

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



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему: Проект холодильника для зберігання мороженої риби
місткістю 700 тон для м. Одеси

Здобувача

Мелков В.І.

2 курсу

ЕН-141 групи

Керівник

к.т.н, доц. Яковлев Ю.О.

Консультанти:

д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від

30.05.2025 р.

протокол №

10

Завідувач кафедри ХУКП

Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса - 2025 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.

«03» березня 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Мелков Володимир Ігорович

1. Тема роботи Проект холодильника для зберігання мороженої риби
місткістю 700 тон для м. Одеси

Затверджена наказом ОНТУ від 26.09.2024 р. наказ № 576-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 30.05.2025 р.

3. Вихідні дані роботи

Розподільчий холодильник розташований у м. Одеса. Місткість для зберігання
замороженої риби становить 700 тонн. Будівля холодильника одноповерхова
з висотою камер 6 м і сіткою колон 6 x 12 м. У 3-х камерах з температурним
режимом -25...-30°C передбачається тривале зберігання замороженої риби.

Холодильна установка з системою безпосереднього кипіння холодоагенту R717.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

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

2. Визначення будівельної площі камер холодильника, 3. Розрахунок товщини

теплоізоляції камер, 4. Розрахунок теплоприпливів, 5. Тепловий розрахунок

холодильної системи, 6. Розрахунок повітряного конденсатора. 7. Розрахунок

повітроохолоджувача, 8. Підбір компресорів та допоміжного устаткування,

9. Розрахунок трубопроводів, 10. Охорона праці, Список використаної літератури,

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

Презентація в PowerPoint

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.	19.05.2025	23.05.2025

7. Дата видачі завдання 03.03.2025 р.

Керівник Яковлев Ю.О.

Завдання прийняв до виконання Мелков В.І

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат	26.05-27.05.2025	
2	Вступ	03.03-20.03.2025	
3	Техніко-економічне обґрунтування проекту	20.04-25.04.2025	
4	Визначення будівельної площі камер холодильника	26.04-30.04.2025	
5	Розрахунок товщини теплоізоляції камер	01.05-04.05.2025	
6	Розрахунок теплоприпливів	05.05-10.05.2025	
7	Тепловий розрахунок холодильної системи	12.05-15.05.2025	
8	Розрахунок повітряного конденсатора	16.05-17.05.2025	
9	Розрахунок повітроохолоджувача	20.05-23.05.2025	
10	Підбір компресорів та допоміжного устаткування	20.05-23.05.2025	
11	Розрахунок трубопроводів	23.05-25.05.2025	
12	Охорона праці	19.05-23.05.2025	
13	Список використаної літератури	23.05-25.05.2025	
14	Презентація в PowerPoint	27.05-29.05.2025	

Здобувач-дипломник Мелков В.І

Керівник роботи Яковлев Ю.О.

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 Мелков Володимир Ігорович

Реферат

Кваліфікаційна робота містить 88 сторінок тексту, включає 18 ілюстрацій, 21 таблицю та 18 бібліографічних посилань. У межах дослідження вирішено задачу проектування розподільчого рибного холодильника.

Об'єктом дослідження є холодильна установка розподільчого холодильника рибопереробного підприємства, розташованого в південному регіоні України, в м. Одеса, Одеської області. Проектована система забезпечує зберігання замороженої риби загальною місткістю 700 тонн.

Архітектурно-будівельні характеристики холодильного комплексу: - Одноповерхова будівля з висотою камер 6 м. Сітка колон: 6×12 м. Три камери з температурним режимом -25°C, призначені для тривалого зберігання замороженої риби. Перед заморожуванням риба зберігається у буферних ємностях з водою при температурі -1°C. Передбачено чотири буферні резервуари, кожен з місткістю 100 тонн риби.

Система холодопостачання холодильного комплексу є централізованою, з використанням аміаку (R717) як холодильного агента. Виходячи з повного завантаження камер, виконано розрахунок сумарних теплопритоків. Такий підхід забезпечує ефективне функціонування холодильного комплексу, оптимізуючи енергоспоживання та експлуатаційні параметри системи холодопостачання.

Ключові слова: розподільчий холодильник – риба – аміак

Abstract

The qualification work contains 88 pages of text, 18 illustrations, 21 tables and 18 bibliographic references. The study solved the problem of designing a fish distribution refrigerator.

The object of the study is the refrigeration unit of a fish processing enterprise located in the southern region of Ukraine, in the city of Odesa, Odesa region. The designed system provides storage of frozen fish with a total capacity of 700 tonnes.

Architectural and construction characteristics of the refrigeration complex: - One-storey building with a chamber height of 6 m. Column grid: 6×12 m. Three chambers with a temperature regime of -25°C, designed for long-term storage of frozen fish. Before freezing, fish is stored in buffer tanks with water at -1°C. There are four buffer tanks, each with a capacity of 100 tonnes of fish.

The refrigeration system of the refrigeration complex is centralised, using ammonia (R717) as a cooling agent. Based on the full load of the chambers, the total heat inflows were calculated. This approach ensures the efficient operation of the refrigeration complex, optimising energy consumption and operational parameters of the refrigeration system.

Keywords: distribution refrigerator - fish - ammonia

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

ЗМІСТ

Сторінка

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	6
1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	7
2. ВИЗНАЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ПЛОЩІ КАМЕР ХОЛОДИЛЬНИКА	18
3. РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ КАМЕР	21
4. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОПРИПЛИВІВ	29
5. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ХОЛОДИЛЬНОЇ СИСТЕМИ	37
6. РОЗРАХУНОК ПОВІТРЯНОГО КОНДЕНСАТОРА	44
7. РОЗРАХУНОК ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА	50
8. ПІДБІР КОМПРЕСОРІВ ТА ДОПОМІЖНОГО УСТАТКУВАННЯ	62
9. РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВОДІВ	65
10. ОХОРОНА ПРАЦІ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	88
СПЕЦИФІКАЦІЯ ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА	89

					КРБ.ХУКП.1.576-03.2.5					
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Проект холодильника для зберігання мороженої риби місткістю 700 тон для м. Одеси			Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Мелков В.І.						5	88	
Перевірив		Яковлев Ю.О.								
Н. Контр.		Яковлев Ю.О.						ОНТУ зр. ЕНск-141		

ВСТУП

Холодильником називається підприємство, призначене для охолодження, заморожування і зберігання швидкопсувних продуктів при заданих низьких температурах. Від звичайного складу холодильник відрізняється наявністю холодильної установки і теплоізоляції. Окрім охолоджуваної частини (камер), холодильник має приміщення для компресорного цеху, трансформаторної підстанції, котельної, адміністративно-побутових приміщень, вестибюлів, і ін. Холодильники мають характерні особливості.

