

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) _____ ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого _____
Кафедра _____ теплоенергетики та холодильної техніки _____

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)

(підпис)
Сергій БЛАЖЕНКО
(ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис)
Валентин ПЕТРЕНКО
(ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 2024р.

« ____ » _____ 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності _____ 142 «Енергетичне машинобудування» _____
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми _____ холодильні техніка та технології _____

на тему Проект розподільчого холодильника місткістю 1500 тон у м Полтава

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ХМ-4-4

Брайко Володимир Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Бойко Володимир Володимирович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент _____
(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я, як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій, розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

Київ - 2024р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ імені акад. І.С. Гулого

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Холодильні техніка та технології

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри ТЕХТ

Валентин ПЕТРЕНКО

“ ” квітня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Брайко Володимир Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Проект розподільчого холодильника місткістю 1500 тон у м. Полтава

керівник роботи: Бойко Володимир Олександрович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “5” квітня 2024 року № 256-кв

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: тип продукції, що зберігається - м'ясні консерви, м'ясо, сир, ковбасні вироби, напівфабрикати, рибна продукція; тип холодоагенту - R717 аміак; тип системи - централізована, насосно-циркуляційна.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1.Вступ; 2. Розділи холодильної частини проєкту; 3. Охорона праці, 3. Економічна частина, 4. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу _____

1). План та розріз холодильника.

2). Схема холодильної установки.

3). Цикл холодильної установки.

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті проведено розрахунок і проектування розподільчого холодильника місткістю 1500 тонн у м. Полтава. У проєкті здійснено вибір необхідного холодильного обладнання для досягнення максимальної ефективності щодо витрат електроенергії при роботі холодильної установки та забезпечення необхідного рівня штучного охолодження за мінімальних капітальних та експлуатаційних витрат.

Виконано розрахунки будівельно-ізоляційних конструкцій, площ камер холодильника, основного та допоміжного обладнання холодильної установки. У дипломі описано такі розділи, як "Розрахунок холодильника", "Охорона праці" та "Техніко-економічні показники".

У проєкті враховано новітні досягнення у об'ємно-планувальних та конструктивних рішеннях холодильників, системах і схемах охолодження холодильних камер та технологічних процесів. Кваліфікаційна робота виконано на ПК, для розрахунків використовувалися прикладні програми "Microsoft Excel" та "Mathcad 13", креслення та схеми створювалися за допомогою програми "AutoCAD 2016".

Ключові слова: аміак, розподільчий холодильник, схема трубопроводів, R717.

					КР000.142.008.012.2024 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Брайко В І			Проект розподільчого холодильник місткістю 1500 т у м. Полтава ВСТУП	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Бойко В.О.					1	91
<i>Реценз.</i>						НУХТ гр.ХМ-4-4		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		Петренко В.П.						

ABSTRACT

This thesis project involves the calculation and design of a distribution refrigerator with a capacity of 1,500 tons in Poltava. The project includes the selection of the necessary refrigeration equipment to achieve maximum energy efficiency during the operation of the refrigeration system, while ensuring the required level of artificial cooling with minimal capital and operational costs.

Calculations were performed for the construction and insulation structures, the area of the refrigeration chambers, as well as for the main and auxiliary equipment of the refrigeration system. The thesis covers sections such as "Refrigerator Calculation," "Occupational Safety," and "Technical and Economic Indicators."

The project incorporates the latest advancements in the spatial-planning and structural solutions of refrigerators, as well as in the systems and schemes for cooling refrigeration chambers and technological processes. The qualification work was carried out on a PC, with calculations performed using "Microsoft Excel" and "Mathcad 13," and drawings and diagrams created using "AutoCAD 2016."

Keywords: ammonia, distribution refrigerator, piping system, R717.

					КР000.142.008.012.2024 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Проект розподільчого холодильник місткістю 1500 т у м. Полтава ВСТУП	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		Брайво В.І.					4	
<i>Керівник</i>		Бойко В.О.						
<i>Консультант</i>								
<i>Рецензент</i>								
<i>Затвердив</i>		Петренко В.П.				<i>НУХТ, зр ХМ-4-4</i>		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1.Розробка технологічної схеми холодильного оброблення продукції.....	9
2.Техніко – економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень	10
3.Визначення основних розмірів та планування приміщення холодильника	12
4.Вибір будівельних конструкцій та розрахунок товщини ізоляції холодильника	17
5.Розрахунок теплонадходжень до охолоджуючих приміщень.....	24
6.Визначення навантаження на обладнання камер та вибір компресорів.....	35
7.Вибір та обґрунтування системи і способу охолодження	37
8. Вибір розрахункового робочого режиму та тепловий розрахунок холодильної машини. Вибір компресорів.	39
9. Розрахунок і вибір теплообмінного обладнання	51
10.Розрахунок та вибір допоміжного обладнання холодильної установки.....	57
11.Визначення гідравлічних втрат у трубопроводах	60
12.Підбір насосів	65
13. Техніко-економічні показники	67
14. Охорона праці.....	71
Список використаної літератури	88

					КР000.142.008.012.2024 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У останні роки холодильна промисловість перетворилася в індустріальну галузь високого рівня з розгалуженою мережею. Розвиток м'ясної, молочної та рибної харчової промисловості суттєво впливає на зростання холодної місткості. Технічний рівень холодильних підприємств постійно підвищується, що призводить до зниження температурного режиму зберігання продуктів до -25 ...-30 °С. Впроваджуються насосні системи та повітряне охолодження, використовуються високоефективні теплоізоляційні матеріали та системи охолодження й заморожування продуктів. Розподільні холодильники призначені для постачання населення продуктами харчування усього року і мають резервні запаси в сезон заготівель. Продукти надходять на розподільні холодильники з виробничих і заготівельних в охоложеному або замороженому стані, де вони зберігаються тривалий час (до 3-6 міс. і більше). Для вантажів, що під час транспортування нагрілися, передбачені камери для доохолодження і доморожування. Ємність розподільних холодильників коливається від 500 до 15 000 т, а в окремих випадках може досягати 30 000-35 000 т.

					КР000.142.008.012.2024 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Полтава розташована у східній частині Європи, на відстані 301 км на схід від Києва. Місто знаходиться на Придніпровській низовині, по обох берегах річки Ворскла. Притока річки, Коломак, впадає в неї в межах міста.

Населення Полтави становить 292 тисячі осіб, а площа — 103 км².

Полтава поділена на три міські райони: Подільський, Шевченківський та Київський. Клімат міста помірно континентальний з прохолодною зимою і теплим, іноді спекотним літом. Середньорічна температура повітря становить 7,6 °С, з найнижчою температурою в січні (-6,6 °С) та найвищою в липні (20,1 °С). Середня температура січня - -6,6 °С, липня - +18,7 °С, середньорічна - +7,6 °С, а середньорічна вологість повітря - 74%.

Завдяки вигідному розташуванню поблизу потужних промислових центрів України, таких як Київ, Харків та Дніпропетровськ, у Полтаві розвинуті машинобудування, хімічна, нафтогазовидобувна, деревообробна, харчова промисловості та виробництво будматеріалів.

Серед підприємств Полтави виділяється ПАТ «Полтавамаш», яке понад 50 років є одним із провідних підприємств України у виробництві обладнання для агропромислового комплексу. Підприємство виготовляє понад 250 видів

Продукція: м'ясні консерви, м'ясо, сир, ковбасні вироби, напівфабрикати, рибна продукція), який є одним із фаворитів на ринку харчової промисловості в Полтавській області.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Важливу роль у виконанні поставлених завдань відіграватиме подальше технічне переозброєння нашої промисловості, включаючи реконструкцію підприємств, що забезпечить необхідне зростання ефективності суспільного виробництва та поліпшення якості продукції.

Проектування холодильних підприємств базується на таких напрямках:

1. Інтенсифікація процесів у холодильному устаткуванні та використання нових технологій обробки;
2. Комплексна механізація і автоматизація навантажувально-розвантажувальних робіт;
3. Комплексна автоматизація виробничих процесів.

Особлива увага приділяється підвищенню ефективності виробництва штучного холоду та його застосування в різних галузях промислового виробництва.

У Полтаві планується проектування розподільчого холодильника місткістю 1500 тонн.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.Розробка технологічної схеми холодильного оброблення продукції.

Підприємство, розташоване в Полтаві, займається переробкою продукції з наступною продуктивністю: яловичина у напівтушах - 60 тонн на добу, консерви - 40 тонн на добу, субпродукти - 25 тонн на добу. Камери зберігання мають місткість відповідно 600 тонн, 400 тонн і 250 тонн. Для холодозабезпечення використовується власний холодильний компресорний цех, обладнаний аміачними холодильними установками.

Продукція спочатку надходять до експедиції та вагової.

Параметри повітря в експедиції: $t_e = 0^\circ\text{C}$, $\varphi = 85\ldots 90\%$, природня циркуляція повітря

Допустимо, що її завантаження періодичне і рівне добовому надходженню вантажу (60 т м'яса, 40 т консерв і 25 т субпродуктів). Тривалість перебування продукту в експедиції 1 година. Початкова температура напівтуші дорівнює $+5^\circ\text{C}$ (м'ясо надходить охолоджене).

Потім продукція подається на заморожування для подальшого холодильного зберігання чи відпускання стороннім споживачам.

Параметри повітря в камерах замороження: $t_b = -35^\circ\text{C}$, $\varphi = 95\ldots 98\%$, Інтенсивна циркуляція повітря.

На замороження надходить партія м'яса, котра повністю займає камеру. Тривалість замороження 15 годин. Температури, початкова $+5^\circ\text{C}$, кінцева - 15°C .

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потім продукція надходить у камери зберігання, де може перебувати до 6 місяців. Для камер зберігання добове надходження продукту складає 10% від їхньої завантаженості. У камерах зберігання температура замороженого м'яса при надходженні становить -15°C ($h_{п}=37,4$ кДж/кг), а під час зберігання температура вирівнюється з температурою камери, тобто кінцева температура продукту становить -20°C ($h_{к}=4,6$ кДж/кг). Продукт надходить до камери рівномірно протягом доби, тому для розрахунків приймаємо час обробки 24 години. Заморожене м'ясо зберігається в холодильних камерах при температурі -20°C та відносній вологості повітря 92-98%. У камерах підтримується помірна циркуляція повітря. Для зменшення усушки використовуються пакувальні плівкові матеріали.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Лист
						10
Змн.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

2. Техніко – економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень

Метою цього проекту є будівництво розподільчого холодильника в місті Полтава. Зведення цього підприємства дозволить накопичувати продукти, які за потреби будуть доставлятися споживачам. Наявність холодильника у великому населеному пункті дозволяє знизити логістичні витрати, що позитивно впливає на кінцеву ціну продукції для споживачів. Будівництво такого холодильника є економічно вигідним, оскільки аналогічних об'єктів у регіоні немає.

