$$

$$m = -0.028 + 0.08 \cdot R/1000 = -0.028 + 0.08 \cdot 2066/1000 = 0.137 \quad (7.17)$$

$$N = c_n \cdot R^n \cdot (L/d_e)^m = 0.169 \cdot 2066^{0.581} \cdot (0.112/5.64 \cdot 10^{-3})^{0.137} = 21.48 \quad (7.18)$$

коефіцієнт тепловідачі з боку повітря

$$\alpha_k = N \cdot \lambda_{\text{п}} / d_e = 21.48 \cdot 0.027 / 5.64 \cdot 10^{-3} = 101.5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \quad (7.19)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря віднесений до повної оребреної поверхні труби

λ - коефіцієнт теплопровідності, 217 Вт/м·К

$$m_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_k}{\lambda \cdot \delta_p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 101.5}{217 \cdot 0.004}} = 48.36 \quad (7.20)$$

$$\rho_1 = 1.28 \cdot \frac{S_1}{d_{306}} \left(\sqrt{\frac{S_1}{S_2}} - 0.2 \right) = .28 \cdot \frac{0.028}{0.015} \left(\sqrt{\frac{0.028}{0.028}} - 0.2 \right) = 1.911 \quad (7.21)$$

Умовна висота ребра

$$h_p = 0.5 \cdot d_{306} (\rho_1 - 1) \cdot (1 + 0.35 \cdot \ln(\rho_1)) = 0.5 \cdot 0.015 (1.911 - 1) \cdot (1 + 0.35 \cdot \ln(1.911)) = 0.00838 \text{ м.} \quad (7.22)$$

8. Коефіцієнт ефективності ребра

$$\Sigma_p = \frac{th(m_1 \cdot h_p)}{m_1 \cdot h_p} = \frac{th(48.36 \cdot 0.00838)}{48.36 \cdot 0.00838} = 98.83 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \quad (7.23)$$

Визначаємо щільність теплового потоку з боку поверхні до повітря, віднесений до зовнішньої поверхні апарата. Для визначення опору мастильного забруднення

$\lambda_m = 0.12 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, $\delta_m = 0.0005 \text{ м}$

$\lambda_{тр} = 384 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$, $\delta_{тр} = 0.001 \text{ м}$

$\theta_{п1} = 1$

$$q_{fn} = \frac{\Theta_{n1}}{\left(\left(\frac{1}{\alpha_{n.прив.}} \right) + \left(\frac{\delta_{mp}}{\lambda_{mp}} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} \right) \left(\frac{F_p - F_{mp}}{F_o} \right) \right)} = \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{98.83} \right) + \left(\frac{0.001}{384} + \frac{0.0005}{0.12} \right) \left(\frac{0.304 - 0.042}{0.047} \right) \right)} = 24.54 \text{ Вт/м}^2 \quad (7.24)$$

9. Коефіцієнт тепловіддачі від холодильного агента R134a до внутрішньої поверхні труби. Властивості R134a при 45 °С

теплота конденсації $r = 33.8 \text{ кДж/кг}$

густинність рідини $\rho_p = 1252 \text{ кг/м}^3$

коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 0.064 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$

коефіцієнт динамічної вязкості $\mu = 1.59 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$

$\Delta_i = 129.3 \cdot 10^3 \text{ тоді,}$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

10. Питомий тепловий потік від агенту до зовнішньої поверхні

Внутрішня поверхня труби довжиною 1м.

$$F_{\text{вн}} = \pi \cdot d_{\text{вн}} = 3.14 \cdot 0.013 = 0.041 \text{ м}^2 \quad (7.25)$$

Визначаємо щільність теплового потоку з боку агента, віднесену до зовнішньої поверхні $q_{\text{аFвн1}}$

$$q_{\text{аFвн1}} = \alpha_{\text{а}} \cdot \theta_{\text{а}} \cdot F_{\text{вн}} / F_{\text{зовн}} = 2211 \cdot 1(0.0408/0.305) = 261,5 \theta^{0.75} \quad (7.26)$$

11. Вирішуємо з графічного рівняння $q_{\text{аFвн1}} = 261,5 \theta^{0.75}$ та $q_{\text{Fзп}} = 23.2(6.55 - \theta_{\text{а}})$ і визначаємо щільність теплового потоку $q_{\text{Fзов}}$ та температурні напори з боку агента і з боку повітря. При побудові графіка спочатку викладаємо на осі ординат масштабне значення логарифмічного напору і будуємо з початку координат лінійну залежність $q_{\text{Fзп}} = 21.6 \cdot \theta_{\text{п}}$

12. Визначаємо зовнішню поверхню

$$F_{\text{зн}} = Q_{\text{к}} / q_{\text{Fзп}} = 84700 / 141,7 = 598 \text{ м}^2$$

13. Визначаємо кількість оребрених елементів у фронтальному перетині апарата

$$n_{\text{ре}} = F_{\text{ж}} / F_{\text{жр}} = 0.346 / 0.000039 = 8333$$

Визначаємо сумарну довжину труб у фронтальному перетині пучка

$$L_{\text{ф}} = S_{\text{р}} \cdot n_{\text{ре}} = 0.004 \cdot 8333 = 33 \text{ м}$$

14. Визначаємо площу вільного фронтального перетину апарата на вході повітря

$$S_{\text{ф}} = F_{\text{ж}} \cdot S_1 \cdot S_{\text{р}} / F_{\text{жр}} = 0.346 \cdot 0.028 \cdot 0.004 / 0.000039 = 0.933 \text{ м}^2$$

Приймаємо три вентилятора ВО-12-303-6,3

Орієнтовочні геометричні розміри конденсатора визначаємо з виражень:

- ширина $B = (S_{\text{ф}}/z)^{0.5} = (0.933/2)^{0.5} = 0.683 \text{ м}$

- довжина $L = B \cdot z = 0.683 \cdot 3 = 2.049 \text{ м}$

Розміри вентилятора $D = 0.46$ і $L = 0.35$ м відповідають розмірам апарата.

Визначаємо число труб у фронтальному перетині пучка

$$N = B / S_1 = 0.683 / 0.028 = 24.39$$

Округляємо до $N_{\text{ф0}}$ 24 і перераховуємо розміри.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_d = N_{\text{фo}} \cdot S_a = 24 \cdot 0.028 = 0.672 \text{ м}$$

$$L_d = S_{\text{ф}} / B_d = 24 / 0.672 = 1.388 \text{ м}$$

15. Число труб вздовж потоку повітря

$$N = \Sigma L / (L_d \cdot N_{\text{фo}}) = 266.2 / (1.388 \cdot 24) = 7.98 \text{ труб}$$

Округляємо число труб до $N_{\text{уп}} = 8$

Кінцеві розрахункові параметри конденсатора:

- сумарна довжина труб $\Sigma L = L_d \cdot N_{\text{фo}} \cdot N_{\text{уп}} = 1.388 \cdot 24 \cdot 8 = 266.5 \text{ м}$

- площа зовнішньої поверхні труби

$$F_d = L_d \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot \beta = 1.388 \cdot 3.14 \cdot 0.013 \cdot 7.3 = 0.414 \text{ м}^2$$

- висота (глибини) секцій $H_c = S_1 \cdot N_{\text{уп}} = 0.028 \cdot 8 = 0.224$

16. Число труб уздовж потоку повітря знаходиться в рекомендованих межах $4 < N_{\text{уп}} < 12$ Аеродинамічний опір для даного типу конструкції розраховуємо по формулі А.А. Гоголіна [3]

Приймаємо $A = 0.11$ – для нерівної поверхні.

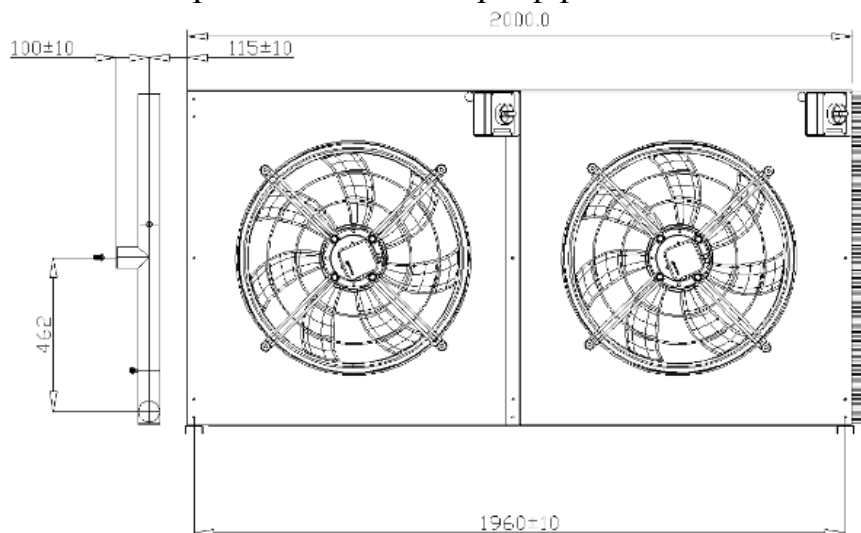
$$\Delta P = A(L_p / d_c) \cdot (\omega \cdot \rho)^{1.7} = 0.11(0.224 / 5.6 \cdot 10^{-3}) \cdot (6 \cdot 1.102)^{1.7} = 109.14 \text{ Па}$$

17. Величина аеродинамічного опору відповідає характеристикам обраних вентиляторів марки ВО-12-303-6.3

- частота обертання 915 об/хв.; потужність двигуна – 0.37 кВт;

- тип двигуна 4A71A6

Обираємо 2 повітряних конденсатори фірми Alfa Laval AGS632AT.