1) У них обробляються і зберігаються коштовні, такі, що досить швидкопсуються продукти, що вимагають для свого збереження підтримки температур нижче за температуру зовнішнього довкілля і певної відносної вологості.

2) Тепло і волога зовнішнього повітря прагнуть проникнути в холодильник, що вимагає створення спеціальних конструкцій огорожень для зменшення проникнення теплоти і вологи всередину приміщень.

3) Великий об'єм переміщуваних вантажів, і необхідність швидкого їх розвантаження вимагають широкого вживання транспортних пристроїв.

4) До них пред'являються високі санітарні вимоги. Холодильники можна класифікувати по різних ознаках. Кожен тип холодильника має свої особливості, які доводиться враховувати при проектуванні і експлуатації. Перш за все, холодильники розрізняються за цільовим призначенням. Ця класифікація, як найповніше відображає особливості роботи холодильників і їх устаткування. Наявність всіляких холодильних підприємств відповідає завданням здійснення безперервного холодильного ланцюга, під яким розуміють сукупність холодильників різних типів і організацію взаємного зв'язку між ними, завдяки якому харчові продукти, починаючи з моменту виробництва і кінчаючи вжитком знаходяться під постійною дією низьких температур, що забезпечує високу якість продуктів навіть при тривалому їх зберіганні. Окремі типи холодильників є, таким чином, ланками безперервного холодильного ланцюга.

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

1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

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

Рельєф площадки вимагає великого обсягу планувальних робіт.

Під'їзна залізнична колія відсутня.

Будинок холодильника одноповерховий з висотою камер 6 м, сітка колон 6 х 12 м. В 3-х камерах з температурним режимом -25°C передбачається тривале зберігання заморожених рибних продуктів. Холодильник повинен забезпечувати населення міста Одеси та Одеського району рибою.

Проєктом передбачається використання вантажно-розвантажувальних роботах електророзвантажувачів.

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

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

Рибопереробна промисловість являє особливий інтерес з точки зору енергоефективності через високе споживання енергії.

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

1.3.1 Температурний режим підприємства

Вимоги температури риби до, під час і після процесу заморожування визначаються на основі необхідної якості розмороженої риби разом з часом між заморожуванням і використанням. Оселедець часто їдять маринованим, тобто без нагрівання, і тому потрібна дуже висока якість. Короткий термін зберігання до заморожування дуже важливий для якості і тому риба повинна зберігатися при мінімально можливій температурі, не досягаючи критичної зони. При зберіганні при температурі, зазначеній в таблиці 1.2 він не досягає критичної зони, рівної -1°C і не перевищує вимогу в $4,4^{\circ}\text{C}$ протягом короткого терміну зберігання.

При заморожування риби температура завжди повинна доходити до -18°C в середині рибини менш ніж за 2 години, щоб гарантувати якість. Подальше зниження температури не має негативного ефекту, поки середня температура риби не перевищує довгострокову температуру зберігання.

Для тривалого зберігання, як можна бачити в таблиці 1.2, температура -25°C перевершує вимогу -18°C , і це також дає великий запас температури під час перевезення риби. Так як холодильна установка є першим кроком в процесі виробництва, і риба експортується по всій країні, тривалий термін зберігання і великі запаси температури дуже важливі. Більш низькі температури можуть бути застосовані, якщо вони вважаються більш ефективними в певний час.

1.3.2 Надходження продукту

Кількість замороженої риби в даний час встановлюється максимально 50 т/добу. Це в значній мірі обмежується наявним рибальським флотом. Потужності для зберігання мають такі розміри по відношенню до довжини рибальського сезону, потоку продукту і частоти поставок. Приплив, відтік і зберігання потужності можна побачити в таблиці 1.3. Таблиця 1.3. Надходження продукту

Процеси	Надходження т/добу	Відвантаження т/добу	Місткість, т
Сортування	10	5	150
Охолодження	10	5	150
Замороження	15	5	200
Зберігання	15	5	200

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

2. ВИЗНАЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ПЛОЩІ КАМЕР ХОЛОДИЛЬНИКА

Початкові дані:

Місто — Одеса, $t_{oc.}=30^{\circ}C$, географічна широта – 46.18 град.

Камери збереження: 3 камери

Температура камери — $t_{кам} = - 25^{\circ}C$

Маса збереженого продукту — $G=700$ т

Вид вантажу — риба заморожена

Вантажний обсяг камери

$$V_B = \frac{G}{g_v} \left[M^3 \right], \quad (2.1)$$

де G - маса збереженого продукту, т;

g_v - норма завантаження одиниці вантажного обсягу, т/м³. Приймаємо для риби в ящиках $g_v=0.45$ т/м³.

$$V_B=700/0.45=1555 \text{ м}^3$$

Вантажна площа камер

$$F_B = \frac{V_B}{h_B} \left[M^2 \right], \quad (2.2)$$

де h_B - висота складування продукту, м. Приймаємо для камер збереження и охолодження $h_B=4$ м, з розрахунку норми завантаження 500 кг/м³ (риба в ящиках), контейнер 1200x800x1300.

$$F_B=1555/4=389 \text{ м}^2$$

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

3. РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ КАМЕР

3.1 Коефіцієнти теплопередачі для перекриття холодильника

Для зовнішніх стін

$$k_{\text{зс}} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+t_k)} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (3.1)$$

де t_k – температура в камері, °С.

$$k_{\text{нс}} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+(-25))} = 0.223 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для стелі

$$k_{\text{бп}} = 0.95 \cdot k_{\text{нс}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right] \quad (3.2)$$

$$k_{\text{бп}} = 0.95 \cdot 0.223 = 0.211 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для внутрішніх стін і перегородок що відокремлюють охолоджувані приміщення від не охолоджуваних але і не опалювальних

$$k_{\text{но}} = 1.18 \cdot k_{\text{нс}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right] \quad (3.3)$$

$$k_{\text{но}} = 1.18 \cdot 0.223 = 0.263 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для внутрішніх стін, перегородок і міжповерхових перекриттів, між охолоджуваними приміщеннями

$$k_{\text{вн}} = \frac{1}{2 + 0.07 \cdot \Delta t_{\text{п}}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (3.4)$$

де $\Delta t_{\text{п}}$ – різниця між температурами повітря більш теплого і

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

холодного охолоджувальних приміщень по обидва боки огородження. Приймаємо 0°C, оскільки температура по обидва боки однакова.

$$k_{\text{вн}} = \frac{1}{2 + 0.07 \cdot 0} = 0.5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для підлоги приймаємо даний коефіцієнт згідно коефіцієнтів теплопередачі для підлоги, що обігривається.