Цей проект може викликати значний інтерес серед виробників харчової продукції, таких як Полтавський м'ясокомбінат (КП), який виробляє м'ясні консерви, м'ясо, сир, ковбасні вироби, напівфабрикати та рибну продукцію. Полтавський м'ясокомбінат є одним із лідерів на ринку харчової промисловості Полтавської області. Зацікавленість виробників у цьому проекті свідчить про їх готовність інвестувати кошти, що дозволить швидко окупили витрати на будівництво холодильника.

Всі рішення, прийняті в процесі проектування, повинні базуватися на економічній доцільності. Це передбачає розгляд використання передових технологій обробки та зберігання продукції, застосування індустріальних методів будівництва, стандартних будівельних конструкцій та елементів, а також забезпечення зручності та економічності обслуговування обладнання, енергоощадності та екологічної безпеки.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Основні технічні рішення були розроблені з метою забезпечення всіх вищезазначених вимог. Відповідно до державних будівельних норм та правил техніки безпеки було вирішено проектувати холодильну установку розподільчого холодильника так, щоб основне та додаткове обладнання розміщувалося в окремому приміщенні компресорного цеху.

Холодопостачання виробництва планується здійснювати за допомогою теплоносіїв. Приміщення машинного відділення буде одноповерховим, з висотою перекриття 6 метрів.

Такі рішення дозволяють забезпечити мінімальну відстань між окремими елементами холодильної установки, що відповідає вимозі скорочення довжини трубопроводів та оптимального поєднання машин, апаратів та посудин. Це, в свою чергу, знижує капітальні витрати на будівельні роботи. Приміщення машинного відділення примикатиме до основних корпусів камер зберігання та буде відділене від них протипожежною стіною. Для ефективного використання об'єму приміщень було вирішено використовувати вертикальні апарати та посудини.

Основним холодильним агентом буде аміак, який є оптимальним з точки зору екології та термодинамічних властивостей. Запропонована схема холодильної установки передбачає насосно-циркуляційний принцип з нижньою подачею холодильного агента в прилади охолодження, яка працює на трьох температурах кипіння на базі гвинтових компресорів. Використання сучасних гвинтових компресорних агрегатів з високим рівнем автоматизації дозволяє забезпечити високу ефективність роботи холодильної установки при значних коливаннях у роботі виробничих цехів

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

3. Визначення основних розмірів та планування приміщення холодильника

1. Будівельна площа камери зберігання без підвісних шляхів визначається за формулою 7.2.

$$F_{\text{буд.к.зб.}} = \frac{B_k}{q_v \cdot h_v \cdot \beta_F} \cdot M^2 \quad (1.1)$$

deq_v – норма навантаження на 1 м³ вантажного об'єму камери, $\frac{m}{m^3}$;

приймається по додатку 11

h_v – вантажна висота штабеля, м; приймається по додатку 11

β_F – коефіцієнт використання будівельної площі камери, приймається по додатку 11

а) Розрахуємо площу камери зберігання для зберігання субпродукти в ящиках:

$$F_{\text{буд.к.зб.}} = \frac{250}{0,7 \times 4 \times 0,8} = 107,1 \text{ м}^2$$

2. Приймається сітка колон: 6 x 6м.

3. Площа одного будівельного прямокутника становить $f=6 \times 12=72\text{м}^2$.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

4. Розрахункова кількість будівельних прямокутників визначається за формулою 7.6

$$n_p = \frac{F_{\text{бюд.}}}{f}, \text{ шт} \quad (1.2)$$

$$n_p = \frac{107,1}{72} = 1,5 \text{ шт}$$

5. Приймається дійсна кількість будівельних прямокутників:

$$n_d = 2 \text{ шт.}$$

6. Дійсна будівельна площа камери визначається за такою формулою

$$F_{\text{бюд.д.}} = f \times n_d \text{ м}^2 \quad (1.3)$$

$$F_{\text{бюд.д.}} = 72 \times 2 = 144 \text{ м}^2$$

7. Дійсна місткість камери визначається за такою формулою

$$B_{\text{к.д.}} = B_k \cdot \frac{n_d}{n_p}, \text{ т} \quad (1.4)$$

$$B_{\text{к.д.}} = 250 \times \frac{2}{1,5} = 333 \text{ т}$$

б) Розрахуємо площу камери зберігання для Яловичини в напівтушах:

$$F_{\text{бюд.к.зб.}} = \frac{600}{0,4 \times 3 \times 0,8} = 417 \text{ м}^2$$

8. Розрахункова кількість будівельних прямокутників визначається за формулою 7.6

$$n_p = \frac{F_{\text{бюд.}}}{f}, \text{ шт} \quad (1.2)$$

$$n_p = \frac{417}{72} = 5,8 \text{ шт}$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

9. Приймається дійсна кількість будівельних прямокутників: $n_d = 6$ шт.

10. Дійсна будівельна площа камери визначається за такою формулою

$$F_{\text{буд.д.}} = f \times n_d \text{ м}^2 \quad (1.3)$$

$$F_{\text{буд.д.}} = 72 \times 6 = 432 \text{ м}^2$$

11. Дійсна місткість камери визначається за такою формулою

$$B_{\text{к.д.}} = B_{\text{к.}} \cdot \frac{n_d}{n_p}, \text{ т} \quad (1.4)$$

$$B_{\text{к.д.}} = 600 \times \frac{6}{5,8} = 620 \text{ т}$$

в) Розрахуємо площу камери зберігання для консерви в ящиках;

$$F_{\text{буд.к.зб.}} = \frac{400}{0,65 \times 2,5 \times 0,75} = 246 \text{ м}^2$$

12 Розрахункова кількість будівельних прямокутників визначається за формулою 7.6

$$n_p = \frac{F_{\text{буд.д.}}}{f}, \text{ шт} \quad (1.2)$$

$$n_p = \frac{246}{72} = 3,4 \text{ шт}$$

13. Приймається дійсна кількість будівельних прямокутників: $n_d = 4$ шт.

14. Дійсна будівельна площа камери визначається за такою формулою

$$F_{\text{буд.д.}} = f \times n_d \text{ м}^2 \quad (1.3)$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{\text{б\ddot{y}д.д.}} = 72 \times 4 = 288 \text{ м}^2$$

15. Дійсна місткість камери визначається за формулою

$$B_{\text{к.д.}} = B_{\text{к.}} \cdot \frac{n_{\text{д}}}{n_{\text{р}}}, \text{ т} \quad (1.4)$$

$$B_{\text{к.д.}} = 400 \times \frac{4}{3,4} = 470 \text{ т}$$

Визначаємо основну площу морозильних камер:

б) яловичина в напівтушах: ($2=0,3 \text{ м} / \text{ м}^2$ - в стоечних піддонах)

$$F_{\text{м.к.2}} = \frac{10 \times 24}{0,3 \times 24} = 33 \text{ м}^2;$$

$$n = \frac{33}{72} = 0,46 \text{ (приймаємо 1 прямокутник);}$$

5) Визначаємо спільну площу основних камер зберігання:

$$F_{\text{к.зб.}} = F_{\text{к.зб.1}} + F_{\text{к.зб.2}} + F_{\text{к.зб.3}} = 107,1 + 417 + 246 = 770,1 \text{ м}^2;$$

6) Площа допоміжних приміщень:

$$F_{\text{доп.}} = 0,35 \times (F_{\text{к.зб.}} + F_{\text{м.к.}}) = 0,35 \times (770,1 + 33) = 281,1 \text{ м}^2;$$

7) Площа холодильника в контурі ізоляції:

$$F_{\text{охл.}} = F_{\text{к.зб.}} + F_{\text{м.к.}} + F_{\text{доп.}} = 770,1 + 33 + 281,1 = 1084,2 \text{ м}^2;$$

$$n = \frac{1084,2}{72} = 15,01 \text{ (приймаємо 15 прямокутників);}$$

8) Площа службових приміщень:

$$F_{\text{сл.}} = (0,2 \div 0,4) \times F_{\text{охл.}} = 0,3 \times 1084,2 = 325,3 \text{ м}^2 \text{ (приймаємо 5 прямокутників);}$$

9) Площа машинного відділення:

$$F_{\text{м.в.}} = (0,05 \div 0,35) \times F_{\text{охл.}} = 0,1 \times 1084,2 = 108,42 \text{ м}^2;$$

$$n = \frac{108,42}{72} = 1,5 \text{ (приймаємо 2 прямокутники);}$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.Вибір будівельних конструкцій та розрахунок товщини ізоляції холодильника

Проект холодильника передбачає одноповерхову будівлю, виконану за каркасною схемою з самонесучими стінами. У цій конструкції навантаження від покриття та підвісного обладнання передається на каркас, який складається зі збірних елементів (колони, балки і ферми). Самонесучі стіни спираються на фундаментні балки, які, в свою чергу, спираються на фундаменти під колони.

Фундаменти витримують все навантаження від будівельних конструкцій, вантажів та обладнання, і передають його на ґрунт. Для будівництва холодильника використовуються збірні стрічкові фундаменти, виконані з бетонних блоків, що спираються на фундаментні блоки-подушки.

В холодильнику встановлені колони з перерізом 400 x 400 мм. Розташування колон здійснюється за сіткою 6 x 6 м. Зовнішні стіни холодильника є самонесучими, з цегляною кладкою товщиною 380 мм і теплоізоляцією з внутрішнього боку. Для захисту теплоізоляції від зволоження застосовується пароізоляція.

Внутрішні стіни, що відокремлюють охолоджувані приміщення від неохолоджуваних (коридори, тамбури, вестибюлі), мають цегляну кладку товщиною 250 мм. Перегородки виконані з цегляною кладкою товщиною 120 мм. Теплоізоляція перегородок між камерами з різними температурами розташована з боку холоднішої камери.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

На холодильнику використовується суцільне бездахове покриття, яке складається з несучих плит, що спираються на балки. Необхідний нахил покриття становить 1,5-2%. Покриття пофарбоване у світлий колір.

Підлога холодильника повинна бути достатньо міцною, щоб витримувати навантаження від вантажів і транспортних засобів, а також бути гігієнічною та безпечною для руху людей і транспорту. Тому покриття підлоги виконується монолітним, з товщиною 40-50 мм, з бетону. Для захисту ґрунту від промерзання під підлогою передбачена підшва з електронагрівачами.