8 РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВОДІВ І ПІДБІР ІНШОГО ОБЛАДНАННЯ

Діаметр трубопроводів визначаємо по формулі:

$$d_{mp} = 1,13 \sqrt{\frac{V_a}{W}} \quad (8.1)$$

де V_a - об'ємна витрата агенту, м³/с

W - швидкість пари або рідини в трубопроводі, м/с

Об'ємна витрата агента

$$V_a = M_a / \rho \quad (8.2)$$

де ρ – щільність агента за відповідних умов, кг/м³

Приймаємо швидкість у всмоктуючих і нагнітальних трубопроводах - 15 м/с, в рідинних - 1 м/с.

Розраховуємо трубопроводи для одного з компресорів мультисистеми:

Розраховуємо нагнітальний трубопровід

При $t_3 = 76^\circ\text{C}$ і $P_k = 13$ бар – щільність агента $\rho_3 = 67,05$ кг/м³

$$V_a = M_a / \rho = 0.24 / 67.05 = 0.0036 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$d_{mp} = 1,13 \sqrt{\frac{0.0036}{15}} = 0,0175 \text{ м}$$

Приймаємо на нагнітанні мідну трубу 20 x 1,5

Розраховуємо всмоктуючий трубопровід

При $t_2 = 20^\circ\text{C}$ і $P_k = 2,2$ бар – щільність агента $\rho_3 = 11,85$ кг/м³

$$V_a = M_a / \rho = 0.24 / 11.85 = 0.02 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$d_{mp} = 1,13 \sqrt{\frac{0.02}{15}} = 0,041 \text{ м}$$

Приймаємо на всмоктуванні мідну трубу 46 x 2,5

Розраховуємо трубопровід на зливів з конденсатора в ресивер:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При $t_2 = 28^\circ\text{C}$ і $P_k = 13$ бар – щільність агента $\rho_3 = 1104,5$ кг/м³

$$V_a = M_a / \rho = 0.72 / 1104.5 = 0.000652 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$d_{mp} = 1,13 \sqrt{\frac{0.000652}{1}} = 0,029 \text{ м}$$

Приймаємо мідну трубу 32 x 1,5

Підбір додаткового устаткування.

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

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

$$V_g = 8 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot \Sigma L = 8 \cdot 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,016^2 \cdot 200 = 0,32 \text{ м}^3 \quad (8.3)$$

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

$$V_l = (0,6 \cdot V_g / 0,5) \cdot 1,2 = (0,6 \cdot 0,32 / 0,5) \cdot 1,2 = 0,46 \text{ м}^3 \quad (8.4)$$

В таблиці 8.1 підібрані усі апарати з урахуванням робочих параметрів R134a (середньотемпературний діапазон, робочий тиск до 2.0 МПа).

Використані сучасні марки (Danfoss, Alfa Laval, Castel), які відповідають міжнародним стандартам безпеки та енергоефективності.

Відділювачі рідини та масловідділювачі забезпечують надійний захист компресора, а ресивер і маслозбірник — стабільність роботи системи.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиці 8.1 – Підбір допоміжного обладнання.

№	Обладнання	Сучасна марка / тип	Основні параметри
1	Ресивер	Danfoss HRL 0.75 (горизонтальний, лінійний)	Об'єм 0.75 м³; Робочий тиск до 2.0 МПа; Температурний діапазон -20...+50 °С
2	Відділювач рідини	Alfa Laval LS 70 (вертикальний, зварний)	Продуктивність до 70 кВт; Робочий тиск до 1.6 МПа; Температурний діапазон -40...+45 °С
3	Масловідділювач	Danfoss OMT 50 (циклонного типу)	Підбирається по діаметру нагнітального патрубку; Робочий тиск до 2.0 МПа
4	Маслозбірник	Castel OM 150 (вертикальний, зварний)	Об'єм 150 л; Робочий тиск до 2.0 МПа; Температурний діапазон -40...+150 °С

9 ОХОРОНА ПРАЦІ

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

Холодоагент R134a не токсичний і не спалахує у всьому діапазоні температур експлуатації. Проте при попаданні повітря в систему і стискуванні можуть утворюватися пальні суміші. R134a розкладається під впливом полум'я з утворенням отруйних і дратівливих з'єднань, таких, як фтористий водень.

Із-за значного потенціалу глобального потепління GWP рекомендується застосовувати R134a в герметичних холодильних системах.

R134a широко використовують у всьому світі як основну заміну R12 для холодильного устаткування, що працює в середнетемпературному діапазоні. Його застосовують в автомобільних кондиціонерах, побутових холодильниках, торговельному холодильному середнетемпературному устаткуванні, промислових установках, системах кондиціювання повітря в будівлях і промислових приміщеннях, а також на холодильному транспорті.

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

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

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

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Ширина проходів в машинному відділенні:

головний прохід і прохід від електрощита до виступаючих частин машини (у там числі до огорожувань і фундаменту колон) - становить 1,5 м;

між виступаючими частинами машин - 1 м;

між гладкою стіною і машиною - 0,8 м.

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

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

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

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

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

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

У схемі трубопроводів передбачена можливість відсмоктування холодоагенту з будь-яких апаратів, судин, повітроохолоджувачів і батарей.

Щоб уникнути пошкодження вантажами або підйомно-транспортними засобами труб з хладоном, їх прокладка в холодильних камерах зроблена уздовж стін, перегородок і проходів без пересічення вантажного об'єму камер.

Технологічні трубопроводи, що проходять через приміщення машинного відділення і не пов'язані з роботою холодильної установки, не мають в межах цього приміщення роз'ємних з'єднань (фланців, замкової арматури і т. д.).

Трубопроводи неагрегованих хладонових установок мають наступне пізнавальне забарвлення;

всмоктуючі - синю;

нагнітальні - червону;

рідинні - сріблясту;

водяні - зелену.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вуглекислота не токсична і не вибухонебезпечна, однак при її концентраціях в повітрі понад 5% (92г / м³) знижується частка кисню, що може привести до кисневої недостатності і задухи. Тому слід побоюватися її скупчування в погано провітрюваних приміщеннях. Для реєстрації концентрації вуглекислоти в повітрі виробничих приміщень застосовуються газоаналізатори - стаціонарні автоматичні або переносні.

При зменшенні тиску до атмосферного рідка вуглекислота перетворюється в газ і сніг з температурою -78,5 ° С і може призвести до ураження слизової оболонки очей та обмороженню шкіри. Тому при відборі проб рідкої вуглекислоти необхідно користуватися захисними окулярами і рукавицями.

Огляд внутрішньої ємності раніше експлуатованої цистерни для зберігання і транспортування рідкої вуглекислоти необхідно проводити у шланговому протигазі. Цистерну необхідно відігріти до температури навколишнього середовища, а внутрішню ємність продуту повітрям або провентилувати. Протигаз дозволяється не використовувати тільки після того, як об'ємна частка вуглекислоти всередині обладнання стане нижче 0,5%.

Холодильні установки призначені для підтримання певної температури в холодильних камерах. У зв'язку з наявністю в холодильних установках холодоагентів – аміаку або хладонів, які знаходяться під великим тиском і мають небезпечні властивості, експлуатація їх вимагає суворого дотримання техніки безпеки і технічних умов.

У разі розгерметизації холодильної установки у навколишній простір може виділитися одночасно велика маса холодоагенту й мастила, які становлять реальну небезпеку для людей та навколишнього природного середовища.

Конструкція апаратів (посудин) кожної холодильної установки експлуатація і технічний огляд підприємством-власником (обслуговуючою організацією) повинні відповідати вимогам «Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском».

Адміністрація підприємства зобов'язана забезпечити холодильні установки необхідним штатом обслуговуючого персоналу або укласти договір зі спеціалізованою організацією на комплексне технічне обслуговування автоматизованих холодильних установок.

До обслуговування холодильних установок допускаються особи, не молодші 18 років, що пройшли медичний огляд і мають свідоцтво про закінчення спеціального учбового закладу або курсів:

- з експлуатації холодильних установок – для машиністів,
- з автоматизації холодильних установок – для слюсарів,
- з експлуатації і автоматизації холодильних установок – для електромехані-

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ків.