Таблиця 3.1 Коефіцієнт теплопередачі для підлоги, що обігривається

Температура повітря в охолоджувальному приміщенні, °С	$k_{\text{п}}$, Вт/(м ² К)
От -30 до -20	0.21

3.2 Визначення товщини теплоізоляційного матеріалу

Тепер знаючи величини коефіцієнтів теплопередачі, розраховуємо для кожної багат шарової огорожі товщину теплоізоляційного шару за формулою (3.5).

$$\delta_{\text{із}} = \left[\frac{1}{k^*} - \left(\frac{1}{\alpha_3} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \cdot \lambda_{\text{із}} \quad [\text{М}] \quad (3.5)$$

де k^* - коефіцієнт теплопередачі відповідного огородження;

α_3 , α_k - розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі із зовнішнього і внутрішнього боку огорожі. Приймаємо коефіцієнти тепловіддачу із табл. 3.2;

δ_i , λ_i - товщина і коефіцієнт теплопровідності кожного будівельного шару конструкції огорожі. Приймають у залежності від обраної ізоляційної конструкції ;

$\lambda_{\text{із}}$ - розрахункове значення коефіцієнта теплопровідності вибраного ізоляційного матеріалу огорожі. Вибраний матеріал пінополістирол ПСБ – С, $\lambda_{\text{ПСБ-С}}=0.035$ Вт/(мК)

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 100мм.

Дійсне значення коефіцієнта теплопередачі, оскільки збільшена товщина теплоізоляційного шару перевищує від одержаного на 5%.

$$k_d^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + \frac{0.08}{0.47} + \frac{0.004}{0.3} + \frac{0.2}{0.75} + \frac{1}{8}\right) + \frac{0.1}{0.038}} = 0.34 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Для підлоги

Теплоізоляцію підлоги приймаємо однаковою для всіх охолоджуваних приміщень. Як розрахункова, вибираємо наступною конструкцію:

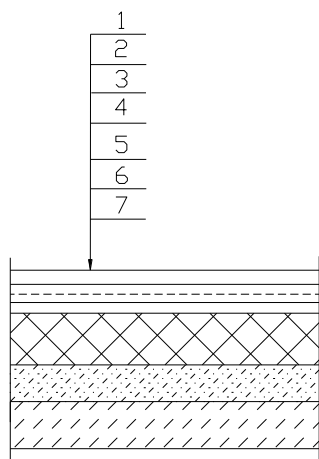


Рис. 3.4 – Структура підлоги

Таблиця 3.6 – Найменування матеріалу шару, для підлоги

№пп	Найменування	Товщина δ , м	Коеф. Теплопр-ті λ , Вт/(мК)
1	Монолітне бетоне покр.	0.04	1.86
2	Армобетонная стягування	0.08	1.86
3	Керамзитовий гравій		0.15
4	Поліетиленова плівка	0.001	0.25
5	Цементний піщаний розчин	0.025	0.98
6	Пісок ущільнювача	0.2	0.58
7	Бетонна підгонка з електронагрівачами		

У розрахунку враховуємо лише шари лежачі вище за бетонну підгонку. Коефіцієнт теплопередачі поверхні підлоги, приймаємо однаковими з таблиці 3.2, для внутрішніх поверхонь камер.

$$\delta_{из} = \left[\frac{1}{0.21} - \left(\frac{1}{9} + \frac{0.04}{1.86} + \frac{0.08}{1.86} + \frac{0.001}{0.25} + \frac{0.025}{0.98} + \frac{0.2}{0.58} \right) \right] \cdot 0.15 = 0.63 \text{ м}$$

Таблиця 3.7 – Характеристики стін холодильника

№пп	Найменування	Товщина ізоляції $\delta_{из}$, м	Товщина ог. $\delta_{ог}$, м	Коефіцієнт теплопередачі K_d^* , Вт/(м ² К)
Камера збереження				
1	Зовнішня стіна	0.2	0.164	0.18
2	Внутрішня стіна	0.15	0.048	0.211
3	Перегородка між камерами	0.1	0.08	0.34
4	Стеля	0.2	0.403	0.181
5	Підлога	0.63	0.34	0.21

4. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОПРИПЛИВІВ

Загальне теплове навантаження на холодильне устаткування визначають підсумуванням усіх теплоприпливів за формулою (4.1).

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

де Q_1 – теплоприпливи через огороження охолоджувальних об'єктів;

Q_2 – теплоприпливи від холодильної обробки вантажів, що перебувають в охолоджувальному об'єкті;

Q_3 – теплоприпливи, що надходять із зовнішнім повітрям при вентиляції охолоджувальних об'єктів;

Q_4 – теплоприпливи від різних джерел, що з'являються при експлуатації охолоджувальних об'єктів;

Q_5 – теплоприпливи від дихання охолоджених плодів і овочів при їхній холодильній обробці і збереженні, або теплоприпливи від інших хімічних реакцій усередині охолоджувального об'єкта.

4.1 Розрахунок теплоприпливів через огороження

$$Q_1 = Q_{1T} + Q_{1C} \text{ [Вт]}, \quad (4.2)$$

де Q_{1T} – теплоприпливи від різниці температур по обох боках огороження, визначається з виразу (3.3);

Q_{1C} – теплоприпливи від сонячного опромінення зовнішніх огорожень, визначається з виразу (3.4).

$$Q_{1T} = kF(t_s - t_k) \text{ [Вт]}, \quad (4.3)$$

де k – розрахунковий коефіцієнт теплопередачі для даної огорожі;

F – площа поверхні даної огорожі;

t_n – температура навколишнього середовища або сусіднього

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

5 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ХОЛОДИЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Вихідні данні:

Теплове навантаження – $Q_0=77.6$ кВт

Температура кипіння – $t_0=-35^{\circ}\text{C}$, $T_0=238$ К

Температура конденсації – $t_K=45^{\circ}\text{C}$, $T_K=318$ К(повітряний конденсатор)

Температура всмоктувальних парів низької ступені – $t_{bc}=-25^{\circ}\text{C}$

Холодильний агент – R717(аміак)