Для забезпечення безперешкодного завантаження та розвантаження камер холодильника, а також вільного переміщення транспортних засобів, у камерах встановлені відкочувальні двері з теплоізоляцією товщиною 150 мм. Металева обшивка дверей захищає їх від механічних пошкоджень і водночас служить пароізоляцією.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 5.1. Зовнішня стіна

Назва і матеріал шару	δ_i , м	λ_i , Вт/(м·К)	δ_i/λ_i , м ² ·К/Вт
1. Штукатурка складним розчином по металевій сітці	0,020	0,98	0,020
2. Теплоізоляція із пінополістиролу Стиродур С		0,031	
3. Пароізоляція – 2 шари гідроізола на бітумній мастиці	0,004	0,30	0,013
4. Штукатурка цементно-піскова	0,020	0,93	0,022
5. Цегляна кладка на цементному розчині	0,380	0,81	0,469
6. Штукатурка складним розчином	0,020	0,93	0,022
			$\Sigma(\delta_i/\lambda_i)=0,546$

Таблиця 5.2. Внутрішня стіна

Назва і матеріал шару	δ_i , м	λ_i , Вт/(м·К)	δ_i/λ_i , м ² ·К/Вт
1. Штукатурка складним розчином по металевій сітці	0,020	0,98	0,020
2. Теплоізоляція із пінополістиролу Стиродур С		0,031	
3. Пароізоляція – 2 шари гідроізола на бітумній мастиці	0,004	0,30	0,013
4. Штукатурка цементно-піскова	0,020	0,98	0,020
5. Цегляна кладка на цементному розчині	0,250	0,81	0,309
6. Штукатурка складним розчином	0,020	0,98	0,020
			$\Sigma(\delta_i/\lambda_i)=0,383$

Таблиця 5.5. Покриття

Назва і матеріал шару	δ_i , м	λ_i , Вт/(м·К)	δ_i/λ_i , м ² ·К/Вт
1. 5 шарів гідроізолю на бітумній мастиці	0,012	0,30	0,040
2. Цементно-піщаний розчин на металевій стінці	0,040	0,186	0,022
3. Пароізоляція – 1 шар пергаміна	0,001	0,15	-
4. Теплоізоляція із пінополістиролу Стиродур С		0,031	
5. Залізобетонна плита покриття	0,035	2,04	0,017
$\Sigma(\delta_i/\lambda_i)=0,079$			

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1 Розрахункова товщина ізоляційного шару огороження визначається за формулою 2.11

$$\delta_{із.р.} = \lambda_{із.} \cdot \left[\frac{1}{K_0} - \left(\frac{1}{\alpha_{зн}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right) \right], \text{ м} \quad (3.1)$$

де $\lambda_{із.}$, $\lambda_{вн}$ – коефіцієнти теплопровідності ізоляційного і будівельних матеріалів, які складають конструкцію огороження, $\frac{Вт}{м \cdot К}$; приймаються по таблиці 8.5

K_0 – потрібний коефіцієнт теплопередачі огороження, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$; приймається по таблицях 8.2, 8.3 і 8.4

$\alpha_{зн}$ – коефіцієнт тепловіддачі з зовнішньої, або більш теплої сторони огороження, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$; приймається по таблиці 8.1

$\alpha_{вн}$ – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої, або більш холодної сторони огороження, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$; приймається по таблиці 8.1

δ_i – товщина окремих шарів конструкції огороження, м.

1.2 Розрахункова товщина ізоляційного шару огороження зовнішньої стінки холодного контуру:

$$\delta_{із.р.} = 0,031 \cdot \left[\frac{1}{0,19} - \left(\frac{1}{23} + 0,546 + \frac{1}{11} \right) \right] = 0,1421 \text{ м}$$

2. Приймається дійсна товщина ізоляційного шару: $\delta_{із.д.}$.

3. Дійсний коефіцієнт теплопередачі огороження визначається за формулою 2.12

$$K_0^{\partial} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_{зн}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right) + \frac{\delta_{із.д.}}{\lambda_{із.}}}, \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \quad (3.2)$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1 Дійсний коефіцієнт теплопередачі огороження зовнішньої стінки холодної контори:

$$K_0^{\partial} = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + 0,546 + \frac{1}{11}\right) + \frac{0,15}{0,031}} = 0,18 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Всі розрахунки заносяться в таблицю 4.6.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Таблиця 4.6 Розрахунок теплоізоляції

Назва огороження	$T_{\text{ср}}$ °C	K_0 Вт/(м ² ·К)	$\alpha_{\text{вн}}$ Вт/(м ² ·К)	$\alpha_{\text{вн}}$ Вт/(м ² ·К)	$\Sigma(\delta/\lambda_i)$ (м ² ·К)/Вт	$\dot{q}_{\text{вн}}$ Вт/(м ² ·К)	$\dot{q}_{\text{вн}}$ Вт/м	$\dot{q}_{\text{вн}}$ Вт/м	$K_0^{\text{д}}$ Вт/(м ² ·К)
Зовнішня стінка ХК	-30	0.19	23	11	0.546	0.031	0.142	0.15	0.18
Зовнішня стінка ХК	-20	0.22	23	9	0.546	0.031	0.119	0.12	0.22
Зовнішня стінка ТК	0	0.37	23	9	0.546	0.031	0.062	0.07	0.34
Зовнішня стінка ТК	12	0.52	23	8	0.546	0.031	0.038	0.04	0.50
Внутрішня стінка ХК	-30	0.27	6	11	0.383	0.031	0.095	0.1	0.26
Внутрішня стінка ХК	-20	0.28	6	9	0.383	0.031	0.090	0.1	0.26
Внутрішня стінка ТК	0	0.47	6	9	0.383	0.031	0.064	0.1	0.26
Внутрішня стінка ТК	12	0.64	6	8	0.383	0.031	0.028	0.03	0.61
Покриття ХК	-30	0.17	23	11	0.079	0.031	0.176	0.2	0.15
Покриття ХК	-20	0.2	23	9	0.079	0.031	0.148	0.2	0.15
Покриття ТК	0	0.29	23	9	0.079	0.031	0.099	0.1	0.29
Покриття ТК	12	0.47	23	8	0.079	0.031	0.058	0.06	0.46
Підлога ХК	-30	0.21		11	2.396	0.031	0.071	0.08	0.20
Підлога ХК	-20	0.21		9	2.396	0.031	0.07	0.07	0.21
Підлога ТК	0	0.41		9	2.396	0.031			0.41
Перегородка з однієї сторони		0.58	9	9	0.223	0.031	0.039	0.04	0.58
Перегородка	0/-30	0.39	9	11	0.223	0.031	0.066	0.1	0.27
Перегородка	0/-20	0.26	9	11	0.223	0.031	0.106	0.1	0.27
Перегородка	-20/-30	0.5	11	9	0.223	0.031	0.49	0.05	0.49
Перегородка	0/12	0.47	9	8	0.223	0.031	0.052	0.06	0.42

КР000.142.008.012.2024РПЗ

Арк.

24

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

5. Розрахунок теплонадходжень до охолоджуючих приміщень.

Загальна кількість теплоти, що надходить в охолоджуване приміщення холодильника:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \text{Вт},$$

де надходження теплоти через огорожувальні будівельні конструкції, від продуктів під час холодильного оброблення, від вентиляції приміщень, пов'язаної з експлуатацією камери, а також теплота, що виділяється продуктами під час зберігання.

1) Теплонадходження через загороджуючі конструкції.

$$Q_1 = Q_{1m} + Q_{1c}, \text{Вт};$$

де Q_{1m}, Q_{1c} - надходження теплоти відповідно через стіни, простінки, перекриття, покрівлю, через підлогу, від сонячної радіації, Вт.

$$Q_{1m} = K_{\delta} \times F \times \theta \times 10^{-3} = K_{\delta} \times F \times (t_{\text{зов.}} - t_{\text{вн.}}) \times 10^{-3}, \text{Вт};$$

Камера №2. Визначення надходження теплоти через зовнішні стіни в камері зберігання субпродуктів в ящиках.

Стіна зовнішня східна.

$$t_{\text{к.зб.}} = -20^{\circ}\text{C};$$

$$K_{\delta} = 0,19 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}};$$

$$t_{\text{зов.}} = 33^{\circ}\text{C};$$

$$F = 12 \times 5,188 = 62,3 \text{ м}^2;$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$Q_{1m} = 0,19 \times 62,3 \times (33 - (-20)) \times 10^{-3} = 0,63, \text{ KВт};$$

Теплонадходження від сонячної радіації:

$$Q_{1c} = K_{\partial} \times F \times \Delta t_c \times 10^{-3}, \text{ Kвт};$$

Стіна залізобетонна:

$$\Delta t_c = 6^{\circ}\text{C} \text{ (табл. 9.1., Явнель).}$$

$$K_{\partial} = 0,19 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}};$$

$$Q_{1c} = 0,19 \times 62,3 \times 6 \times 10^{-3} = 0,07, \text{ Kвт};$$

$$Q_1 = Q_{1m} + Q_{1c} = 0,63 + 0,07 = 0,7 \text{ KВт};$$

$$\theta = 0,7 \times (t_{\text{зов.}} - t_{\text{вн.}}) = 0,7 \times (33 - (-20)) = 37,1^{\circ}\text{C};$$

Для всіх інших камер розрахунки робимо так само і результати заносимо до табл. 3.1.

2) Теплонадходження від вантажів при холодильній обробці.

Камера зберігання яловичини.

$$t_{\text{к.зб.}} = -20^{\circ}\text{C};$$

Температура яловичини, яка поступає в камеру зберігання №1 з камери заморожування №4: $t = -15^{\circ}\text{C}$. Вантаж поступає в стоечних металевих піддонах.

Теплонадходження при охолодженні і доморожуванні продуктів в камерах зберігання:

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$Q_{2np} = M_{np} \times \Delta i \times \frac{10^3}{24 \times 3600};$$

де M_{np} - добове надходження продуктів, т/добу;

Δi - різниця питомих ентальпій продуктів, КДж/кг;

$$M_{np} = 4 \text{ т / добу};$$

$$M_m = 0,2 \times M_{np} = 0,2 \times 4 = 0,8 \text{ т / добу};$$

$$M_{np} = 4 + 0,8 = 4,8 \text{ т / добу};$$

$$t_1 = -15^\circ\text{C}; \quad t_2 = -20^\circ\text{C};$$

$$i_1 = 13 \text{ КДж / кг}; \quad i_2 = 0 \text{ КДж / кг}; (\text{додаток 10, Явнель})$$

$$\Delta i = 13 \text{ КДж / кг};$$

$$Q_{2np} = 4,8 \times 13 \times \frac{10^3}{24 \times 3600} = 0,72 \text{ кВт};$$

Теплонадходження від тари Q_{2m} , кВт :

$$Q_{2m} = M_m \times c_m \times (t_1 - t_2) \times \frac{10^3}{24 \times 3600}, \text{ кВт};$$

де M_m - добове надходження тари т/добу;

c_m - питома теплоємність тари, КДж/кг*К;

t_1 і t_2 - початкова і кінцева температура тари(приймаються рівними початковій і кінцевій температурі продукта), °С;

$$M_m = 0,2 \times M_{np} = 0,2 \times 4 = 0,8 \text{ т / добу};$$

$$c_m = 0,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}};$$

$$Q_{2m} = 0,8 \times 0,5 \times (-15 - (-20)) \times \frac{10^3}{24 \times 3600} = 0,02 \text{ кВт};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$Q_2 = 0,72 + 0,02 = 0,74 \text{кВт};$$

Камера дефектних вантажів.