Машиніст і електромеханік допускаються до самостійного обслуговування холодильних установок тільки після проходження стажування упродовж одного місяця і відповідної перевірки знань. Допуск їх до стажування і самостійної роботи здійснюється розпорядженням по підприємству.

Не рідше одного разу на рік комісія підприємства перевіряє знання обслуговуючим персоналом правил технічного обслуговування холодильної установки, техніки безпеки, інструкцій з експлуатації устаткування і охорони праці, а також наявність навиків надання долікарської допомоги в разі нещасних випадків. Результати такої перевірки реєструються в журналі і в посвідченнях обслуговуючого персоналу.

Персонал, що працює у виробничих приміщеннях, у яких встановлено технологічне устаткування з безпосереднім кипінням аміаку, повинен проходити інструктаж з охорони праці, пов'язаної із застосуванням аміачної системи безпосереднього охолодження.

На кожному підприємстві або в об'єднанні підприємств, де користуються холодильними установками, наказом призначаються з числа інженерно-технічних працівників відповідальні особи за справний стан, правильну і безпечну роботу апаратів (посудин), трубопроводів і пристроїв холодної установки і для нагляду за технічним станом і безпечною експлуатацією холодної установки.

Перевірка знань з питань охорони праці у керівних та інженерно-технічних працівників, пов'язаних з експлуатацією холодильних установок, проводиться перед призначенням їх на посаду і періодично не рідше як один раз на три роки.

На кожному підприємстві для обслуговуючого персоналу мають бути розроблені інструкції з експлуатації устаткування, що входить до складу холодної установки, а також інструкції з охорони праці під час експлуатації цього обладнання, апаратів і пристроїв.

Апарати (посудини) холодної установки підлягають технічному огляду до пуску в роботу, періодично в процесі експлуатації і, за необхідності, достроково. Технічний огляд апарата (посудини) полягає в попередньому зовнішньому і внутрішньому (у доступних місцях) огляді його, а також випробуванні тиском на міцність і щільність. Випробування апаратів

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(посудин) може бути *гідравлічним* або *пневматичним*.

Гідравлічне випробування апаратів хладонових установок проводиться тиском мастила. Заборонено використовувати для цього воду.

Пневматичне випробування апаратів аміачних холодильних установок проводиться тиском повітря, яке створюється спеціальним компресором, а апаратів хладонових холодильних установок – тиском інертного газу (азоту, діоксиду вуглецю) або повітря з точкою роси не більше -40°C .

У деяких випадках під час технічного огляду апарата до пуску в роботу дозволяється не проводити випробування його надмірним тиском. У холодильних агрегатах, що поставляються на місце монтажу повністю заповненими хладоном і мастилом, апарати тільки оглядаються зовні і перевіряються на наявність в них хладагенту. Випробовують їх на щільність разом з системою змонтованих трубопроводів. Якщо монтаж апарата (посудини) проводився із застосуванням зварювання або паяння елементів, що працюють під тиском, то випробування його до пуску в роботу обов'язкове.

У процесі експлуатації холодильних установок здійснюється періодичний огляд апаратів (посудин) в робочому стані та перевіряється відповідність їх інструкції з експлуатації, а також технічний огляд. Під час технічного огляду апаратів (посудин) їх піддають зовнішньому і (у доступних місцях) внутрішньому огляду не рідше одного разу на два роки і випробуванню надмірним тиском не рідше одного разу на вісім років.

У аміачних холодильних установках апарати, не доступні для внутрішнього огляду, піддають пневматичним випробуванням на міцність і щільність не рідше одного разу на два роки.

Достроковий технічний огляд апаратів (посудин) холодильних установок проводиться після реконструкції і ремонту з застосуванням зварювання і паяння частин, що працюють під тиском, а також у випадку бездіяльності їх в незаконсервованому вигляді більше одного року, демонтажу і установки на новому місці.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати технічного огляду апарата (посудини), дозвіл на пуск його в роботу з вказівкою терміну наступного огляду і випробування записуються в книгу обліку і огляду посудин, а також у паспорт апарата особою, що проводила це технічне обстеження.

Трубопроводи і теплообмінна апаратура з труб піддаються випробуванням на міцність і щільність.

Запобіжний клапан апарату запобігає підвищення тиску понад допустиме значення і захищає апарат і трубопроводи, автоматично скидаючи пару холодоагента безпосередньо в атмосферу або через проміжний трубопровід в посудину з нижчим тиском.

Справність запобіжних клапанів апаратів перевіряють не рідше за один раз в 6 міс. Після перевірки і регулювання клапани пломбують із складанням акту.

Мінімальна площа перетину запобіжного клапана:

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

де: G_p – масова витрата холодильного агента, кг/с; $G_p = 0,72$ кг/с;

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

$\rho_{\text{ср}}$ – щільність середовища при тиску p_1 ; $\rho_{\text{ср}} = 117,25$ кг/м³;

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

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

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

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

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

k – показник адіабати, $k = 1,2$;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Визначимо мінімальний діаметр прохідного перетину сідла клапана:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,29 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 0,02 \text{ ,м} \quad (9.3)$$

Хладони володіють вельми високою текучістю. Вони здатні проникати через щонайменші нещільності навіть крізь дрібні пори металу. Обслуговуючий персонал не може виявити витік хладону безпосередньо за допомогою органів чуття (як для аміаку), оскільки хладони, при атмосферному тиску є безбарвним газом з дуже слабким запахом, який починає відчуватися лише при вмісті хладону в повітрі більше 20-30% за об'ємом.

Витік хладону приводить до порушення технологічного режиму споживачів холоду, неблагоприємно позначається на температурному режимі роботи холодильної машини, викликає перегрів обмотки електродвигуна герметичного компресора і вихід його з ладу.

Розглянемо методи визначення витоку хладонів.

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

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

3. Визначення витоку за допомогою галоїдних ламп (найпоширеніший метод). Принцип дії галоїдних ламп заснований на тому, що продукти розкладання хладону у присутності розжареної міді забарвлюють безбарвне полум'я пальника і збільшують висоту факела. Висока чутливість галоїдних ламп реалізується повною мірою, якщо витік визначається в добре провітреному приміщенні. Залежно від вживаного палива існує декілька типів галоїдних ламп: спиртні, пропанові, бензинові, ацетиленові, найбільш чутливі при роботі на пропан-бутані.

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

Манометри (мановакууметри) комплектовані заводським постачанням є встановлені на кожному компресорі для спостереження за робочим тиском всмоктування, нагнітання, в системі мастила і в картері. Манометри (мановакууметри) встановлені на апаратах, судинах, технологічному устаткуванні з

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

безпосереднім охолодженням, хладонових насосах, а також на розподільних пристроях (рідинних, всмоктуючих, відтаюванні), сполучених трубопроводами з устаткуванням холодильних камер, і на загальних всмоктуючих і нагнітальних трубопроводах, до яких паралельно приєднано декілька компресорів.

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

Манометри мають клас не нижче 2,5 і встановлюються так, щоб їх свідчення були виразно видні. Циферблат розташований у вертикальній площині або з нахилом вперед до 30 градусів. Манометр має червону межу по діленню, відповідному дозволеному робочому тиску в судині.

Всі встановлені манометри опломбовані або мають клеймо перевірки. Перевірка манометрів проводиться щорік, а також кожного разу після проведеного ремонту манометра.

Не рідше за один раз в 6 міс. підприємством виробляється додаткова перевірка робочих манометрів контрольним манометром із записом результатів в журнал контрольних перевірок. За відсутності контрольного манометра допускається виробляти додаткову перевірку перевіреним робочим манометром.

Манометр не допускається до застосування у випадках, коли відсутня пломба або клеймо, прострочений термін перевірки, стрілка манометра при його виключенні не повертається на нульову відмітку шкали, розбито скло або є інші пошкодження, які можуть відбитися на правильності його свідчень.

Посудини що містять рідкий холодоагент, апарати і технологічне устаткування з безпосереднім охолодженням мають справні пружинні запобіжні клапани або плавкі пробки.

До обслуговування холодильних систем допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд і що мають документ про закінчення спеціального учбового закладу або курсів. До самостійного обслуговування холодильних систем допущені працівники лише після проходження під керівництвом досвідного наставника стажування протягом одного місяця і відповідної перевірки знань.

Виконання робіт в машинних і апаратних відділеннях, а також в холодиль-

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

них камерах і інших приміщеннях, де є холодильне устаткування, працівниками, не пов'язаними з обслуговуванням холодильної системи і експлуатацією холодильних камер (ремонт, теплоізоляція, фарбування, устаткування і труб і ін.), виробляється після відповідного інструктажу і під спостереженням працівника, відповідального за експлуатацію холодильної системи.