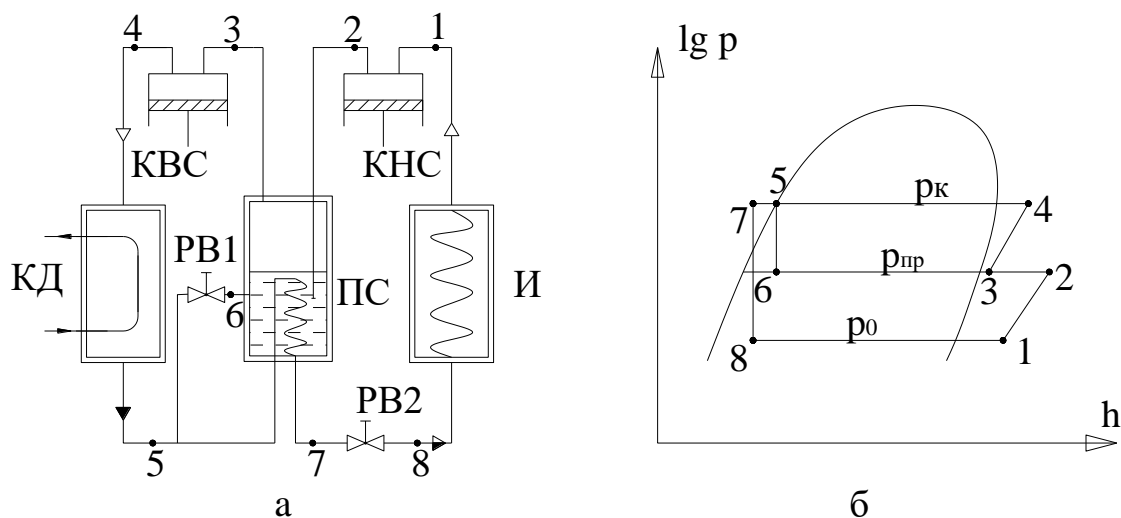


рис. 5.1 – Двоступінчатий цикл(б) і умовна схема(а) холодильної машини з повним проміжним охолодженням і подвійним дроселюванням в промсосуде із змійовиком

Процеси циклу:

1-2 стискування пари в компресорі нижнього ступеня від P_0 до $P_{пр}$;

2-3 повне проміжне охолодження пари в ПС;

3-4 стискування пари в компресорі верхнього ступеня від $P_{пр}$ до P_K ;

					Арк.
					37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Коефіцієнт розширення з мертвого простору – $m=1.1$

Втрати на мертвому просторі

$$\lambda_c^H = 1 - c \cdot \left[\left(\frac{P_{np}}{P_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] = 1 - 0.04 \cdot \left[\left(\frac{4.07}{0.93} \right)^{\frac{1}{1.1}} - 1 \right] = 0.915$$

$$\lambda_c^B = 1 - c \cdot \left[\left(\frac{P_k}{P_{np}} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] = 1 - 0.04 \cdot \left[\left(\frac{17.81}{4.07} \right)^{\frac{1}{1.1}} - 1 \right] = 0.915$$

$$\lambda_w^H = \frac{T_0}{T_{np}} = \frac{238}{271.5} = 0.877$$

$$\lambda_w^B = \frac{T_{np}}{T_k} = \frac{271.5}{318} = 0.854$$

Коефіцієнт подачі компресора

$$\lambda^H = \lambda_c^H \cdot \lambda_w^H = 0.915 \cdot 0.877 = 0.802$$

$$\lambda^B = \lambda_c^B \cdot \lambda_w^B = 0.915 \cdot 0.854 = 0.781$$

Теоретичний об'єм описаний поршнями компресора

$$V_h^H = \frac{V_d^H}{\lambda^H} = \frac{0.104}{0.802} = 0.13 \frac{M^3}{c}$$

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_h^B = \frac{V_d^B}{\lambda^B} = \frac{0.033}{0.781} = 0.042 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Адіабатна потужність витрачена на стискування пара в компресорі

$$N_a^H = M_a^{\text{КНС}} \cdot L_a^H = 0.081 \cdot 210 = 17 \text{ кВт}$$

$$N_a^B = M_a^{\text{КВС}} \cdot L_a^B = 0.11 \cdot 218 = 24 \text{ кВт}$$

Індикаторний КПД

Для аміаку $b=0.0025$

$$\eta_i^H = \lambda_w^H + b \cdot t_0 = 0.877 + 0.0025 \cdot (-35) = 0.789$$

$$\eta_i^B = \lambda_w^B + b \cdot t_{\text{тр}} = 0.854 + 0.0025 \cdot (-1.5) = 0.85$$

Індикаторна потужність компресора

$$N_i^H = \frac{N_a^H}{\eta_i^H} = \frac{17}{0.789} = 21.5 \text{ кВт}$$

$$N_i^B = \frac{N_a^B}{\eta_i^B} = \frac{24}{0.85} = 28.2 \text{ кВт}$$

Потужність тертя

Середній індикаторний тиск тертя – $P_{\text{ітр}}=50$ кПа

$$N_{\text{тр}}^H = P_{\text{ітр}} \cdot V_h^H = 50 \cdot 0.13 = 5.7 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{тр}}^B = P_{\text{ітр}} \cdot V_h^B = 50 \cdot 0.042 = 2.1 \text{ кВт}$$

						Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 РОЗРАХУНОК ПОВІТРЯНОГО КОНДЕНСАТОРА

За результатами теплового розрахунку приймаємо для відведення теплоти конденсації повітряний конденсатор з продуктивністю:

$$Q_k=70 \text{ кВт}$$

Дані для розрахунку:

Теплове навантаження: $Q_k=70 \text{ кВт}$

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

Відносна вологість зовнішнього повітря: $\varphi_n=0.6$

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

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

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

Крок ребер: $u=0.008 \text{ м}$

Ширина ребра: $V=0.044 \text{ м}$

Матеріал труб/ребер: сталь

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

Розташування труб в пучку: шахове

Форма ребра: пластинчасте

Агент: R717

6.1 Тепловий розрахунок конденсатора

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

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

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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

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

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

Повну оребрену поверхню апарату визначаємо по формулі:

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

$$F = 70 \cdot 10^3 / 168.2 = 416 \text{ м}^2$$

6.2 Конструктивний розрахунок апарату

Об'ємна витрата повітря через апарат:

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

$$V = 70 / (1.16 \cdot 1.005 \cdot 6) = 14.15 \text{ м}^3/\text{с}$$

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

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

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

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

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

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

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

Сумарна довжина труб у фронтальному перетині пучка:

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

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

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

Діаметр вентиляторів $D_{в}=0.63 \text{ м}$, кількість $z=3$

Орієнтовні геометричні розміри конденсатора:

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

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

Число труб у фронтальному перетині апарату з округленням до цілого:

$$N_{ф}=B_{к}/S_1=1.01/0.044=23$$

Дійсні геометричні розміри конденсатора:

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

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

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

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

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

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

7 РОЗРАХУНОК ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА

Вихідні данні до розрахунку:

Робоче тіло – R717 (аміак)