1. Субпродукти.

$$t_1 = +5^\circ\text{C}; \quad t_2 = 0^\circ\text{C};$$

Кількість дефектного вантажу приймемо $3\% \times M_\lambda = M_{np}$;

$$M_{np} = 0,03 \times 6 = 0,18 \text{т / добу};$$

Теплонадходження при охолодженні і доморожуванні продуктів в камерах зберігання:

$$Q_{2np} = M_{np} \times \Delta i \times \frac{10^3}{24 \times 3600};$$

$$M_{np} = 0,18 \text{т / добу};$$

$$M_m = 0,2 \times M_{np} = 0,2 \times 0,18 = 0,04 \text{т / добу};$$

$$M_{np} = 0,18 + 0,04 = 0,22 \text{т / добу};$$

$$i_1 = 107 \text{КДж / кг}; \quad i_2 = 95 \text{КДж / кг};$$

$$\Delta i = 12 \text{КДж / кг};$$

$$Q_{2np} = 0,22 \times 12 \times \frac{10^3}{24 \times 3600} = 0,03 \text{кВт};$$

Теплонадходження від тари Q_{2m} , кВт :

$$Q_{2m} = M_m \times c_m \times (t_1 - t_2) \times \frac{10^3}{24 \times 3600}, \text{кВт};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Теплонадходження від тари $Q_{2m}, \text{кВт}$:

$$Q_{2m} = M_m \times c_m \times (t_1 - t_2) \times \frac{10^3}{24 \times 3600}, \text{кВт};$$

$$M_m = 0,2 \times M_{np} = 0,2 \times 0,18 = 0,04 \text{ т / добу};$$

$$c_m = 2,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}};$$

$$Q_{2m} = 0,04 \times 2,3 \times (5 - 0) \times \frac{10^3}{24 \times 3600} = 0,0053, \text{кВт};$$

$$Q_2 = 0,03 + 0,0053 = 0,035 \text{кВт};$$

2. Яловичина.

$$t_1 = +5^\circ\text{C}; \quad t_2 = 0^\circ\text{C};$$

Кількість дефектного вантажу прийmemo $1\% \times M_\lambda = M_{np}$;

$$M_{np} = 0,01 \times 10 = 0,1 \text{ т / добу};$$

Теплонадходження при охолодженні і доморожуванні продуктів в камерах зберігання:

$$Q_{2np} = M_{np} \times \Delta i \times \frac{10^3}{24 \times 3600};$$

$$M_m = 0,2 \times M_{np} = 0,2 \times 0,1 = 0,02 \text{ т / добу};$$

$$M_{np} = 0,1 + 0,02 = 0,12 \text{ т / добу};$$

$$i_1 = 246 \text{кДж / кг}; \quad i_2 = 232 \text{кДж / кг}; \quad (\text{додаток 10, Явнель})$$

$$\Delta i = 14 \text{кДж / кг};$$

$$Q_{2np} = 0,12 \times 14 \times \frac{10^3}{24 \times 3600} = 0,019 \text{кВт};$$

Теплонадходження від тари $Q_{2m}, \text{кВт}$:

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{2m} = M_m \times c_m \times (t_1 - t_2) \times \frac{10^3}{24 \times 3600}, \text{кВт};$$

$$M_m = 0,2 \times M_{np} = 0,2 \times 0,1 = 0,02 \text{ т / добу};$$

$$c_m = 0,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}};$$

$$Q_{2m} = 0,02 \times 0,5 \times (5 - 0) \times \frac{10^3}{24 \times 3600} = 0,0006, \text{кВт};$$

$$Q_2 = 0,019 \text{ кВт};$$

6.3. Консерви.

$$t_1 = +20^\circ\text{C}; \quad t_2 = 0^\circ\text{C};$$

Кількість дефектного вантажу прийmemo $1\% \times M_\lambda = M_{np}$;

$$M_{np} = 0,01 \times 10 = 0,1 \text{ т / добу};$$

Теплонадходження при охолодженні і заморожуванні продуктів в камерах зберігання:

$$Q_{2np} = M_{np} \times \Delta i \times \frac{10^3}{24 \times 3600};$$

$$M_m = 0,2 \times M_{np} = 0,2 \times 0,1 = 0,02 \text{ т / добу};$$

$$M_{np} = 0,1 + 0,02 = 0,12 \text{ т / добу};$$

$$i_1 = 331 \text{ кДж / кг}; \quad i_2 = 261 \text{ кДж / кг}; \quad (\text{додаток 10, Явнель})$$

$$\Delta i = 70 \text{ кДж / кг};$$

$$Q_{2np} = 0,12 \times 70 \times \frac{10^3}{24 \times 3600} = 0,097 \text{ кВт};$$

Теплонадходження від тари Q_{2m} , кВт :

$$Q_{2m} = M_m \times c_m \times (t_1 - t_2) \times \frac{10^3}{24 \times 3600}, \text{кВт};$$

$$M_m = 0,2 \times M_{np} = 0,2 \times 0,1 = 0,02 \text{ т / добу};$$

$$c_m = 2,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}};$$

$$Q_{2m} = 0,02 \times 2,3 \times (20 - 0) \times \frac{10^3}{24 \times 3600} = 0,01, \text{кВт};$$

$$Q_2 = 0,107 \text{ кВт};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для дефектних вантажів: $\sum Q_2 = 0,16 \text{ кВт}$;

Камера заморожування яловичини.

$$t_{\text{вн}} = -35^\circ\text{C};$$

$$Q_{2\text{np}} = 1,3 \times M_{\text{np}} \times \Delta i \times \frac{10^3}{24 \times 3600};$$

$$M_m = 0,2 \times M_{\text{np}} = 0,2 \times 10 = 2 \text{ т / добу};$$

$$M_{\text{np}} = 2 + 10 = 12 \text{ т / добу};$$

$$t_1 = +5^\circ\text{C}; \quad t_2 = -15^\circ\text{C};$$

$$i_1 = 246 \text{ кДж / кг}; \quad i_2 = 13 \text{ кДж / кг}; \text{ (додаток 10, Явнель)}$$

$$\Delta i = 233 \text{ кДж / кг};$$

$$Q_{2\text{np}} = 1,3 \times 12 \times 233 \times \frac{10^3}{24 \times 3600} = 42 \text{ кВт};$$

Теплонадходження від тари $Q_{2\text{m}}$, кВт :

$$Q_{2\text{m}} = 1,3 \times M_m \times c_m \times (t_1 - t_2) \times \frac{10^3}{24 \times 3600}, \text{ кВт};$$

$$M_m = 0,2 \times M_{\text{np}} = 0,2 \times 10 = 2 \text{ т / добу};$$

$$c_m = 0,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}};$$

$$Q_{2\text{m}} = 1,3 \times 2 \times 0,5 \times (5 + 15) \times \frac{10^3}{24 \times 3600} = 0,22, \text{ кВт};$$

$$Q_2 = 42 + 0,22 = 42,2 \text{ кВт};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Камера №5 (експедиція).

$$t_{en} = 0^{\circ}\text{C};$$

$$Q_2 = 0\text{кВт};$$

3. Теплонадходження при вентиляції приміщення.

Це теплонадходження враховується лише для спеціалізованих холодильників для зберігання овочів і фруктів.

4. Експлуатаційні теплонадходження.

$$Q_4 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4, \text{кВт};$$

де q_1, q_2, q_3, q_4 – надходження теплоти відповідно від освітлення, перебування людей, працюючих електродвигунів та відчинення дверей.

Теплонадходження від освітлення:

$$q_1 = A \times F \times 10^{-3}, \text{кВт}$$

де A – теплота, яка виділяється джерелами освітлення за одиницю часу на 1 м^2 площі пола, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

F – площа камери, м^2 .

Теплонадходження від перебування людей:

$$q_2 = 0,35 \times n, \text{кВт}$$

де 0,35 – тепловиділення однієї людини, кВт;

n – число людей, які працюють в даному приміщенні.

Теплонадходження від працюючих електродвигунів:

$$q_3 = \eta_e \times N_{ел.дв.}, \text{кВт}$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Теплонадходження при відкриванні дверей:

$$q_4 = K \times F \times 10^{-3},$$

де K – питоме надходження теплоти від відкривання дверей, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

F – площа камери, м^2 .

Камера №1а.

Теплонадходження від освітлення:

$$q_1 = A \times F \times 10^{-3}, \text{кВт}$$

$$F=144 \text{ м}^2;$$

$$A=2,3 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q_1 = 2,3 \times 144 \times 10^{-3} = 0,33 \text{ кВт};$$

Теплонадходження від перебування людей:

$$q_2 = 0,35 \times n, \text{кВт}$$

$$n=2 \text{ чоловіки};$$

$$q_2 = 0,35 \times 2 = 0,7 \text{ кВт};$$

Теплонадходження від працюючих електродвигунів:

$$q_3 = \eta_e \times N_{\text{ел.дв.}}, \text{кВт}$$

$$q_3 = 0,8 \times 4 = 3,2, \text{кВт}$$

Теплонадходження при відкриванні дверей:

$$q_4 = K \times F \times 10^{-3},$$

$$K=10 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ (табл.9.2., Явнель)}$$

$$F=1448 \text{ м}^2;$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$q_4 = 10 \times 144 \times 10^{-3} = 1,4, \text{кВт};$$

$$Q_4 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = 0,33 + 0,7 + 3,2 + 1,4 = 5,63, \text{кВт};$$

Q_5 для всіх камер дорівнює нулю, оскільки це теплонадходження від продуктів, що дихають (фрукти, овочі тощо).

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

6. Визначення навантаження на обладнання камер та вибір компресорів.