Особи, допущені до технічного обслуговування конкретної системи, окрім загальнотеоретичних знань і вимог Правил безпечної експлуатації холодильної установки, повинні знати:

- пристрій, правила обслуговування і принцип роботи холодильної системи, включаючи систему трубопроводів;
- порядок виконання робіт по пуску, зупинці холодильної системи і її елементів, регулюванню режиму їх роботи (відповідно до інструкцій організації виробника по обслуговуванню встановленого устаткування);
- нормальний режим роботи холодильної системи;
- правила заповнення хладагентом, маслом і холодоносієм;
- порядок ведення експлуатаційного журналу холодильної системи;
- правила користування засобами індивідуального захисту;
- правила охорони праці і надання долікарської допомоги, у тому числі при ураженні електрострумом.

Періодична перевірка знань обслуговуючого персоналу правил, нормативних документів по технічному обслуговуванню холодильної системи і охорони праці, а також практичних дій проводиться не рідше за 1 раз в рік комісією, що складається з фахівців з холодильної техніки і охорони праці. Склад комісії затверджується працедавцем.

У входів в охолоджувані приміщення (коридор, естакада) вивішені інструкції по охороні праці при проведенні робіт в цих приміщеннях і захисті пристроїв, що охолоджують, і трубопроводів від пошкоджень. Проходи поблизу холодильного устаткування завжди вільні, а підлоги проходів - в справності.

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

Холодильні системи є забезпечені первинними засобами пожежогасіння відповідно до норм, що діють. Розміщення і зберігання в приміщеннях холодильних установок сторонніх предметів не допускається.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед початком роботи з устаткуванням в закритих приміщеннях переконаються в тому, що розвантажувальні колектори запобіжних клапанів і спускові вентиля виведені за межі приміщення і відключені від всіх повітрозабірників, сполучених з будівлею. Перевіряють, чи добре вентилюється приміщення. При необхідності для розсіювання пари хладагентів можна скористатися допоміжними вентиляційними системами (наприклад, повітродувками або вентиляторами). Перш ніж увійти до закритих приміщень, перевіряють його на наявність кисню. Для випробування на наявність кисню не можна користуватися монітором наявності витоків, оскільки з його допомогою не можна встановити, чи досить в приміщенні кисню для життєдіяльності. Для контролю за наявністю кисню у виробничих приміщеннях мають бути передбачені спеціальні прилади.

Первинну заправку або дозаправку холодильної системи хладагентом (хладоном) в умовах експлуатації рекомендується виконувати по рідкій фазі хладагента, якщо інше не передбачене організацією-изготовителем. При дозаправці використовують капілярну трубку або інший пристрій, що забезпечує дроселювання рідини, для запобігання можливості попадання рідкого холодагенту у всмоктуючу порожнину компресора.

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

Приміщення розподілюючих пристроїв (РП) підприємства (організації), що примикає до приміщень, належним стороннім організаціями і що має устаткування, що знаходиться під напругою, не сполучається з ними і має окремий вихід, що закривається. Кабельні канали РП закриваються знімними негорючими плитами і містяться в чистоті.

Струмоведучі частини пускорегуючих і захисних апаратів є захищені від випадкових дотиків. У спеціальних приміщеннях (електромашинних, щитових, станцій управління і т. д.) допускається відкрита (без захисних кожухів) установка апаратів.

В чергового персоналу або особи, відповідальної за електрогосподарство, наявний запас плавких комбінованих вставок. Використання некаліброваних плавких вставок забороняється. Плавкі вставки повинні строго відповідати даному типові запобіжників.

На зовнішніх дверях РП вказуються їх найменування. Всі дроти, шини, ка-

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

білі, контрольні затиски і запобіжники маркуються по єдиній системі (ізолюваними бірками, написом або гравіюванням на корпусі або на щитку над або під затисками і запобіжниками) . На запобіжниках і запобіжних витках, крім того, вказується номінальний струм плавкої вставки. Панелі РП забарвлюються в світлі тони, на них виконуються чіткі написи, які вказують призначення окремих ланцюгів, приводів. На дверях РП вивішуються застережливі плакати відповідно до вимог правил техніки безпеки. Такі написи є на лицьовій і оборотній сторонах панелей.

На всіх ключах, кнопках і рукоятках управління є написи, що вказують операцію, для якої вони призначені (“Включити”, “Відключити”, “Збавити”, “Додати” і ін.) . На сигнальних лампах і інших сигнальних апаратах присутні написи, які вказують характер сигналу (“Вкл.”, “Викл.”, “Перегрів” і ін.).

Огляд і очищення розподільних пристроїв, щитів, складок, щитків від пилу і забруднення проводиться 1 раз в 3 міс.

Заземляючі пристрої електроустановок споживачів відповідають вимогам, що діють. Заземляючі пристрої забезпечують безпеку людей і захист електроустановок, а також експлуатаційні режими роботи. Для тієї частини електроустановки, яка може виявитися під напругою унаслідок порушення ізоляції, є забезпечений надійний контакт із заземляючим пристроєм, або із заземленими конструкціями, на яких воно встановлене.

Приєднання заземляючих провідників до заземлення, заземляючого контуру і до конструкцій, що заземляються, виконане зваркою, а до корпусів апаратів, машин і опорам повітряних ліній електропередачі - зваркою або надійним болтовим з'єднанням і задовольняти вимогам ДБГ.

Відкрито прокладені заземляючі провідники мають помітне забарвлення відповідно до вимог ДБН.

Використання землі як фазний або нульовий дріт в електроустановках напругою до 1000 В забороняється.

Тимчасові переносні заземлення, вживані для заземлення струмоведучих частин ремонтної частини електроустановки, що складаються з провідників для закорочення фаз і провідників для приєднання до заземляючого пристрою, виконане з неізолюваних гнучких мідних багатожильних проводів, що мають перетин, відповідний вимогам термічної стійкості при коротких замиканнях.

Для визначення технічного стану заземляючого пристрою періодично проводяться ;

- а) зовнішній огляд видимої частини заземляючого пристрою,
- б) огляд з перевіркою ланцюга між заземленням і елементами (відсутність

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

обривів і незадовільних контактів в проводці, що сполучає апарат із заземляючим пристроєм), що заземляються, а також перевірка пробивних запобіжників трансформаторів;

в) вимір опору заземляючого пристрою;

г) перевірка ланцюга фаза - нуль;

д) перевірка надійності з'єднань природних заземлень;

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

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

Зовнішній огляд заземляючого пристрою проводиться на місці з оглядом електроустаткування РУ, трансформаторних підстанцій і розподільних пунктів, а також цехових і інших електроустановок.

Про огляди, виявлені несправності і прийняті заходи мають бути зроблені відповідні записи в журналі огляду заземляючих пристроїв або оперативному журналі.

На кожен заземляючий пристрій, що знаходиться в експлуатації, є паспорт, що містить схему заземлення, основні технічні дані, дані про результати перевірки стану заземляючого пристрою, про характер ремонтів і зміни, внесені до даного пристрою.

Особливості впливу електричного струму на організм людини.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, зумовлює перетворення поглинутої організмом електричної енергії в інші види і спричиняє термічну, електролітичну, механічну і біологічну дію.

Найбільш складною є біологічна дія, яка притаманна тільки живим організмам. Термічний і електролітичний вплив властиві будь-яким провідникам.

Термічний вплив електричного струму характеризується нагріванням тканин аж до опіків.

Статистика свідчить, що більше половини всіх електротравм становлять опіки. Вони важко піддаються лікуванню, тому що глибоко проникають у тканини організму. В електроустановках напругою до 1 кВ найчастіше спостерігаються опіки контактного виду при дотиканні тіла до струмопровідних частин. При проходженні через тіло людини електричного струму в тканинах виділяється тепло (Дж) в кількості:

$$Q = I_n^2 \cdot R_n \cdot t$$

де I_n – струм, який проходить через тіло людини, А; R_n – опір тіла людини, Ом; t – час проходження струму, с.

Опіки можливі при проходженні через тіло людини струму більше 1А. Тільки при великому струмі тканини, які уражаються, нагріваються до температури 60-700С і вище, при якій згортається білок і з'являються опіки.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Майже у всіх випадках включення людини в електричний ланцюг на її тілі і в місцях дотикання спостерігаються “електричні знаки” сіро-жовтого кольору круглої або овальної форми.

При опіках від впливу електричної дуги можлива металізація шкіри частками металу дугової плазми. Уражена ділянка шкіри стає твердою, набуває кольору солей металу, які потрапили в шкіру.

Електролітична дія струму виявляється у розкладанні органічної рідини, в тому числі крові, яка є електролітом, та в порушенні її фізико-хімічного складу.

Біологічна дія струму виявляється через подразнення і збудження живих тканин організму, а також порушення внутрішніх біологічних процесів.

Механічна дія струму призводить до розриву тканин організму внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари з тканинної рідини і крові.