Теплове навантаження– 6000 Вт

Температура повітря в камері – $t_{\text{кам}} = -25^{\circ}\text{C}$

Відносна вологість повітря камери – $\phi_{\text{кам}} = 0,9$

Товщина інею– $\delta_i = 0,003$ м

Швидкість руху повітря – $\omega_{\text{п}} = 4$ м/с

Температура кипіння агента – $t_0 = -35^{\circ}\text{C}$

Геометричні розміри і тип ребристої поверхні ПО:

Труба: сталь

Зовнішній діаметр – $d_{\text{зн}} = 0,020$ м

Внутрішній діаметр – $d_{\text{вн}} = 0,016$ м

Товщина стінки – $\delta_{\text{тр}} = 0,002$ м

Теплопровідність сталі – $\lambda_{\text{ст}} = 47$ Вт/(мК)

Ребро: сталь, пластинчасте

Висота – $h = 0,02$ м

Толщина – $\delta_p = 0,0004$ м

Крок – $u_p = 0,012$ м

Компоновка пучка труб: шаховий пучок

Крок труб в пучку:

Поперечний (упоперек потоку повітря) – $S_1 = 0,06$ м

Подовжній (уздовж потоку повітря) – $S_2 = 0,06$ м

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

Діагональний

$$S_{22} = (S_2^2 + (S_1 / S_2)^2)^{0.5} \text{ [м]}, \quad (7.1)$$

$$S_{22} = (0,06^2 + (0,06 / 0,06)^2)^{0.5} = 0,067 \text{ м}$$

7.1 Тепловий розрахунок повітроохолоджувача

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

Задаємося величиною підохолодження повітря в камері $\Delta t_{\text{п}}=2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Температура повітря на виході з ПО

$$t_2 = t_{\text{кам}} - \Delta t_{\text{п}} = -25 - 2 = -27^{\circ}\text{C}$$

Середня температура повітря

$$t_{\text{ср.в}} = 0.5(t_2 + t_{\text{кам}}) = 0.5(-27 - 25) = -26^{\circ}\text{C}$$

Температурний напор

$$\theta = t_{\text{ср.в}} - t_0 = -26 - 35 = 9^{\circ}\text{C}$$

Середня температура поверхні ПО (інею)

$$t_{\text{пі}} = t_{\text{ср.в}} - (0.1 \dots 0.9) \cdot \theta = -26 - 0.4 \cdot 9 = -29.6^{\circ}\text{C}$$

Теплофізичні параметри повітря при середній температурі на вході і виході з апарату:

Коефіцієнт теплопровідності – $\lambda_{\text{п}}=2.231 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(мК)}$

Коефіцієнт кінематичної в'язкості – $\nu_{\text{п}}=11.17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

Питома щільність – $\rho_{\text{п}}=1.428 \text{ кг/м}^3$

Питома теплоємність – $c_{\text{п}}=1.011 \text{ клж/(кгК)}$

Число Прандтля – $P_r=0.719$

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

Коефіцієнт вологовипадіння

$$\xi = 1 + (d_{\text{BK1}} \cdot \varphi_{\text{BK}} - d_{\text{пi}}) \cdot \frac{r - h_i}{[c_{\text{п}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{пi}})]}, \quad (7.8)$$

$$\xi = 1 + ((0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.9 - (0.24 \cdot 10^{-3})) \cdot \frac{2835 - (-61.86)}{[1.01 \cdot (-25 - (-29.6))]} = 1.069$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зовнішньої поверхні теплопередаючого елемента з урахуванням термічного опору шару інею

$$\alpha_{\text{пр}} = \left[\frac{1}{(\alpha_{\text{к}} \cdot \xi)} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right]^{-1} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (7.9)$$

$$\alpha_{\text{пр}} = \left[\frac{1}{(29.28 \cdot 1.069)} + \frac{0.003}{0.2} \right]^{-1} = 21.174 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Безрозмірний комплекс

Умовна висота ребра

$$h_y = h \cdot \left[1 + 0.805 \log \left(\frac{0.076}{d_{\text{н}}} \right) \right] = 0.02 \cdot \left[1 + 0.805 \log \left(\frac{0.076}{0.02} \right) \right] = 0.029 \text{ м}$$

$$m = \left[2 \cdot \frac{\alpha_{\text{пр}}}{(\delta_p \cdot \lambda_p)} \right]^{0.5} = \left[2 \cdot \frac{21.174}{(0.0004 \cdot 47)} \right]^{0.5} = 47.461 \frac{1}{\text{м}}$$

Коефіцієнт ефективності ребра

$$E = \frac{\tanh(mh_y)}{mh_y} = \frac{\tanh(47.461 \cdot 0.029)}{47.461 \cdot 0.029} = 0.635$$

Коефіцієнт враховує нерівномірність тепловіддачі

$$\psi = 1 - 0.058mh_y = 1 - 0.058 \cdot 47.461 \cdot 0.029 = 0.919$$

Коефіцієнт враховує контактний термічний опір між трубою і ребром, для сталевих труб и сталевих ребер дорівнює $C_{\text{к}}=0.8$.

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

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елемента

$$\alpha_{\text{пр.зн}} = \frac{\alpha_{\text{пр}}(f_p \cdot E \cdot \psi \cdot c_k + f_T)}{f_{zi}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (7.10)$$

$$\alpha_{\text{пр.зн}} = \frac{21.174 \cdot (6.572 \cdot 10^{-3} \cdot 0.635 \cdot 9.683 \cdot 0.8 + 7.288 \cdot 10^{-4})}{6.596 \cdot 10^{-3}} = 12.187 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби

$$q_B = \alpha_k \cdot \xi \cdot (t_{\text{ср.п}} - t_{\text{мі}}) \cdot \beta_i \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right], \quad (7.11)$$

$$q_B = 29.02 \cdot 1.069 \cdot (-24.05 - (-29.6)) \cdot 10.935 = 1222 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні робочого тіла в трубах апарату:

$$\alpha_0 = (103.2 + 0.19 \cdot t_0) \cdot q_B^{0.25} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (7.12)$$

$$\alpha_0 = (103.2 + 0.19 \cdot (-35)) \cdot 1222^{0.25} = 553.648 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Коефіцієнт теплопередачі віднесений до зовнішньої поверхні інею

$$k_{\text{зн.і}} = \left[\frac{1}{\alpha_{\text{пр.зн}} + \varphi \cdot \frac{\delta_T}{\lambda_T} + \frac{\beta_i}{\alpha_0}} \right]^{-1} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (7.13)$$

$$k_{\text{зн.і}} = \left[\frac{1}{12.187 + 9.683 \cdot \frac{0.004}{47} + \frac{10.935}{553.648}} \right]^{-1} = 12.207 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Коефіцієнт теплопередачі віднесений до зовнішньої "сухої" поверхні оребреної труби без інею

$$k_{\text{зн}} = k_{\text{зн.і}} \cdot \frac{\beta}{\beta_i} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \right], \quad (7.14)$$