1. Навантаження на компресор, що працює при температурі кипіння

$$t_0 = -10^\circ\text{C} :$$

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{-10} &= \Sigma Q_{10\text{б}} + 0,6 \times \Sigma Q_{20\text{б}} + 0,7 \times \Sigma Q_{40\text{б}} = \\ &= (0,84 + 0,99 + 1,92 + 1,07) + 0,6 \times (6,77 + 2,89 + 0,16) + 0,7 \times (4,97 + 4,78 + 6,4 + 4,78) = 25,4 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

Холодопродуктивність компресора:

$$Q_0 = \frac{k \times \Sigma Q_{-10}}{b};$$

де k – коефіцієнт, що враховує втрати в трубопроводах та апаратах холодоильної установки; $k=1,07$;

b – коефіцієнт робочого часу; $b=0,7$;

$$Q_0 = \frac{1,07 \times 25,4}{0,7} = 38,8 \text{ кВт};$$

2 Навантаження на компресор, що працює при температурі кипіння

$$t_0 = -30^\circ\text{C} :$$

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{-30} &= \Sigma Q_{10\text{б}} + 0,6 \times \Sigma Q_{20\text{б}} + 0,7 \times \Sigma Q_{40\text{б}} = \\ &= (3,8 + 3,17 + 3,17 + 4,1 + 3,47 + 3,27) + 0,6 \times (0,74 + 0,56 + 0,56 + 0,33 + 0,33 + 0,33) + 0,7 \times \\ &\times (6 \times 5,63) = 46,3 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Холодопродуктивність компресора:

$$Q_0 = \frac{k \times \sum Q_{-30}}{b};$$

де k – коефіцієнт, що враховує втрати в трубопроводах та апаратах холодильної установки; $k=1,07$;

b – коефіцієнт робочого часу; $b=0,7$;

$$Q_0 = \frac{1,07 \times 46,3}{0,7} = 70,8 \text{кВт};$$

3. Навантаження на компресор, що працює при температурі кипіння

$t_0 = -45^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} \sum Q_{-45} &= \sum Q_{10\text{об}} + \sum Q_{20\text{об}} + 0,7 \times \sum Q_{40\text{об}} = \\ &= (1,56 + 1,71) + (42,2 + 11,33) + 0,7 \times (9,77 + 9,77) = 70,5 \text{кВт}; \end{aligned}$$

Холодопродуктивність компресора:

$$Q_0 = \frac{k \times \sum Q_{-45}}{b};$$

де k – коефіцієнт, що враховує втрати в трубопроводах та апаратах холодильної установки; $k=1,07$;

b – коефіцієнт робочого часу; $b=0,7$;

$$Q_0 = \frac{1,07 \times 70,5}{0,7} = 107,8 \text{кВт};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

7. Вибір та обґрунтування системи і способу охолодження

У даному дипломному проекті застосовується насосно-циркуляційна схема подачі холодоагенту. Головною перевагою цієї схеми є те, що при охолодженні 5-6 камер та більше (тобто при значній кількості паралельних гілок живлення випарників) потрібно велика кількість регуляторів заповнення (наприклад, ТРВ), що не лише збільшує вартість установки, але й знижує її надійність. Крім того, велика кількість паралельних гілок створює труднощі в розподілі та дозуванні холодоагенту по приладам. Тому при кількості камер 5 і більше, а також для живлення холодоагентом морозильних апаратів зазвичай надають перевагу насосно-циркуляційним схемам.

На цьому розподільчому холодильнику використовується двоступенева холодильна установка з трьома температурами кипіння. У схемі передбачено встановлення двох циркуляційних ресиверів та одного компаундного для температур кипіння $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, кожен з яких має свою групу циркуляційних насосів. Тиск у ресиверах підтримується компресорами ступенів низького та високого тисків відповідно до заданих температур кипіння. Оскільки капітальні та експлуатаційні витрати зростають зі збільшенням об'ємної продуктивності компресорів, дотримуються наступного правила: якщо сумарна теоретична об'ємна продуктивність компресорів обох ступенів у двоступеневій установці менша за об'ємну продуктивність компресора в одноступеневій установці, доцільно переходити на двоступеневе стискування.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У схемі з трьома температурами кипіння використання установки з фіксованим проміжним тиском у порівнянні з трьома окремими системами (двома двоступеневими для $t_0 = -30$ та $t_0 = -40$ °С і однією одноступеневою для $t_0 = -10$ °С) дозволяє зменшити кількість проміжних посудин на одну і кількість компресорів СВТ на два, що значно спрощує та здешевлює установку. Перехід до схеми з трьома температурами кипіння та фіксованим проміжним тиском призводить до неоднаковості тисків у ступенях. Однак відхилення фактичних значень тисків від оптимальних знижує ефективність роботи установки лише на 3-4 %, що компенсується зменшенням початкових витрат на обладнання та необхідної площі машинного залу.

Ця насосно-циркуляційна схема передбачає нижню подачу холодоагенту в батареї. Рівномірна подача рідини в нижні труби забезпечується за допомогою запірних і регулюючих вентилів та розподільчих приладів. Рідкий холодильний агент з циркуляційного ресивера подається насосом у батареї, а надлишкова рідина разом із паром повертається в циркуляційний ресивер. Звідти пара відсмоктується компресором, а рідина знову подається в батареї. Рівень рідини в ресивері контролюється реле рівня, яке керує соленоїдним вентиляем на рідинному трубопроводі. Задана температура повітря в камерах підтримується спільною роботою реле температури та соленоїдного вентиля. Перед відтайкою снігової шуби рідкий аміак зливається в дренажний ресивер, а в батареї подається гаряча пара з нагнітальної сторони компресора.

На цьому розподільчому холодильнику використовується аміачна система безпосереднього охолодження. Недоліками таких систем є велика кількість аміаку в трубах і апаратах, значна кількість з'єднань, а також пожежо- та вибухонебезпечність. При використанні проміжного холодоносія необхідно знижувати температуру кипіння на 5 °С, що збільшує витрати електроенергії приблизно на 15 %.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Вибір розрахункового робочого режиму та тепловий розрахунок холодильної машини. Вибір компресорів.

Розрахунковий (робочий) режим холодильної установки визначається температурами кипіння, конденсації та всмоктування (пари на вході в компресор). Значення цих параметрів обираються залежно від призначення холодильної установки та розрахункових зовнішніх умов. Температура кипіння холодоагенту встановлюється на 10°C нижче, ніж температура у камерах охолодження.

Температура конденсації залежить від температури і кількості подаваної води. Температуру конденсації для установок з водяним охолодженням конденсатора приймають на $(2 \div 4)^{\circ}\text{C}$ вище температури води, що виходить з конденсатора:

$$t_k = t_{w2} + (2 \div 4)^{\circ}\text{C} = t_{w1} + \Delta t_w + (2 \div 4)^{\circ}\text{C}. \quad (9.1)$$

При оборотній системі водопостачання температуру воду t_{w2} та t_{w1} визначають розрахунковими параметрами навколишнього середовища та величиною коефіцієнта ефективності холодильника оборотної води:

$$\eta = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{t_{w2} - t_{mm}}, \quad (9.2)$$

де коефіцієнт ефективності охолодника залежить від його типу і може бути визначений за такими даними: для вентиляторної градирні $\eta = (0,75 \div 0,85)$, прийmemo $\eta = 0,8$.

$$\Delta t_w = t_{w2} - t_{w1} = 5^{\circ}\text{C};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Для м. Полтава температура мокрого термометра при $t_c = 33^\circ\text{C}$; $\varphi = 41\%$,

$$t_{m.m.} = 24,8^\circ\text{C}.$$

З формули (9.2) визначаємо, що

$$t_{w2} = \frac{\Delta t_w}{\eta} + t_{m.m.} = \frac{5}{0,8} + 24,8 = 31^\circ\text{C};$$

За формулою (9.1) визначаємо:

$$t_k = t_{w2} + (2 \div 4) = 31 + 3 = 34^\circ\text{C}.$$

Величина перегрівня пари холодильного агента:

$$t_{sc} - t_0 = (5 \div 10)^\circ\text{C}.$$

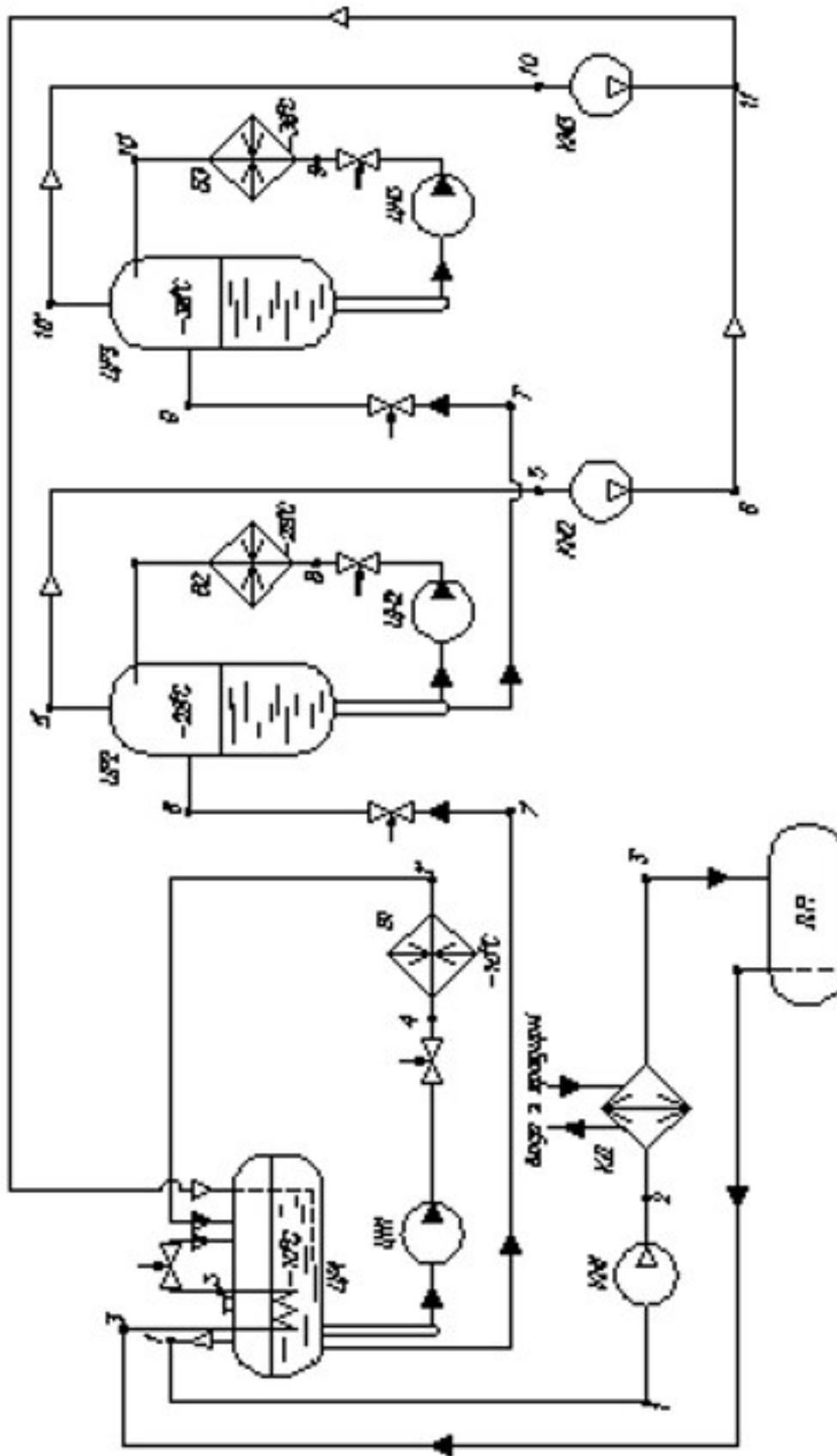
Будуємо цикл в $\lg P - i$ діаграмі для R717. Значення параметрів х.а. у вузлових точках циклу заносимо до табл. 9.1.