Внаслідок дії електричного струму або електричної дуги виникає електро-травма. Електротравми умовно поділяють на загальні і місцеві. До місцевих травм належать опіки, електричні знаки, електрометалізація шкіри, механічні пошкодження, а також електрофтальмія (запалення очей внаслідок впливу ультрафіолетових променів електричної дуги).

Загальні електротравми називають також електричними ударами. Вони є найбільш небезпечним видом електротравм. При електричних ударах виникає збудження живих тканин, судомне скорочення м'язів, параліч м'язів опорно- рухового апарату, м'язів грудної клітки (дихальних), м'язів шлуночків серця.

Розрізняють три ступені впливу струму при проходженні через організм людини (змінний струм):

відчутний струм – початок болісних відчуттів (до 0-1,5 мА);

невідпускний струм – судомні і біль, важке дихання (10-15 мА);

фібриляційний струм – фібриляція серця при тривалості дії струму 2-3с, параліч дихання (90-100 мА).

Змінний струм небезпечніший за постійний. При струмі 20-25 мА пальці судомно стискають узятий в руку предмет, який опинився під напругою, в м'язи передпліччя паралізуються і людина не може звільнитися від дії струму. У багатьох паралізуються голосові зв'язки: вони не можуть покликати на допомогу.

Наслідок ураження людини електричним струмом залежить від

- сили струму
- часу проходження через організм
- характеру струму (змінний або постійний)
- напруги, частоти
- опору тіла людини
- шляху протікання в тілі людини
- фізичного стану людини
- умов навколишнього середовища

Має значення струму через тіло і особливо місця входу і виходу струму. Із можливих шляхів проходження струму через тіло людини найбільш небез-

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

печним є той, при якому вражається головний мозок (голова-руки, голова-ноги), серце і легені (руки-ноги). Але відомі випадки смертельних уражень електричним струмом, коли струм зовсім не проходив через серце, легені, а йшов, наприклад, через палець або через дві точки на гомілці. Це пояснюється існуванням на тілі людини особливо уразливих точок, які використовують при лікуванні голкотерапією. При ураженні електричним струмом насамперед необхідно надати потерпілому першу долікарську допомогу.

Захисне заземлення - навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть виявитися під напругою.

Проведемо розрахунок захисного заземлення.

Розрахункове значення питомого опору ґрунту:

$$\rho_{\text{гр}} = \rho_p \cdot \psi, \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (9.4)$$

де: ρ_p – питомий опір Ом/м; $\rho_p = 30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – для чорнозему;

ψ – кліматичний коефіцієнт, $\psi = 1,1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

$$\rho_{\text{гр}} = 30 \cdot 1,1 = 33 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

Приймаємо електроди сталеві вертикальні трубі: діаметр стрижня $d = 0,04 \text{ м}$, довжина стрижня $l = 3 \text{ м}$, відстань між стрижнями $l' = 6 \text{ м}$. Відстань від середини стрижня до рівня землі:

$$t = \frac{l}{2} + t_3, \text{ м} \quad (9.5)$$

де: t_3 – відстань від вершини стрижня до рівня землі, м. приймаємо:

$$t_3 = 0,5 \text{ м}.$$

$$t = \frac{3}{2} + 0,5 = 2 \text{ м}.$$

Розраховуємо опір одного вертикального заземлення:

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{гр}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4t+1}{4t-1} \right) \right], \text{ Ом}. \quad (9.6)$$

$$R_0 = \frac{33}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,04} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4 \cdot 2 + 1}{4 \cdot 2 - 1} \right) \right] = 9,28, \text{ Ом}.$$

Мінімальна кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_0}{R_{\text{тр}}}, \text{ шт}, \quad (9.7)$$

де: $R_{\text{тр}}$ – необхідний опір, Ом; $R_{\text{тр}} \leq 4 \text{ Ом}$;

$$n = \frac{9,28}{4} = 2,28 \text{ шт}.$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $n = 2$ шт.

Відношення відстані між стрижнями до довжини стрижня:

$$\frac{l'}{l} = \frac{6}{3} = 2.$$

Опір системи вертикальних стрижньових заземлювачів:

$$R_{\text{сз}} = \frac{R_0}{n \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (9.8)$$

де: $\eta = 0,85$ – коефіцієнт використання вертикальних стрижньових заземлювачів; Визначається по таблиці 19 [5].

$$R_{\text{сз}} = \frac{9.28}{4 \cdot 0,91} = 2.54 \text{ Ом.}$$

Загальна довжина сполучної смуги (контурне заземлення):

$$L_{\text{п}} = l' \cdot (n-1) = 6 \cdot (2-1) = 6 \text{ м.}$$

Визначимо опір розтікання струму сполучної смуги:

$$R_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{гр}}}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{\text{г}} \cdot L_{\text{п}}} \cdot \ln \frac{L_{\text{п}}^2}{d \cdot t_3}, \text{ Ом,} \quad (9.9)$$

де: d – зовнішній діаметр труби, м; $d = b \cdot 0,5 = 0,05 \cdot 0,5 = 0,03 \text{ м}$;

$$R_{\text{п}} = \frac{33}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,94 \cdot 6} \cdot \ln \frac{6^2}{0,03 \cdot 0,5} = 7.25 \text{ Ом.}$$

Загальний опір системи заземлення:

$$R_{\text{с}} = \frac{R_{\text{п}} \cdot R_{\text{сз}}}{R_{\text{п}} + R_{\text{сз}}}, \text{ Ом} \quad (9.10)$$

$$R_{\text{с}} = \frac{7.78 \cdot 2.24}{7.78 + 2.24} = 1.7 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом.}$$

$R_{\text{с}} < 4 \text{ Ом}$, що говорить про правильність розрахунку заземлення.

Пожежі на холодильних підприємствах представляють велику небезпеку для тих, хто працює і може заподіяти величезний матеріальний збиток. Питання забезпечення пожежної безпеки виробничих будівель і споруд мають велике значення і регламентуються спеціальними державними постановами і рішеннями.

Пожежна безпека забезпечена заходами пожежної профілактики і активного пожежного захисту. Поняття пожежної профілактики включає комплекс заходів, необхідних для запобігання виникненню пожежі або зменшення його наслідків. Під активним пожежним захистом розуміються заходи, що забез-

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

печують успішну боротьбу з виникаючими пожежами або вибухонебезпечною ситуацією.

Як вже було вказано вище, дане виробництво по вибухопожежній і пожежній небезпеці відноситься до категорії Б (вибухопожежнебезпечні).

Для захисту будівель і споруд від поширення пожежі на весь об'єкт (при його виникненні) передбачають протипожежні перешкоди. До таких перешкод відноситься протипожежні стіни, перегородки, перекриття, зони, тамбури шлюзи і ін. Всі конструкції виконуються з негорючих матеріалів (гіпсові або гіпсоволокнисті плити при вмісті органічної маси 8% (по масі)).

Використання автоматичних засобів виявлення пожеж є одним з основних умов забезпечення пожежної безпеки в на даному підприємстві, оскільки дозволяє оповістити черговий персонал про пожежу і місце його виникнення.

В компресорному цеху присутні сповіщувачі пожежі ручної дії, призначені для видачі дискретного сигналу при натисненні відповідної пускової кнопки, і автоматичної дії для видачі дискретного сигналу досягши заданого значення фізичного параметра (температури, спектру світлового випромінювання, диму і ін.).

Для гасіння пожежі, в основному застосовують вогнегасники.

При гасінні пожеж піною широко застосовують генератори високократної піни ГВП і хімічні вогнегасники ОВП-10.

Генератори ГВП мають декілька розмірів: ГВП-200, ГВП-600, ГВП-2000. Відрізняються вони один від одного геометричними розмірами і продуктивністю (від 200 до 2000 л/с).

Вогнегасник ОВП-10 хімічний, пінний (модель 10). Забороняється застосовувати цей тип вогнегасників при гасінні електроустановок, що горять, оскільки піна, що утворюється, електропровідна.

Вуглекислотні вогнегасники застосовують при гасінні пожеж: у електроустановках, що знаходяться під напругою до 1000 В,

Порошкові вогнегасники застосовують при гасінні загорянь на легкових і вантажних машинах.

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

$$V = \frac{g \cdot k \cdot \tau \cdot n}{1000} \cdot 3600, \text{ м}^3, \quad (9.11)$$

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

n - кількість пожеж, шт;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

g – витрата води на 1 м² приміщення;
 τ – час пожежогасіння.

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

Машинні і апаратні відділення хладонових холодильних установок обладнані системами приточно - витяжною механічною вентиляцією з кратністю повітрообміну в годину, не менше 3 для припливу і 4 для витягу.

Система вентиляції може служити для подачі (припливу) або видалення (витягу) повітря з приміщення або для того і іншого (приточно-витяжною). Вона також може бути загальнообмінною або місцевою.