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

Мінімальний "живий" перетин повітроохолоджувача з інеєм на теплообмінній поверхні

$$F_{\text{ж}} = V_{\text{п}} / \omega_{\text{п}} = 2.05 / 3 = 0.68 \text{ м}^2$$

Площа фронтального перетину повітроохолоджувача

$$F_{\text{ф}} = \frac{(F_{\text{ж}} \cdot S_1 \cdot u_p)}{f_{\text{ж}}} = \frac{(0.68 \cdot 0.06 \cdot 0.012)}{5.984 \cdot 10^{-4}} = 0.82 \text{ м}^2$$

По об'ємній витраті через повітроохолоджувач вибираємо два вентилятори з об'ємною витратою $V=1.77 \text{ м}^3/\text{с}$

Діаметр вентилятора – $D_{\text{в}}=0.4 \text{ м}$

Число вентиляторів – $n=2$ шт

Площа прохідного перетину вентиляторів

$$F_{\text{в}} = 0.785 \cdot D_{\text{в}}^2 \cdot n = 0.785 \cdot 0.5^2 \cdot 2 = 0.39 \text{ м}^2$$

Для забезпечення хорошого розподілу повітря повинне бути виконане наступне співвідношення між площею вільного перетину апарату і площею прохідного перетину вентиляторів

$$1.8 < \frac{F_{\text{ф}}}{F_{\text{в}}} < 2.6 \quad 1.8 < 2.05 < 2.6$$

умова виконується

Орієнтовні геометричні розміри теплообмінної секції повітроохолоджувача у фронтальному перетині, визначають з виразів:

Ширина

$$H_{\text{h}}' = (F_{\text{ф}} / n)^{0.5} = (0.82 / 2)^{0.5} = 0.64 \text{ м}$$

Довжина

$$L_{\text{h}}' = H_{\text{h}}' \cdot n = 0.64 \cdot 2 = 1.28 \text{ м}$$

Орієнтовне число труб у фронтальному перетині пучка, шт

$$z_{\text{п}}' = H_{\text{h}}' / S_1 = 0.64 / 0.06 = 10.7$$

Число труб упоперек потоку повітря визначають округленням $z_{\text{п}}'$ до

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

$$P = 0.233 \cdot \left(\frac{0.06}{0.012} \right)^{0.42} \cdot (4 \cdot 1.428)^{1.8} \cdot 6.6 = 69 \text{ Па}$$

Таблиця 7.2 – Характеристики розрахункового ПО

Найменування розрахункового параметру	Позначення	Кількість
Об'ємна витрата повітря через ПО	V	2.05 м ³ /с
Площа фронтального перетину ПО	F _ф	0.82 м ²
Площа прохідного перетину вентиляторів	F _в	0.39 м ²
Дійсне число труб у фронтальному перетині пучка	Z _п	12 шт
Число ребр. елементів у фронт. перетині ПО	n _ж	1136 шт
Дійсне число труб по ходу повітря в ПО	Z _{пр}	7 шт
Сумарна довжина труб апарату	ΣL	107.5 м
Площа зовнішньої поверхні	F _д	65.37 м ²
Холодовидатність	Q ₀	6 кВт
Площа сухої поверхні повітроохолоджувача	F _{зн}	49.3 м ²
Висота ребра	h	0.02 м
Товщина ребра	δ _р	0,0004 м
Крок ребер	u _р	0.012 м
Матеріал ребер (сталь)	λ _{ст}	47 Вт/(мК)
Компоновка пучка	шаховий	
Глибина секції	B	0.42 м
Ширина секції	H	0.72 м
Довжина секції	L	1.28 м

8 ПІДБІР КОМПРЕСОРИВ ТА ДОПОМІЖНОГО УСТАТКУВАННЯ

8.1 Підбір компресорів, конденсаторів та повітроохолоджувачів

Підбір компресорів здійсимо по потрібній холодопродуктивності в режимі зберігання $Q_0=101.9$ кВт з параметрами роботи, представленими при тепловому розрахунку. Для СНТ вибираємо два поршневі компресора фірми Bitzer марки W6FA-S230K з холодопродуктивністю за даних умов $Q_0=65.4$ кВт і споживаною електричною потужністю $N_{эл}=30$ кВт. Для СВТ вибираємо два поршневі компресора фірми Bitzer марки W4GA-S230K з холодопродуктивністю за даних умов $Q_0=36.4$ кВт і споживаною електричною потужністю $N_{эл}=30$ кВт.

Для відведення теплоти конденсації в даній холодильній системі використовуємо повітряні конденсатори. Розрахункове теплове навантаження було визначено за даними теплового розрахунку:

$$Q_k=131.6 \text{ кВт}$$

Вибираємо два повітряні конденсатори фірми Alfa-Laval марки ACS802B-C (Додаток 2) потужністю 86.8 кВт при розрахунковій температурі конденсації $t_k=42$ °С.

У камерах схову вантажу для забезпечення температурного режиму і рівномірного температурного поля буде встановлено по 2 підвісних стельових повітроохолоджувача з розрахунковою холодопродуктивністю по $Q_0=10$ кВт. Приймаємо повітряохолоджувач марки Alfa-Laval TGL36-S4P (Додаток 3) с холодопродуктивністю $Q_0=10.4$ кВт.

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

перевищувати 0.5 м/с. Він є зварною вертикальною циліндровою судиною, що має патрубки і штуцера для приєднання рідинної і парових ліній, зрівняльної лінії, автоматичних приладів і манометра. Судина розрахована на робочий тиск не більше 1,5 мПа в робочому діапазоні температур от -50 до +40 °С. Підбираємо віддільник рідини фірми Sanrong марки SR-208.

Масловіддільники призначені для відділення масла, що відноситься з компресорів разом з холодильним агентом. Підбір масловіддільників проводиться по діаметру нагнітального патрубка компресора. Вибираємо масловіддільник циклонного типу марки 50МО.

Мастилозбірник призначений для перепускання в нього масла з апаратів і подальшого видалення його з системи при низькому тиску. Він є зварною вертикальною циліндровою судиною, розрахованою на робочий тиск не більше 1,8 мПа в робочому діапазоні температур від -40 до +150 °С. Вибираємо мастилозбірник марки 10МЗС (Снежняскхиммаш).