Схема холодильної установки зображена на рис. 9.1.

Табл. 9.1.

№ точки	$t, ^\circ\text{C}$	P, Mpa	$v, \text{M}^3/\text{кг}$	$i, \text{кДж/кг}$
1''	-10	0,29	0,46	1450
1	-5	0,26	0,47	1465
2	120	1,3	0,125	1700
2''	34	1,3	0,078	1480
3'	34	1,3	-	350
4	-10	0,26	-	200
5''	-30	0,11	1	1410
5	-20	0,11	1,09	1450
6	59	0,26	0,56	1550
8	-30	0,11	-	100
9	-45	0,055	-	20
10''	-45	0,055	2,2	1400
10	-35	0,055	2,23	1410
11	83	0,26	0,62	1680

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КР000.142.008.012.2024РПЗ

Арк.

41

Масова витрата циркулюючого холодильного агенту, який треба відводити від циркуляційних ресиверів:

$$M_{(-45)} = Q_{0m(-45)} / (i_{10^r} - i_9) \times (1 - X_{9'}) = \frac{107,8}{(1400 - 20) \times (1 - 0,061)} = 0,09 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$M_{(-30)} = Q_{0m(-30)} / (i_{5^r} - i_8) \times (1 - X_{8'}) = \frac{70,8}{(1410 - 100) \times (1 - 0,07)} = 0,055 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$M_{(-10)} = Q_{0m(-10)} / (i_{1^r} - i_4) \times (1 - X_{4'}) = \frac{38,8}{(1450 - 200) \times (1 - 0,147)} = 0,035 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Сумарна масова витрата х.а. в КМ1:

$$\begin{aligned} M_{\text{км1}} &= M_{(-10)} + M_{(-30)} \times \frac{(i_6 - i_4)}{(i_{1^r} - i_4)} + M_{(-45)} \times \frac{(i_{11} - i_4)}{(i_{1^r} - i_4)} = \\ &= 0,035 + 0,055 \times \frac{(1550 - 200)}{(1450 - 350)} + 0,09 \times \frac{(1680 - 200)}{(1450 - 350)} = 0,23 \frac{\text{кг}}{\text{с}}; \end{aligned}$$

Для визначення потрібної об'ємної продуктивності компресора знайдемо коефіцієнти подачі λ . $\lambda = \lambda_i \times \lambda_w$.

Індикаторний об'ємний коефіцієнт подачі.

Для КМ1.

$$\lambda_{i1} = \frac{P_{np} - \Delta P_{ec}}{P_{np}} - c \times \left[\left(\frac{P_k + \Delta P_n}{P_{np}} \right)^{1/n} - \frac{(P_{np} - \Delta P_{ec})}{P_{np}} \right];$$

$c=0,05$ – відносний мертвий простір;

$n=1$ – показник політропи;

$\Delta P_{ec} = 10 \text{кПа}$ - депресія на всмоктуванні;

$\Delta P_{наг} = 10 \text{кПа}$ - депресія на нагнітанні;

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{np} = 260 \text{кПа};$$

$$P_{\kappa} = 1300 \text{кПа};$$

$$\lambda_{i1} = \frac{260 - 10}{260} - 0,05 \times \left[\left(\frac{1300 + 10}{260} \right) - \frac{(260 - 10)}{260} \right] = 0,76;$$

$$\lambda_{w'} = \frac{T_{np}}{T_{\kappa}} = \frac{(273 + (-10))}{273 + 34} = 0,86;$$

$$\lambda_1 = 0,76 \times 0,86 = 0,65;$$

Для КМ3.

$$\lambda_{i3} = \frac{P_0 - \Delta P_{\text{вс}}}{P_0} - c \times \left[\left(\frac{P_{np} - \Delta P_{\text{наг}}}{P_0} \right)^{1/n} - \frac{(P_0 - \Delta P_{\text{вс}})}{P_0} \right];$$

$c=0,05$ – відносний мертвий простір;

$n=1$ – показник політропи;

$\Delta P_{\text{вс}} = 10 \text{кПа}$ - депресія на всмоктуванні;

$\Delta P_{\text{наг}} = 10 \text{кПа}$ - депресія на нагнітанні;

$$P_{np} = 260 \text{кПа};$$

$$\lambda_{i1} = \frac{55 - 10}{55} - 0,05 \times \left[\left(\frac{260 - 10}{55} \right) - \frac{55 - 10}{55} \right] = 0,63;$$

$$\lambda_{w'} = \frac{T_0}{T_{np}} = \frac{(273 + (-45))}{273 + (-10)} = 0,87;$$

$$\lambda_3 = \lambda_{i3} \times \lambda_{w'3} = 0,65 \times 0,87 = 0,57;$$

Для КМ2.

$$\lambda_{i2} = \frac{P_0 - \Delta P_{\text{вс}}}{P_0} - c \times \left[\left(\frac{P_{np} + \Delta P_{\text{наг}}}{P_0} \right)^{1/n} - \frac{(P_0 - \Delta P_{\text{вс}})}{P_0} \right];$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$c=0,05$ – відносний мертвий простір;

$n=1$ – показник політропи;

$\Delta P_{\text{вс}} = 10 \text{кПа}$ - депресія на всмоктуванні;

$\Delta P_{\text{наг}} = 10 \text{кПа}$ - депресія на нагнітанні;

$P_{\text{np}} = 260 \text{кПа}$;

$$\lambda_{i1} = \frac{110 - 10}{110} - 0,05 \times \left[\left(\frac{260 + 10}{110} \right) - \frac{110 - 10}{110} \right] = 0,85;$$

$$\lambda_{w'2} = \frac{T_0}{T_{\text{np}}} = \frac{273 + (-30)}{273 + (-10)} = 0,92;$$

$$\lambda_2 = \lambda_{i2} \times \lambda_{w'2} = 0,85 \times 0,92 = 0,8;$$

Розрахунок компресора КМ1.

1) Дійсний об'єм всмоктування:

$$V_d = M_{(-10)} \times v_1 = 0,19 \times 0,47 = 0,089 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

2) $\lambda = 0,65$;

3) Об'єм, що описується поршнем:

$$V_h = \frac{V_d}{\lambda} = \frac{0,089}{0,65} = 0,12 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

4) Адіабатна потужність:

$$N_A = M_{(-10)} \times (i_2 - i_1) = 0,19 \times (1925 - 1700) = 42,8 \text{кВт};$$

5) Індикаторний ККД:

$$\eta_i = \lambda_{w'1} + b \times t_{\text{np}};$$

$$b=0,0025;$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_i = 0,86 + 0,0025 \times (-10) = 0,84;$$

6) Індикаторна потужність:

$$N_i = \frac{N_A}{\eta_i} = \frac{42,8}{0,84} = 50,95 \text{кВт};$$

7) Потужність тертя:

$$N_{mp} = V_h \times P_{mp} = 0,12 \times 59 = 7,08 \text{кВт};$$

8) Ефективна потужність:

$$N_e = N_i + N_{mp} = 50,95 + 7,08 = 58,03 \text{кВт};$$

9) Потужність двигуна:

$$N_{ов} = \frac{N_e}{\eta_{ел}} = \frac{58,03}{0,9} = 64,5 \text{кВт};$$

Для заданого холодильного агента за отриманими значеннями теоретичної подачі (V_m), електричної та ефективної потужності вибираємо компресор, об'ємна подача яких $V_{км}$ на 20 ÷ 40 % більша за необхідну, що забезпечує роботу компресора з коефіцієнтом робочого часу $b = 0,8 \div 0,6$.

Вибираємо два компресори АУУ90 ("Холодильная техника», Кочетков, Табл.7) – сумарною об'ємною подачею

$$\sum V_m = 2 \times 243 = 486 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 0,135 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

10) Дійсна масова витрата:

$$\sum M_{(-10)} = \lambda \times \sum V_{км(-10)} / v_1 = 0,65 \times 0,135 / 0,47 = 0,19 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

11) Сумарна теоретична потужність:

$$\sum N_{m(-10)} = \sum M_{(-10)} \times (i_2 - i_1) = 0,19 \times (1925 - 1700) = 42,8 \text{кВт};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12) Індикаторна потужність компресора:

$$\sum N_{i(-10)} = \sum N_{m(-10)} / \eta_i = 42,8 / 0,84 = 50,95 \text{ кВт};$$

13) Потужність тертя:

$$\sum N_{mp} = \sum V_h \times P_{mp} = 0,135 \times 59 = 7,97 \text{ кВт};$$

14) Ефективна потужність:

$$N_e = N_i + N_{mp} = 50,95 + 7,97 = 58,92 \text{ кВт};$$

15) Електрична потужність:

$$N_{el(-10)} = \frac{\sum N_{e(-10)}}{\eta_{el}} = \frac{58,92}{0,9} = 65,5 \text{ кВт};$$

Встановлена потужність електродвигунів підібраних компресорів 58 кВт, тобто існує невеликий запас потужності.

Розрахунок компресора КМ2.

1) Дійсний об'єм всмоктування:

$$V_o = M_{(-30)} \times v_5 = 0,055 \times 1,09 = 0,06 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

2) $\lambda = 0,8$;

3) Об'єм, що описується поршнем:

$$V_h = \frac{V_o}{\lambda} = \frac{0,06}{0,8} = 0,066 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

4) Адіабатна потужність:

$$N_A = M_{(-30)} \times (i_6 - i_5) = 0,055 \times (1800 - 1675) = 6,9 \text{ кВт};$$

5) Індикаторний ККД:

$$\eta_i = \lambda_{w'2} + b \times t_{np};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b=0,0025;$$

$$\eta_i = 0,92 + 0,0025 \times (-30) = 0,85;$$

6) Індикаторна потужність:

$$N_i = \frac{N_A}{\eta_i} = \frac{6,9}{0,85} = 8,1 \text{кВт};$$

7) Потужність тертя:

$$N_{mp} = V_h \times P_{mp} = 0,066 \times 59 = 3,89 \text{кВт};$$

8) Ефективна потужність:

$$N_e = N_i + N_{mp} = 8,1 + 3,89 = 11,99 \text{кВт};$$

9) Потужність двигуна:

$$N_{дв} = \frac{N_e}{\eta_{ел}} = \frac{11,99}{0,9} = 13,3 \text{кВт};$$

Для заданого холодильного агента за отриманими значеннями теоретичної подачі (V_m), електричної та ефективної потужності вибираємо компресор, об'ємна подача яких $V_{км}$ на 20 ÷ 40 % більша за необхідну, що забезпечує роботу компресора з коефіцієнтом робочого часу $b = 0,8 \div 0,6$.