Розрахуємо повітрообмін в приміщенні за годину:

$$L = k \cdot V, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (9.12)$$

де: k – кратність вентиляції або повітрообміну:

- приплив $k_{\text{прит}} = 3$;

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

V – об'єм приміщення, м³;

$$V = A \cdot B \cdot H = 24 \cdot 6 \cdot 3 = 432 \text{ м}^3. \quad (9.13)$$

Продуктивність припливної вентиляції:

$$L_{\text{прит}} = k_{\text{прит}} \cdot V, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (9.14)$$

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

Продуктивність витяжної (аварійної) вентиляції:

$$L_{\text{вит}} = k_{\text{вит}} \cdot V, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (9.15)$$

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

Розрахунок потужності електродвигуна системи вентиляції:

$$N = \frac{k \cdot L \cdot \Delta H \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot \eta_{\text{вен}} \cdot \eta_{\text{пер}}}, \text{ кВт} \quad (9.16)$$

Для припливної вентиляції:

$$N = \frac{1,5 \cdot 1296 \cdot 300 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,9} = 0,2 \text{ кВт}$$

Для витяжної (аварійної) вентиляції:

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

Відповідно з виконаним розрахунком по каталогу [3] вибираємо вентилятори:

при витраті повітря $L = \frac{1728 \text{ м}^3}{\text{год}}$ і потужності $N = 0,3 \text{ кВт}$ – ВЦ4-75-6.3 ;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при витраті повітря $L = \frac{1296 \text{ м}^3}{\text{год}}$ і потужності $N = 0,2 \text{ кВт}$ – ВЦ4-75-5;

При освітленні виробничих приміщень використовують природне освітлення, що створюється світлом неба (прямим і відбитим), штучне, здійснюване електричними лампами, і поєднане, при якому в світлий час доби недостатнє по нормах природне освітлення доповнюється штучним.

Проведемо розрахунок освітлення машинного відділення методом світлового потоку. При цьому вибираємо: джерело світла - лампи люмінесцентні; систему освітлення - загальне освітлення; тип світильника – ПВЛ; розміри приміщення: довжина $A = 12 \text{ м}$, ширина $B = 6 \text{ м}$, висота $H = 3 \text{ м}$.

Приймаємо : $L/H_p = 1,5$

де: L – відстань між центрами світильників, м;

H_p – висота світильників над робочою поверхнею, м.

Визначимо висоту світильників над робочою поверхнею:

$$H_p = H - (H_1 + H_2), \text{ м}, \quad (9.17)$$

де: H_1 – висота робочої поверхні, м; $H_1 = 0,8 \text{ м}$;

H_2 – відстань від світильника до стелі м; $H_2 = 0,2 \text{ м}$;

$$H_p = 3 - (0,8 + 0,2) = 2 \text{ м}.$$

Визначимо відстань між центрами світильників. З рівняння

$L/H_p = 1,5$, знаходимо, що:

$$L = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ м}.$$

Кількість світильників:

$$n = \frac{A \cdot B}{L^2} = \frac{24 \cdot 6}{3^2} = 16 \text{ шт.} \quad (9.18)$$

Приймаємо $n = 16 \text{ шт.}$

Визначаємо світловий потік ламп світильника:

$$\text{,лм} \quad (9.19)$$

де E_n – мінімальна нормована освітленість, ухвалюємо $E_n = 150 \text{ лк}$;

S – площа приміщення, $S = 144 \text{ м}^2$;

k – коефіцієнт запасу, що враховує старіння ламп, $k = 1.5$; [2]

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення; $z = 1.1$ (для ламп накаливання);

η – коефіцієнт використання світлового потоку, який залежить від величини i – індексу приміщення.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо індекс приміщення:

$$i = \dots \quad (9.20)$$

Тоді при індексі приймаємо коефіцієнт використання $\eta = 40$ [2]
 $\Phi = 5568, \text{лм} \quad (9.21)$

Відповідно до виконаного розрахунків вибираємо стандартну лампу типу ЛБ80, яка має світловий потік 5220 лм. [2]

Потужність всієї системи освітлення:

$$P = N \cdot n \cdot P_{\text{л}} = 16 \cdot 16 \cdot 5220 = 1336320, \text{Вт} \quad (9.22)$$

Відхилення дійсного світлового потоку від розрахункового

$$\Phi = \frac{5220 - 5568}{5220} \cdot 100\% = -6\% \quad (9.23)$$

Долікарняна допомога

Вдихання пари холодоагента R134a у великих концентраціях може викликати тимчасове притуплення діяльності центральної нервової системи, що супроводжується сонливістю, летаргією і слабкістю. До інших можливих ефектів можна віднести запаморочення, приємне відчуття сп'яніння, а також втрату координації рухів. Тривале вдихання пари хладагента може викликати порушення серцебиття, втрату свідомості, а вдихання дуже великих доз може навіть привести до смертельного результату.

Людину що відчула будь-який з первинних симптомів, необхідно швидко вивести на свіже повітря і забезпечити йому спокій і нерухомість. При зупинці дихання необхідно зробити штучне дихання. Якщо дихання утруднене, дати кисень і викликати лікаря. Такі симптоми можуть виявлятися при дії самих різних концентрацій, а тому при появі будь-якого з цих симптомів слідує як найшвидше покинути виробниче приміщення, навіть якщо у інших працівників, що знаходяться поруч, ці симптоми не виявляються.

При великому викиді холодоагенту пари можуть концентруватися в поверхні підлоги або на низькорозташованих ділянках і витіснити кисень, що є там, що викликає асфіксію. У випадку, якщо виллється велика кількість рідкого холодоагенту або станеться значний витік, необхідно надіти відповідні засоби індивідуального захисту. При роботі в закритих приміщеннях, наприклад, в підвалах, де могли скупчитися пари хладагента, слід користуватися автономними дихальними апаратами або респіраторами із зовнішньою подачею повітря. Перед входом необхідно перевірити всі виробничі приміщення на наявність кисню за допомогою відповідного контрольного устаткування. Коли перший працівник входить в приміщення, другою повинен залишатися

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зовні, і між ними має бути протягнутий рятувальний леєр.

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

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

Свідоме вдихання пари холодоагента може привести до смерті.

Попадання агента на шкіру і в очі. При кімнатній температурі пари хладону R 134a не надають серйозної дії на шкіру або очі. Якщо існує небезпека попадання рідких хладагентів на шкіру, потрібно обов'язково носити захисний одяг, у тому числі з довгими рукавами, і рукавички. Серед засобів індивідуального захисту в персоналу мають бути захисні окуляри і лицьовий щиток для захисту очей. В разі попадання в очі рідкого хладагента їх слід рясно промити водою, а потім звернутися за медичною допомогою. Попадання на шкіру або в очі рідкого хладагента приводить до їх різкого охолодження, викликаючи обмороження. Якщо на працівника виплеснувся рідкий агент, необхідно зразу зняти весь одяг, на який попав холодильний агент, щоб уникнути обширного обмороження. Промити уражену ділянку теплою водою (не холодною і не гарячою). Не слід накладати пов'язки або використовувати мазі. Необхідно якомога швидше звернутися за медичною допомогою.

Дотримання вимог охорони праці гарантує уникнути нещасних випадків і забезпечити безпечний і комфортний для працівників процес. Необхідно пам'ятати, що безпека людей і довкілля значною мірою знаходиться в руках самої людини. Тому, суворе дотримання правил і вимог охорони праці надасть можливість уникнути нещасних випадків і аварій, як на виробництві, так і в побуті, а також сприятиме збереженню здоров'я людей.

Стійкість роботи фруктосховища — це здатність його в надзвичайних ситуаціях зберігати продукцію у запланованому обсязі, необхідної номенклатури і відповідної якості, а у випадку впливу на об'єкт вражаючих факторів, стихійних лих та виробничих аварій — у мінімально короткі строки відновити свою роботу. Залежить вона від таких основних факторів: розміщення об'єкта відносно великих міст, об'єктів атомної енергетики, хімічної промисловості, великих гідротехнічних споруд, військових об'єктів та ін.; природокліматичних умов, технології виробництва; надійності захисту працюючих, на-

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

селення від впливу вражаючих факторів, наслідків стихійних лих і виробничих аварій, катастроф; надійності системи постачання об'єкта всім необхідним для роботи (холодильними агентами, мастилами, електроенергією, газом, водою, запасними частинами, технікою та ін.); здатності інженерно-технічного комплексу протистояти надзвичайним ситуаціям; стійкості управління виробництвом і ЦЗ, психологічної підготовленості керівного складу, спеціалістів і населення до дій в екстремальних умовах; навченості керівного складу ЦЗ об'єкта і населення правильно виконувати комплекс заходів цивільного захисту; масштабів і ступеня вражаючої дії стихійного лиха, виробничої аварії, катастрофи чи зброї і підготовленість об'єкта до ведення рятувальних та інших невідкладних робіт для відновлення порушеного виробництва. Дані фактори визначають і основні вимоги стійкості роботи об'єктів у надзвичайних ситуаціях та шляхи її підвищення.