Для захисту віддільника рідини від переповнювання, а так само зберігання агента при тривалій зупинці холодильної машини, в системі передбачений захисний дренажний ресівер. Підбір апарату здійснюється аналогічно лінійному ресіверу, т.ч. як дренажний вибираємо горизонтальний ресівер 0.75РВ.

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

9 РОЗРАХУНОК МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Об'ємна витрата агента:

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

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

Діаметр трубопроводу, що розраховується:

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

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

Нагнітальний трубопровід:

При $t_2 = 107 \text{ }^\circ\text{C}$ и $P_k = 17.8 \text{ бар}$ – щільність агента $\rho_2 = 10.25 \text{ кг/м}^3$.

$$V_a = 0.11 / 10.25 = 0.011 \text{ м}^3\text{/с}.$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.011 / 13)^{0.5} = 0.033 \text{ м}.$$

Приймаємо на нагнітанні сталеву трубу 38×2 .

Всмоктуючий трубопровід:

Нижній ступінь:

При $t_1 = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ и $P_0 = 0.93 \text{ бар}$ визначаємо щільність агента $\rho_1 = 0.78 \text{ кг/м}^3$.

$$V_a = 0.081 / 0.78 = 0.104 \text{ м}^3\text{/с}$$

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

$$d_n = 1.13 \cdot (0.104/14)^{0.5} = 0.097 \text{ м.}$$

Приймаємо на всмоктуванні сталеву трубу 108×4.

Всмоктуючий трубопровід:

Верхній ступінь:

При $t_1 = -0.5$ °С и $P_0 = 4.07$ бар визначаємо щільність агента $\rho_1 = 3$ кг/м³.

$$V_a = 0.11/3 = 0.037 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.037/14)^{0.5} = 0.058 \text{ м.}$$

Приймаємо на всмоктуванні сталеву трубу 76×3.5.

Трубопровід на сливі від конденсатора до ресівера:

При $t_3 = 45$ °С и $P_k = 17.8$ бар визначаємо щільність агента $\rho_3 = 580$ кг/м³.

$$V_a = 0.11/580 = 0.00019 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.00019/0.5)^{0.5} = 0.022 \text{ м.}$$

Приймаємо на рідинному зливі сталеву трубу 32×2.

						Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці - це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Проектоване підприємство призначене для тривалого зберігання м'ясних напівфабрикатів. Холодильна установка, що забезпечує підтримку технологічного режиму зберігання в камерах, використовує холодильний агент аміак.

В компресорному цеху знаходиться холодильна машина, апарати якої знаходяться в тому ж приміщенні. Повітряні конденсатори розташовані поза будівлею. Висота стелі складає 5,5 м. Компресорний цех має два виходи один з яких безпосередньо назовні. Апарати що вимагають постійного обслуговування обладнанні спеціальними майданчиками і сходами. Майданчики і сходи огороженні поручнем. Колектор приборів охолодження знаходиться в компресорному цеху, що дозволяє негайно відрегулювати подачу холодоагенту. Усе устаткування розміщене з необхідними проходами, без труднощів обслуговування. Загальна площа компресорного цеху складає 108 м².

Аміак R717, хімічна формула NH₃. Нормальна температура кипіння мінус 33,35 °С. При атмосферному тиску аміак — безбарвний газ, легше за повітря, з різким задушливим запахом.

Найбільш небезпечними властивостями аміаку є його токсичність і вибухонебезпека. Перебування людини протягом декількох хвилин в приміщенні з об'ємною часткою аміаку в повітрі —0,5÷1% приводить до смертельного результату або сильного отруєння. Температура самозаймання аміаку 630 °С. При об'ємній частці в повітрі понад 11 % і наявності

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

Визначимо опір системи вертикальних заземлювачів

$$R_{\text{св}} = \frac{R_o}{n' \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (10.7)$$

де $\eta_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів,
 $\eta_{\text{в}} = 0,77$ [6].

$$R_{\text{св}} = \frac{12,93}{4 \cdot 0,89} = 3,63 \text{ Ом}$$

Визначимо опір з'єднувальної смуги:

Довжина смуги:

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

Довжина смуги не повинна перевищувати 150 м

Опір смуги:

$$R_n = \frac{R_p}{2\pi L \eta_{\text{г}}} \cdot \ln \frac{L^2}{d \cdot t_o}, \quad (10.8)$$

де $\eta_{\text{г}}$ – коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів,
 $\eta_{\text{г}} = 0,92$ [6].

$d = 0,5$; $b = 0,5 \cdot 0,012 = 0,006$ м – для смуги шириною b

$$R_n = \frac{44}{2\pi \cdot 18 \cdot 0,92} \cdot \ln \frac{18^2}{0,006 \cdot 0,5} = 4,9 \text{ Ом}$$

Визначимо загальний опір системи

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

$$R_c = \frac{4,9 \cdot 3,63}{4,9 + 3,63} = 2,08 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

Протипожежні заходи

Протипожежні заходи забезпечуються комплексом проектних рішень, спрямованих на попередження пожежі та вибуху, а також створення умов, які

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

сприяють успішному гасінню пожежі, перешкоджають її поширенню та забезпечують можливість евакуації працівників та матеріальних цінностей.

Згідно діючих типових "Правил пожежної безпеки для промислових підприємств", "Правилам пристроїв і безпечною експлуатації аміачних холодильних установок", ВНТП-СНиП-46-25.96 у приміщенні компресорної передбачається установка щиту первісних засобів гасіння пожежі з комплектом засобів :

- вогнегасник пінний – 2 шт.;
- вогнегасник вуглекислотний – 1 шт.;
- ящик з піском ($V=0.1 \text{ м}^3$) та лопата;
- лопата;
- багор;
- відро.

Визначення об'єму недоторканого запасу води для гасіння пожежі
Розрахуємо ємність пожежного резервуару для гасіння пожежі на промисловому підприємстві виходячи з наступних даних:

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

категорія приміщення – А

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

$$V_a = \frac{k \cdot g \cdot n \cdot \tau}{1000} \cdot 3600 \text{ [м}^3\text{]}, \quad (10.9)$$

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

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

n – кількість одночасних пожеж, згідно зі СНиП 2.04.02-84, приймаємо $n = 1$;

τ – тривалість гасіння пожежі.

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

Згідно зі СНиП 2.04.02-84 при ступені вогнестійкості I и II з виробництвами категорій Г та Д розрахункову тривалість гасіння пожежі слід приймати рівною двом годинам; в інших випадках – три години, приймаємо $\tau = 3$ г.