Вибираємо три компресори АУ-45 («Холодильная техника», Кочетков, Табл.7) – сумарною об'ємною подачею

$$\sum V_m = 3 \times 81 = 243 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 0,0675 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

10) Дійсна масова витрата:

$$\sum M_{(-30)} = \lambda \times \sum V_{км(-30)} / v_5 = 0,91 \times 0,0675 / 1,09 = 0,056 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11) Сумарна теоретична потужність:

$$\sum N_{m(-30)} = \sum M_{(-30)} \times (i_6 - i_5) = 0,056 \times (1800 - 1675) = 27 \text{кВт};$$

12) Індикаторна потужність компресора:

$$\sum N_{i(-30)} = \sum N_{m(-30)} / \eta_i = 27 / 0,85 = 31,8 \text{кВт};$$

13) Потужність тертя:

$$\sum N_{mp} = \sum V_h \times P_{mp} = 0,0675 \times 59 = 3,98 \text{кВт};$$

14) Ефективна потужність:

$$N_e = N_i + N_{mp} = 31,8 + 3,98 = 35,9 \text{кВт};$$

15) Електрична потужність:

$$N_{el(-30)} = \frac{\sum N_{e(-30)}}{\eta_{el}} = \frac{35,9}{0,9} = 39,9 \text{кВт};$$

Встановлена потужність електродвигунів підібраних компресорів 39,9 кВт, тобто існує невеликий запас потужності.

Розрахунок компресора КМЗ.

1) Дійсний об'єм всмоктування:

$$V_d = M_{(-45)} \times v_{10} = 0,09 \times 2,23 = 0,2 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

2) $\lambda = 0,57$;

3) Об'єм, що описується поршнем:

$$V_h = \frac{V_d}{\lambda} = \frac{0,2}{0,57} = 0,35 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

4) Адіабатна потужність:

$$N_A = M_{(-45)} \times (i_{11} - i_{10}) = 0,09 \times (1877 - 1651) = 20,34 \text{кВт};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5) Індикаторний ККД:

$$\eta_i = \lambda_{w'3} + b \times t_{np};$$

$$b=0,0025;$$

$$\eta_i = 0,87 + 0,0025 \times (-45) = 0,76;$$

6) Індикаторна потужність:

$$N_i = \frac{N_A}{\eta_i} = \frac{20,34}{0,76} = 26,8 \text{кВт};$$

7) Потужність тертя:

$$N_{mp} = V_h \times P_{mp} = 0,35 \times 59 = 20,65 \text{кВт};$$

8) Ефективна потужність:

$$N_e = N_i + N_{mp} = 26,8 + 20,65 = 47,45 \text{кВт};$$

9) Потужність двигуна:

$$N_{oe} = \frac{N_e}{\eta_{el}} = \frac{47,45}{0,9} = 52,7 \text{кВт};$$

Для заданого холодильного агента за отриманими значеннями теоретичної подачі (V_m), електричної та ефективної потужності вибираємо компресор, об'ємна подача яких $V_{км}$ на 20 ÷ 40 % більша за необхідну, що забезпечує роботу компресора з коефіцієнтом робочого часу $b = 0,8 \div 0,6$.

Вибираємо три компресори АУ200 ("Холодильная техника», Кочетков, Табл.7) – сумарною об'ємною подачею

$$\sum V_m = 3 \times 528 = 1584 \frac{\text{М}^3}{\text{год}} = 0,44 \frac{\text{М}^3}{\text{с}};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

10) Дійсна масова витрата:

$$\Sigma M_{(-45)} = \lambda \times \Sigma V_{км(-45)} / v_{10} = 0,57 \times 0,44 / 2,23 = 0,11 \frac{кг}{с};$$

11) Сумарна теоретична потужність:

$$\Sigma N_{m(-45)} = \Sigma M_{(-45)} \times (i_{11} - i_{10}) = 0,11 \times (1877 - 1651) = 24,86 кВт;$$

12) Індикаторна потужність компресора:

$$\Sigma N_{i(-45)} = \Sigma N_{m(-45)} / \eta_i = 24,86 / 0,76 = 32,7 кВт;$$

13) Потужність тертя:

$$\Sigma N_{mp} = \Sigma V_h \times P_{mp} = 0,44 \times 59 = 25,96 кВт;$$

14) Ефективна потужність:

$$N_e = N_i + N_{mp} = 32,7 + 25,96 = 58,7 кВт;$$

15) Електрична потужність:

$$N_{el(-45)} = \frac{\Sigma N_{e(-45)}}{\eta_{el}} = \frac{58,7}{0,9} = 65,2 кВт;$$

Встановлена потужність електродвигунів підібраних компресорів 65,2 кВт, тобто існує невеликий запас потужності.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Розрахунок і вибір теплообмінного обладнання

Завдання теплового розрахунку теплообмінних апаратів полягає у визначенні площі поверхні теплопередачі. В основу розрахунків покладено розв'язання рівняння теплопередачі:

$$F = Q / (k \times \Delta t_{cp}), \text{ м}^2 \quad (13.1.)$$

1. Розрахунок конденсатора.

Множники, що входять у рівняння теплопередачі, під час розрахунку конденсатора визначаються так:

$$Q = Q_k - \text{теплове навантаження конденсатора, кВт};$$

Дійсне теплове навантаження на конденсатор:

$$Q_{kd} = Q_{om(-45)} + Q_{om(-30)} + Q_{om(-10)} + N_{i(-10)} + N_{i(-30)} + N_{i(-45)};$$

Дійсну холодопродуктивність компресорів кожної ступені знаходимо із співвідношення:

$$Q_0 = \sum Q_{om} \times \frac{V_{km}}{V_T};$$

Отже:

$$Q_{kd} = 38,8 \times \frac{0,135}{0,12} + 70,8 \times \frac{0,0675}{0,06} + 107,8 \times \frac{0,44}{0,35} = 258,8 \text{ кВт};$$

k – коефіцієнт теплопередачі конденсатора, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$. Для горизонтальних кожухотрубних конденсаторів, що встановлюються при оборотній системі водопостачання для аміака: $k=(700 \dots 1000) \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$.

Приймаємо $k=850 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

На рис. 1. показана умовна схема зміни температур холодоагента та охолодного середовища вздовж поверхні теплопередачі.

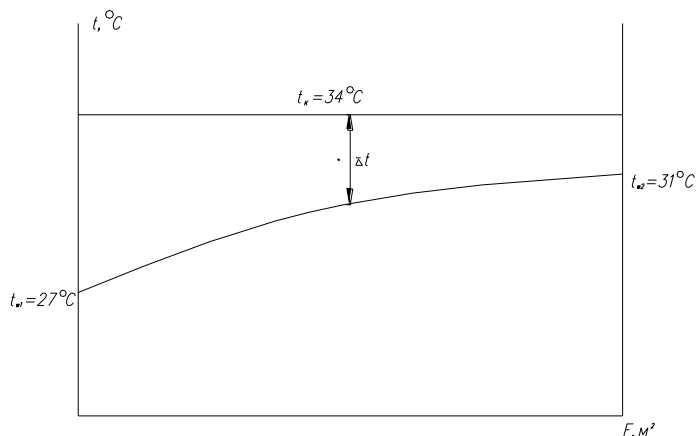


рис..1.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\bar{o}} - \Delta t_{\bar{m}}}{\ln \frac{\Delta t_{\bar{o}}}{\Delta t_{\bar{m}}}} = \frac{(34 - 27) - (34 - 31)}{\ln \frac{(34 - 27)}{(34 - 31)}} = 4,7^{\circ}\text{C};$$

За ф-ю 10.1.:

$$F = Q / (k \times \Delta t_{cp}) = 258,8 \times 10^3 / (850 \times 4,7) = 64,8 \text{ м}^2;$$

Приймаємо конденсатор КГТ – 65 з площею теплопередаючої поверхні

$$F = 65 \text{ м}^2$$

2. Розрахунок градирні.

Градирні вибарають по необхідній площі поперечного перерізу $F_{н.пер.}$ (в м^2), яку визначають за ф-ю:

$$F_{н.пер.} = \frac{Q_{сп}}{q_F};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

де Q_{cp} - теплове навантаження на градирню, кВт;

q_F - питоме теплове навантаження на 1 м^2 поперечного перерізу насадки в градирні.

Приймаємо $q_F = 46 \text{ кВт} / \text{м}^2$;

$$Q_{cp} = 1,03 \times Q_k = 1,03 \times 258,8 = 266,6 \text{ кВт};$$

Площа поперечного перерізу градирні за ф-ю:

$$F_{n.пер.} = \frac{Q_{cp}}{q_F} = \frac{266,6}{46} = 5,8 \text{ м}^2;$$

За табл. 15.1. [1] підбираємо вентиляторну градирню ГПВ-320 з площею поперечного перерізу $6,50 \text{ м}^2$ та такими характеристиками:

- об'ємна витрата циркулюючої води $17,8 \text{ м}^3/\text{с}$;
- параметри осьового вентилятора: діаметр крильчатки $2 \times 1250 \text{ мм}$; частота обертання 12 с^{-1} ; потужність встановлена $8,5 \times 2 \text{ кВт}$; споживана $3,7 \times 2$;
- параметри форсунки водорозподілу: діаметр отвору 8 мм ; кількість – 24 шт. ;
- ємність резервуару $1,5 \text{ м}^3$;
- витрата свіжої води $0,178 \text{ л/с}$;
- витрата повітря $16,9 \text{ м}^3/\text{с}$;
- габаритні розміри: основа $3640 \times 2210 \text{ мм}$; висота 2485 мм ;
- маса 2006 кг ;

3. Розрахунок повітроохолодників.

3.1. Камера зберігання яловичини в напівтушах ($t_g = -20^\circ\text{C}$) 1.

Площу теплопередаючої поверхні повітроохолодника розраховують за формулою (10.1), підставивши в неї значення коефіцієнта теплопередачі повітроохолодника. $Q = Q_{обл.}$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F = \frac{Q_{обл}}{k \times \Delta t_{cp}} = \frac{10,17 \times 10^3}{12 \times 10} = 84,75 \text{ м}^2;$$

До установки приймаємо один підвісний повітроохолодник ВОП-100 з площею теплопередаючої поверхні $F=100 \text{ м}^2$, кількість вентиляторів $n=2$, потужність $N = 1,5 \text{ кВт}$; подача повітря $2,07 \text{ м}^3 / \text{с}$.

Перевіряємо, чи достатня об'ємна продуктивність встановлених на них вентиляторів.

$$V_{не} = \frac{Q_{обл}}{(\rho_{не} \times (i_1 - i_2))}, \text{ м}^3 / \text{с};$$

де $\rho_{не}$ - густина повітря, яке виходить з повітряохолодника (визначається за I-d діаграмою). Температура повітря на вході $t_{вх} = -19^\circ\text{C}$, $i_1 = -18 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$,

$$t_{вих} = -22^\circ\text{C},$$

$$i_2 = -23 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

$$V_{не} = \frac{10,17}{1,4 \times (-18 + 23)} = 1,45 \text{ м}^3 / \text{с};$$

3.2. Камера зберігання масла вершкового 2б ($t_g = -20^\circ\text{C}$).

$$F = \frac{Q_{обл}}{k \times \Delta t_{cp}} = \frac{9,43 \times 10^3}{12 \times 10} = 78,6 \text{ м}^2;$$

До установки приймаємо один підвісний повітроохолодник ВОП-100 з площею теплопередаючої поверхні $F=100 \text{ м}^2$, кількість вентиляторів $n=2$, потужність $N = 1,5 \text{ кВт}$; подача повітря $2,07 \text{ м}^3 / \text{с}$.