На мою думку більш підготовленими до стійкої роботи будуть ті об'єкти, які реально оцінять фактори, їх несприятливий вплив на виробництво і розроблять відповідні заходи. Завчасне проведення організаційних, та інших заходів максимально знизить результати впливу уражаючих факторів мирного і воєнного часу і створить сприятливі умови для швидкої ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Робота об'єкта в цілому складається з роботи окремих галузей виробництва. Тому необхідно розглянути стійкість у надзвичайних умовах окремих галузей виробництва.

На основі вивчення факторів, які впливають на стійкість роботи об'єктів, і оцінки стійкості елементів і галузей виробництва проти уражаючих факторів ядерної, хімічної і біологічної зброї, стихійних лих і виробничих аварій, необхідно завчасно організувати і провести організаційні, інженерно-технічні й технологічні заходи для підвищення стійкості роботи.

Здійснення організаційних заходів передбачає завчасну підготовку всіх структур цивільного захисту, служб і формувань до надзвичайних ситуацій. Вжиттям технологічних заходів підвищується стійкість роботи об'єктів шляхом змінювання технологічних процесів, режимів, можливих в умовах надзвичайних ситуацій.

Інженерно-технічні заходи мають забезпечити підвищену стійкість виробничих споруд, технологічних ліній, устаткування, комунікацій об'єкта до впливу вражаючих факторів під час надзвичайних ситуацій.

При проведенні цих заходів необхідно враховувати конкретні умови фрукто-овочесховища. Проте є загальні організаційні інженерно-технічні заходи, які мають проводитись на всіх об'єктах.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

1. Забезпечення захисту людей та їх життєдіяльності. Постачання населення продуктами харчування, питною водою, предметами першої необхідності; комунальне побутове обслуговування населення з урахуванням проведення евакуаційних заходів, забезпечення захисту продовольчих запасів. Навчання населення способам захисту, надання першої допомоги, практичним діям в умовах надзвичайних ситуацій, морально-психологічна підготовка населення для виживання.

2. Захист цінного й унікального устаткування. Захистити цінне і унікальне устаткування можна завдяки проведенню інженерно-технічних заходів, щоб зменшити небезпеку пошкодження і руйнування цінного й унікального устаткування. Варіантами такого захисту є розміщення зазначеного устаткування в заглиблених приміщеннях а також використання спеціальних захисних пристосувань, закріплення холодильних агрегатів на фундаментах, застосування контрфорсів для підвищення стійкості проти перекидання обладнання. Котельні слід розміщувати в спеціальному окремо розміщеному приміщенні. Якщо об'єкт одержує тепло з міської теплоцентралі, необхідно провести заходи для забезпечення стійкості трубопроводів і розподільних пристроїв, підведених до об'єкта. Теплова мережа має будуватися за кільцевою системою з прокладанням труб у спеціальних каналах зі з'єднанням паралельних ділянок. Для відключення пошкоджених ділянок мають бути встановлені запірно-регулюючі засувки, вентилі та ін. Ці пристосування необхідно розміщувати в оглядових колодязях, на території, що не завалюється при руйнуванні будівель.

Система каналізації має будуватись окремо: одна для дощових, друга для промислових і господарських вод. На об'єкті має бути не менше двох виводів з підключенням до міських каналізаційних колекторів, а також виводи і колодязі з аварійними засувками на об'єктових колекторах з інтервалом 50 м на території, що не завалюється, для аварійного скидання неочищеної води в найближчі штучні та природні заглиблення.

3. Забезпечення стійкості роботи паливно-енергетичного комплексу і водопостачання. Створення резерву енергетичних потужностей за рахунок автономних пересувних електростанцій, а також місцевих джерел електроенергії. Підготовка автономних електростанцій до роботи за спеціальним режимом (графіком) для забезпечення технологічних процесів виробництва, для яких неможливі тривалі перерви в електропостачанні.

З метою попередження аварій на електричних мережах необхідно установити автоматичну систему відключення при виникненні перенапруги. Повітряні лінії електропостачання замінити на підземно-кабельні.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Створення необхідних запасів (резервів) мастильних матеріалів, холодильних агентів та й організація їх безпечного зберігання.

Для підвищення стійкості забезпечення водою слід провести такі заходи. Необхідно створити основні і резервні джерела водопостачання. Як резервне джерело краще мати артезіанську свердловину, яку необхідно підключити до системи водопостачання. Крім того, воду можна брати з близько розміщеної природної водойми або спорудити штучну водойму чи резервуари з обладнанням пристроїв для збору і перекачування води.

Всі ділянки водопостачання повинні бути заглиблені в ґрунт з обладнанням пожежних гідрантів і пристроїв для відключення пошкоджених ділянок. Локальні мережі водопостачання окремих великих підприємств варто з'єднати із загальноміською системою водопостачання в єдине кільце.

Підвищенню стійкості забезпечення водою сприяє подавання води безпосередньо в мережу поза водонапірними баштами, спорудження обвідних ліній для подання води поза пошкодженими спорудами.

Завчасне вжиття заходів захисту вододжерел, водопровідних споруд, свердловин і шахтних колодязів від забруднення радіоактивними речовинами, зараження хімічними і біологічними засобами.

4. Стійкість роботи автотранспорту та іншої техніки, технологічного обладнання і механізмів. Організація своєчасного оповіщення гаража, водіїв, про загрозу надзвичайної ситуації.

5. Забезпечення стійкого постачання об'єкта. Для забезпечення виробництва продукції необхідні електроенергія, мастила, запасні частини, сировина та інші матеріально-технічні засоби. Забезпечення об'єктів цими ресурсами дасть можливість випускати необхідну продукцію в надзвичайних умовах мирного і воєнного часу. Тому повинні проводитись такі заходи, які б забезпечили стійкість постачання і сприяли підвищенню захисту мережі електро-, водопостачання, транспортних комунікацій і джерел постачання всім необхідним для забезпечення функціонування фруктоовочесховища в надзвичайних умовах.

З метою попередження аварій на електричних мережах необхідно встановити автоматичну систему відключення перенапруги.

Запас резервних матеріалів необхідно розраховувати на такі строки роботи підприємства, за які можливе відновлення регулярного постачання.

Передбачити, на випадок перебоїв в постачанні підприємствами-субпідрядниками, створення місцевих матеріалів, сировини для виготовлення комплектуючих виробів і інструментів силами свого підприємства.

6. Забезпечення збереження й відновлення будівель і споруд.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оцінка можливих ступенів руйнування будівель і споруд господарства, населеного пункту. Визначення обсягу невідкладних ремонтних робіт, потреби в будівельних матеріалах.

Розрахунок сил і засобів для проведення невідкладних ремонтних та інших робіт, а також знезаражування приміщень, виробничих ділянок і території.

Створення і підготовка спеціальних формувань для ремонтно-відновних, будівельних та інших робіт на об'єкті. При будівництві нових будівель і захисних споруд врахувати вимоги ЦЗ.

Розробка комплексу протипожежних заходів, які виключали б можливість виникнення масових пожеж.

7. Забезпечення надійності системи управління і зв'язку. Організація захищеного пункту управління, оснащення його засобами зв'язку, які б дали можливість швидко доводити сигнали ЦЗ до всіх виробничих підрозділів і населення у місцях проживання.

Розробка документів, які регламентують чіткі дії персоналу для забезпечення сталої роботи об'єкта в надзвичайних умовах.

Підготовка необхідного резерву кадрів спеціалістів, робітників для зміни тим, які будуть мобілізовані.

Планування збору даних про обстановку, передачу команд і розпоряджень в умовах впливу на об'єкт вражаючих факторів. Організація використання радіозасобів, телефонного зв'язку, посильних для зв'язку з віддаленими населеними пунктами, виробничими підрозділами, а також з колонами евакуйованого населення, що перебувають у дорозі, і відповідальними особами, які супроводжують під час евакуації.

Забезпечення дублювання ліній і каналів зв'язку.

Для підтримання на високому рівні ЦЗ регулярно проводити підготовку спеціалістів, проводити об'єктові тренування і командні навчання.

8. При розробці інженерно-технічних заходів, спрямованих на підвищення стійкості електротехнічних і електронних систем, мають бути застосовані способи боротьби з наслідками впливу електромагнітних імпульсів (ЕМІ) або захист від проникнення імпульсів — не допустити наведені токи до чутливих вузлів і елементів устаткування.