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

Виробнича санітарія

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

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

Вентиляція

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

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

						Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо видатність вентиляції з кратності повітрообміну

$$L = k \cdot V_{\text{пом}} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right], \quad (10.10)$$

де k – кратність повітрообміну, приймаємо для робочої вентиляції:

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

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

тоді

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

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

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

Визначимо потужність вентилятора

$$N = \frac{k \cdot L \cdot \Delta P_n}{\eta_v \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot 3.6 \cdot 10^6} \text{ [кВт]}, \quad (10.11)$$

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

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

ΔP_n – втрати тиску в мережі повітроводів;

приймаємо для робочої вентиляції:

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

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

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

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

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

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

Визначимо відстань, між центрами світильників виходячи з умови

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

$$L = 2.8 \cdot 1.5 = 4.2 \text{ м}$$

Визначимо кількість світильників

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

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

Визначимо світловий потік одного світильника

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

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

k – коефіцієнт запасу, $k = 1,5$;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, $z = 1,1$;

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

η – коефіцієнт використання світлового потоку залежить від: КПД та кривої розподілення сили світла світильника, коефіцієнту відбиття від стелі та стін ($\rho_{ст}$, $\rho_{п}$), висоти підвісу світильників над робочей поверхнею, показника приміщення: $i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)} = \frac{12 \cdot 9}{2.8 \cdot (12 + 9)} = 1.83$ тоді приймаємо

$\eta = 33$ [7].

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

Компонуємо світильник:

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

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

						Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Потужність освітлювальної установки

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

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

p – потужність лампи, $p = 40$ Вт;

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

Долікарська допомога у випадку отруєння аміаком та ураженні електричним струмом

Ураження електричним струмом

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

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

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

Заходи першої медичної допомоги потерпілому від електричного струму залежать від його стану. Якщо потерпілий у свідомості, але до цього був в непритомності або тривалий час знаходився під струмом, йому необхідно забезпечити повний спокій до прибуття лікаря або терміново доставити до лікувальної установи.

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

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

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

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

Отруєння аміаком

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

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

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

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

Для надання долікарської допомоги в операторській аміачного

						Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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, тепlopостачання, електропостачання, газопостачання і так далі).

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

5. Захист персоналу заводу від наслідків надзвичайних ситуацій:

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

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

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

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

						Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Є система моніторингу аміаку в місцях виробництва, перевантаження і зберігання аміаку, що складається з 31 датчика, які в автоматичному режимі передають інформацію про наявність аміаку в атмосфері на комп'ютер диспетчера заводу і в ЦПУ цехів виробництва аміаку, перевантаження аміаку і виробництва карбаміду, а також оперативному черговому Головного управління 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 аміаку в них. При цьому автоматично враховується вплив метеорологічних параметрів: швидкість і напрям вітру, температура, вологість, стан атмосфери, які поступають на комп'ютер з автоматичної метеостанції.

Межі допустимої концентрації аміаку:

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

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

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

- при концентрації 100 мг/м^3 – 75 годин; 300 мг/м^3 – 25 годин;

						Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 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 НС і ГО здійснює:

- роботу по впровадженню і реалізації на заводі державних правових норм у сфері цивільної оборони, захисту працюючого персоналу і територій від надзвичайних ситуацій;

- розробку планів цивільної оборони і здійснення організаційних в інженерно-технічних заходів, направлених на попередження надзвичайних ситуацій і підвищення стійкості функціонування заводу в надзвичайних ситуаціях;

- організацію взаємодії аварійно-рятувальних служб заводу;

- забезпечення взаємодії з місцевими виконавськими органами і координацію дій з органами управління територіальних структур МНС України при реагуванні на надзвичайні ситуації і ліквідації їх наслідків;

						Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 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 аміаку - концентрація фреону у місцях установки датчиків досягла величини, рівної 25 ГДКр.з

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

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

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

и) Система контролю рівня загазованості при перевищенні заданої величини концентрації фреону повинна забезпечувати автоматичне виконання.

						Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Конспект лекцій з дисципліни «Аналіз та проектування енергетичних систем» для студентів СВО «Бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса: ОНТУ, 2022 р. – 164 с.
2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Аналіз та проектування енергетичних систем» для студентів СВО «Бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса ОНТУ, 2022. – 46 с.
3. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Аналіз та проектування енергетичних систем» для студентів СВО «Бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса ОНТУ, 2022. – 122 с.
4. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Аналіз та проектування енергетичних систем» для студентів СВО «Бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса ОНТУ, 2022. – 70 с.
5. Плодоовочесховища: проектування, оптимізація, розрахунки [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, В. П. Кочетов, А. В. Форсюк, Н. В. Жихарєва ; під заг. ред. М. Г. Хмельнюка ; Одес. нац. акад. харч. технологій, Нац. ун-т харч. технологій. — Одеса : Бондаренко М. О., 2018. — 228 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 222-223.
6. Низькопотенційна енергетика [Текст] : навч. посіб. / А. О. Редько, М. К. Безродний, М. В. Загорученко та ін. ; Нац. техн. ун-т України "Київський політехнічний університет", Одес. нац. акад. харч. технологій, Харків. нац. ун-т будівництва та архітектури, Вінниц. нац. техн. ун-т. — Харків : Друкарня Мадрид, 2016. — 412 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 404-405.
7. Холодильні установки та сфери їх використання [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко, І. О. Подмазко ; під заг. ред. М.Г. Хмельнюка; Одеська нац. академія харчових технологій. — Херсон : Грінь Д.С., 2014. — 484 с. : іл.
8. Холодильні установки [Текст]: навч. посіб. / О. С. Подмазко, С. Ю. Лар'яновський. — Одеса: ОДАХ, 2012. — 60 с.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

9. ASHRAE Handbook – Refrigeration – Covers refrigeration principles, including cold storage design.

10. Refrigeration of Fish. Part 1 - Cold Storage Design and Refrigeration Equipment – A scientific publication on fish cold storage design. Read here.

11. Freezing and Refrigerated Storage in Fisheries - Cold Stores – FAO guidelines on cold storage for fish. Read here.

12. Refrigeration and Sustainability in the Seafood Cold Chain – A study on energy-efficient refrigeration for seafood storage. Read here.

13. Industrial Refrigeration Handbook – By Wilbert F. Stoecker, covering refrigeration systems for food storage.

14. Cold Storage Warehousing and Logistics – A book on best practices for refrigerated storage and distribution.

15. Handbook of Frozen Food Processing and Packaging – Covers freezing technologies and storage conditions for seafood.

16. Design and Optimization of Cold Storage Facilities – A technical guide on refrigeration system efficiency.

17. The Refrigeration Technologies for Seafood Storage – A research paper on modern refrigeration methods.

18. Energy Efficiency in Cold Storage Facilities – A study on reducing energy consumption in fish cold storage.

						Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		