Сучасний рівень знань про природу і властивості ЕМІ дає можливість розробити захист від нього і впровадити заходи захисту, до яких входять схеми стійкі до електромагнітної інтерференції, радіоелектронні елементи, стійкі до ЕМІ, екранування окремих пристроїв або цілих електронних систем.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основна мета захисних пристроїв від ЕМІ — не допустити наведені токи до чутливих вузлів. Найбільш простим способом захисту є укладання обладнання повністю або окремих вузлів у захисні струмопровідні заземлені екрани і установка спеціальних захисних пристроїв на всіх лініях, трубопроводах, отворах і вікнах, які з'єднують внутрішні приміщення з обладнанням і зовнішнім середовищем. Ефективним буде заземлення окремих монтажних контурів (незалежно від заземлення екранів), застосування скручених пар проводів, провідних зв'язків усередині обладнання за деревовидною схемою. Для захисту провідних ліній або антен доцільно послідовно з грозовим розрядником встановлювати полосові фільтри.

Для захисту силового кабелю на вході в обладнання можна застосувати радіочастотні дросельні котушки і надшвидкодійні варистори-резистори, які міняють свій опір залежно від напруги.

Оцінюючи стійкість роботи і проведення заходів підвищення стійкості роботи мережі електропостачання, оповіщення, ЕОМ та іншого важливого устаткування в умовах надзвичайних ситуацій керівникам і спеціалістам необхідно врахувати важливе ураження від оцінки стійкості до електромагнітного імпульсу (ЕМІ) та захист від нього.

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

масштабів їх розвитку;безперервний контроль за станом навколишнього природного середовища; забезпечення необхідного рівня оснащеності і підготовки аварійно-рятувальних формувань; організація їх підготовки для дій з призначення; створення необхідних запасів матеріальних засобів, зв'язку, засобів індивідуального захисту, медичного устаткування.

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'яза-

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ні 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.

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 двоокису азоту.

Є система моніторингу аміаку в місцях виробництва, перевантаження і зберігання хладону, 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 хладону, а також оперативному черговому Головного управління МНС 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 хладону 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 хладону:

- 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 індивідуа-

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

льних і колективних засобів захисту. Кожному працівникові заводу виданий протигаз з коробкою мазкі КД, орієнтовний час захисної дії якого наступний:

- при концентрації 100 мг/м³ – 75 годин; 300 мг/м³ – 25 годин;
- 2000 мг/м³ – 4 години.

Є три захисні споруди, призначені для укриття і захисту людей від отруйливих речовин, проникаючої радіації, світлового випромінювання, ударної хвилі, радіоактивного пилу, 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 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 коор-

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

динацію 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;

- 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 хладону - концентрація хладону 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 обгрунтоване 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 хладону, що спрацьовують при заданих значеннях концентрацій. Об'єм інформації від встановлених сигналізаторів повинен бути достатнім для формування відповідних дій, що управляють.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено систему холодопостачання камер зберігання яблук місткістю 200 т для умов м. Миколаїв. Проведено аналіз технології тривалого холодильного зберігання фруктів, визначено основні вимоги до температурно-вологісного режиму та обґрунтовано параметри роботи холодильної установки.

На підставі теплотехнічних розрахунків визначено сумарне теплове навантаження на холодильну систему, яке склало 46,6 кВт. Для забезпечення необхідних умов зберігання прийнято холодильну установку на природному холодоагенті R744 (CO₂), що відповідає сучасним вимогам щодо екологічної безпеки та скорочення використання фторованих парникових газів.

В роботі виконано термодинамічний розрахунок транскритичного циклу на R744 при температурі кипіння -10 °C та температурі газоохолоджувача 45 °C. За результатами розрахунку встановлено, що холодильний коефіцієнт установки становить 2,28, масова витрата холодоагенту – 0,255 кг/с, а споживана потужність компресора – 19,88 кВт.

Для оцінки ефективності використання CO₂ проведено порівняльний аналіз холодоагентів R134a та R744. Встановлено, що R744 забезпечує вищий холодильний коефіцієнт (COP = 1,12 проти 2,28 для R744) та меншу споживану потужність компресора. Разом з тим R744 має суттєві екологічні переваги завдяки надзвичайно низькому значенню потенціалу глобального потепління (GWP = 1), тоді як для R134a цей показник становить 1430. Обидва холодоагенти належать до класу безпеки A1 та є негорючими.

На основі виконаних розрахунків для холодильної установки підібрано компресорний агрегат на базі двох напівгерметичних поршневих компресорів BITZER 4MTE-10K серії ECOLINE Transcritical CO₂. Обраний агрегат забезпечує сумарну холодопродуктивність 45 кВт, що практично відповідає розрахунковому тепловому навантаженню та дозволяє реалізувати ступінчасте регулювання продуктивності системи.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання холодоагенту R744 у системі холодопостачання камер зберігання яблук дозволяє забезпечити необхідні умови зберігання продукції, знизити негативний вплив на навколишнє середовище та підвищити перспективність об'єкта з точки зору подальшого розвитку екологічно безпечних холодильних технологій. Отримані результати підтверджують технічну можливість та доцільність застосування транскритичних CO₂-систем для фрукто-сховищ середньої місткості в кліматичних умовах півдня України.

Також виконано теплові розрахунки та підбір основного теплообмінного обладнання. Як випарники та газоохолоджувачі використано теплообмінні апарати виробництва Alfa Laval, які забезпечують необхідні параметри теплообміну при роботі з холодоагентом R744. Проведений підбір підтвердив відповідність обраного обладнання розрахунковим витратам холодоагенту, тепловим навантаженням та робочим параметрам системи.

Використання холодоагенту R744 у системі холодопостачання камер зберігання яблук дозволяє забезпечити необхідні умови зберігання продукції, знизити негативний вплив на навколишнє середовище та підвищити перспективність об'єкта з точки зору подальшого розвитку екологічно безпечних холодильних технологій. Отримані результати підтверджують технічну можливість та доцільність застосування транскритичних CO₂-систем для фрукто-сховищ середньої місткості в кліматичних умовах півдня України.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК 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. – Одеса: ОНТУ, 2022 р. – 164 с.
2. Плодоовочесховища: проектування, оптимізація, розрахунки [Текст]: підручник / М. Г. Хмельнюк, В. П. Кочетов, А. В. Форсюк, Н. В. Жихарева; Одес. нац. акад. харч. технологій, — Одеса, 2018. — 228 с.
3. Мельник О.В., Дрозд С.В. «Вплив інгібіторів етилену на якість та тривалість зберігання груш сорту Яніс» // Наукові праці Уманського НУС. – 2021.
4. Мелехова Л.О. «Післязбиральна фізіологія та технологія зберігання плодових культур» – Київ: Аграрна наука, 2011.
5. Литвиненко В.В. «Технологія зберігання та переробки плодів і овочів» – Харків: Основа, 2015.
6. Кошкін М.М., Сакун І.А. Холодильні машини. – Київ : Вища школа, 2009. – 423 с.
7. Бараненко О.В., Куц В.С., Соколовська І.О. Холодильна техніка та технологія. – Одеса : Астропринт, 2018. – 452 с.
8. Герасимов В.Г. Холодильні установки. – Київ : Техніка, 2006. – 312 с.
9. Stoecker W.F., Jones J.W., McDonald R.J. Refrigeration and Air Conditioning. – New York : McGraw-Hill, 1982. – 608 p.
10. ASHRAE Handbook – Refrigeration. – Atlanta : ASHRAE, 2022. – Розділи «Fruits, Vegetables and Nuts» та «Cold Storage Facilities».
11. Thompson J.F., Mitchell F.G., Rumsey T.R., Kasmire R.F., Crisosto C.H. Commercial Cooling of Fruits, Vegetables and Flowers. – Oakland : University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 2008. – 61 p.
12. Kader A.A. Postharvest Technology of Horticultural Crops. – 3rd ed. – Oakland : University of California Agriculture and Natural Resources, 2002. – 535 p.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Snowdon A.L. A Colour Atlas of Post-Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables. Volume 1: General Introduction and Fruits. – London : Wolfe Scientific Ltd., 1990. – 302 p.
14. Wills R., McGlasson B., Graham D., Joyce D. Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals. – 5th ed. – Sydney : UNSW Press, 2007. – 227 p.
15. Bitzer Refrigerant Report. – Sindelfingen : BITZER Kühlmaschinenbau GmbH, 2024. – 132 p.
16. Alfa Laval Industrial Air Coolers Catalogue. – Lund : Alfa Laval Corporate AB, 2024.
17. CoolProp Documentation. Open Source Thermophysical Property Database. – Довідкова документація з термодинамічних властивостей холодоагентів та теплових розрахунків холодильних систем.
18. ДСТУ EN 378-1:2017. Холодильні системи та теплові насоси. Вимоги щодо безпеки та охорони довкілля. Частина 1. Основні вимоги, визначення, класифікація та критерії вибору.
19. James S.J., James C. The Food Cold-Chain and Climate Change. – Food Research International. – 2010. – Vol. 43. – P. 1944–1956.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.4	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		