Перевіряємо, чи достатня об'ємна продуктивність встановлених на них вентиляторів.

$$V_{не} = \frac{9,43}{1,4 \times (-18 + 23)} = 1,35 \text{ м}^3 / \text{с};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3.3. Камера зберігання субпродуктів 2 ($t_e = -20^\circ\text{C}$).

$$F = \frac{Q_{обл}}{k \times \Delta t_{cp}} = \frac{9,2 \times 10^3}{12 \times 10} = 77 \text{ м}^2;$$

До установки приймаємо один підвісний повітроохолодник ВОП-100 з площею теплопередаючої поверхні $F=100 \text{ м}^2$, кількість вентиляторів $n=2$, потужність $N = 1,5 \text{ кВт}$; подача повітря $2,07 \text{ м}^3 / \text{с}$.

Перевіряємо, чи достатня об'ємна продуктивність встановлених на них вентиляторів.

$$V_{нв} = \frac{9,23}{1,4 \times (-18 + 23)} = 1,44 \text{ м}^3 / \text{с};$$

3.4. Камера заморожування яловичини 4 ($t_e = -35^\circ\text{C}$).

$$F = \frac{Q_{обл}}{k \times \Delta t_{cp}} = \frac{53,53 \times 10^3}{12 \times 10} = 446 \text{ м}^2;$$

До установки приймаємо два підвісних повітроохолодника ВОГ-230 з площею теплопередаючої поверхні $F=2 \times 230=460 \text{ м}^2$, кількість вентиляторів $n=1 \times 2=2$, потужність $N = 4 \times 2 = 8 \text{ кВт}$; подача повітря $4,7 \times 2=9,4 \text{ м}^3 / \text{с}$.

Перевіряємо, чи достатня об'ємна продуктивність встановлених на них вентиляторів.

$$V_{нв} = \frac{53,53}{1,65 \times (-32 + 36)} = 8,1 \text{ м}^3 / \text{с};$$

3.5. Камера дефектних вантажів ($t_e = -0^\circ\text{C}$).

$$F = \frac{Q_{обл}}{k \times \Delta t_{cp}} = \frac{6,01 \times 10^3}{12 \times 10} = 50,08 \text{ м}^2;$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До установки приймаємо один підвісний повітроохолодник ВОП-75 з площею теплопередаючої поверхні $F=75 \text{ м}^2$, кількість вентиляторів $n=2$, потужність $N = 0,6 \text{ кВт}$; подача повітря $0,95 \text{ м}^3 / \text{с}$.

Перевіряємо, чи достатня об'ємна продуктивність встановлених на них вентиляторів.

$$V_{\text{не}} = \frac{6,01}{1,3 \times (10 - 4,6)} = 0,86 \text{ м}^3 / \text{с};$$

3.6. Експедиція ($t_e = 0^\circ\text{C}$).

$$F = \frac{Q_{\text{обл}}}{k \times \Delta t_{\text{cp}}} = \frac{8,32 \times 10^3}{12 \times 10} = 69,3 \text{ м}^2;$$

До установки приймаємо один підвісний повітроохолодник ВОП-75 з площею теплопередаючої поверхні $F=75 \text{ м}^2$, кількість вентиляторів $n=2$, потужність $N = 0,6 \text{ кВт}$; подача повітря $0,95 \text{ м}^3 / \text{с}$.

Перевіряємо, чи достатня об'ємна продуктивність встановлених на них вентиляторів.

$$V_{\text{не}} = \frac{8,32}{1,3 \times (10 - 4,6)} = 0,86 \text{ м}^3 / \text{с};$$

3.7. Камера зберігання консерв 3 ($t_e = +2^\circ\text{C}$).

$$F = \frac{Q_{\text{обл}}}{k \times \Delta t_{\text{cp}}} = \frac{12,58 \times 10^3}{15 \times 7} = 119,8 \text{ м}^2;$$

До установки приймаємо один підвісний повітроохолодник ВОГ-230 з площею теплопередаючої поверхні $F=230 \text{ м}^2$, кількість вентиляторів $n=1$, потужність $N = 4 \text{ кВт}$; подача повітря $4,7 \text{ м}^3 / \text{с}$.

Перевіряємо, чи достатня об'ємна продуктивність встановлених на них вентиляторів.

$$V_{\text{не}} = \frac{12,58}{1,3 \times (10 - 6)} = 1,6 \text{ м}^3 / \text{с};$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Розрахунок та вибір допоміжного обладнання холодильної установки

1. Розрахунок та вибір ресиверів.

1.1. Лінійний ресивер.

Ресивером називається судина для збирання рідкого холодильного агента. Лінійний ресивер встановлюється на стороні високого тиску після конденсатора. Він забезпечує звільнення поверхні конденсатора від рідини та створює рівномірний потік рідкого холодильного агента до регулюючого вентиля.

Лінійні ресивери підбирають по необхідному геометричному внутрішньому об'єму цих ємностей V (в $м^3$).

Ємність лінійного ресивера в автоматизованих насосоциркуляційних схемах з верхньою подачею аміака в прилади охолодження

$$V_{л.р.} = 0,3 \times (V_B + V_{B.O.}) / 0,8;$$

$$V_B = 0 м^3; \quad V_{B.O.} = 2 \times 0,07 + 5 \times 0,1 + 2 \times 0,08 + 4 \times 0,1 = 1,2 м^3;$$

$$V_{л.р.} = 0,3 \times (0 + 1,2) / 0,8 = 0,45 м^3;$$

До установки приймаємо лінійний ресивер 0,75РД об'ємом $V = 0,75 м^3$.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 омпаудний циркуляційний ресивер.

Емність циркуляційного ресивера РДВ в системах з верхньою подачею холодильного агента в прилади охолодження [14]:

$$V_{ц.р.} = (V_B + V_{B.O.}) \times 1,0;$$

$$V_{B.O.} = 0,25 \text{ м}^3;$$

$$V_{ц.р.} = (V_B + V_{B.O.}) \times 1,0 = 0,25 \times 1 = 0,25 \text{ м}^3;$$

Приймаємо ресивер 0,75РД об'ємом $V = 0,77 \text{ м}^3$.

1.3 Циркуляційний ресивер ($t_0 = -30^\circ\text{C}$).

$$V_{B.O.} = 0,07 \times 6 = 0,42 \text{ м}^3;$$

$$V_{ц.р.} = (V_B + V_{B.O.}) \times 1,0 = 0,42 \times 1 = 0,42 \text{ м}^3;$$

До установки приймаємо циркуляційний ресивер 1,5РДВ ємністю $V = 1,5 \text{ м}^3$.

1.4 Циркуляційний ресивер ($t_0 = -45^\circ\text{C}$).

$$V_{B.O.} = 0,4 \text{ м}^3;$$

$$V_{ц.р.} = (V_B + V_{B.O.}) \times 1,0 = 0,4 \times 1 = 0,4 \text{ м}^3;$$

До установки приймаємо циркуляційний ресивер 1,5РДВ ємністю $V = 1,5 \text{ м}^3$.

1.5. Дренажний ресивер.

Вибираємо дренажний ресивер таким, щоб при умові заповнення не більше чим на 80% він вмістив рідкий аміак із найбільшого циркуляційного ресивера або приладів охолодження найбільшої випарної системи. Вибираємо дренажний ресивер по найбільшій випарній системі (на температуру кипіння -30°C). 1,2 – коефіцієнт запаса;

$$V_{д.р.} = V_{в.с.} \cdot 1,2 / 0,8 = 0,42 \cdot 1,2 / 0,8 = 0,73;$$

До установки приймаємо циркуляційний ресивер 1,5РДВ ємністю $V = 1,5 \text{ м}^3$.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Технічні характеристики ресиверів:

Марка	Ємність, м ³	діаметр D	довжина L	довжина l	діаметр d	Вага, кг
0,75 РД	0,75	600	3000	900	32	430
1,5 РД	1,5	800	3600	1050	50	700
1,5 РДВ	1,68	800	3880	1116	150	785

3. Мастиловіддільники.

Мастиловіддільники підбирають по діаметру нагнітального трубопроводу КМ та встановлюють за компресором на лінії нагнітання.

Біля кожного компресора встановлюємо по одному інерційному мастиловіддільнику 50М

Також встановлюємо один загальний мастиловіддільник перед конденсатором марки 200М.

Табл. 11.2. Технічні характеристики мастиловіддільників.

Аміачні інерційні мастиловіддільники	Розміри, мм			Об'єм, м ³	Маса, кг
	D×S	H	d ₁		
50М	257×8	1228	50	0,05	98
200М	700×8	2749	200	0,83	645

4. Мастилозбірник.

В якості мастилозбірника приймаю мастилозаправочну ємність 60МЗС.

Розміри: D=325, S=9, B=650, H=1280, h=890, h₁=205, h₂=925, d=260, d₁=310,

d₂=18, ємність 60 л, маса 85 кг.

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

11. Визначення гідравлічних втрат у трубопроводах

1. Розрахунок діаметрів трубопроводів.

Окремі частини холодильної машини з'єднуються між собою трубопроводами.

1.1 Внутрішній діаметр круглої труби знаходимо за формулою:

$$d_{вн} = \sqrt{\frac{4 \cdot M}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}};$$

1.2 Всмоктувальний трубопровід компресорів, що працюють на температуру кипіння $t = -40^{\circ}\text{C}$.

$$M = 0,03 \text{ кг/с}; \rho = 1/v_{10} = 1/1,7 = 0,58 \text{ кг/м}^3;$$

$$d_{вн} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,03}{3,14 \cdot 0,58 \cdot 15}} = 0,066 \text{ м};$$

Приймаємо трубу $d_{всм} = 69 \text{ мм}$;

1.3 Нагнітальний трубопровід, що працюють на температуру кипіння $t = -40^{\circ}\text{C}$.

$$M = 0,03 \text{ кг/с}; \rho = 1/v_{11} = 1/0,55 = 1,8 \text{ кг/м}^3;$$

$$d_{вн} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,03}{3,14 \cdot 1,8 \cdot 16}} = 0,036 \text{ м};$$

Приймаємо трубу $d_{наг} = 40 \text{ мм}$;

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

2 Всмоктувальний трубопровід компресорів, що працюють на температуру кипіння $t = -30^{\circ}\text{C}$.

$$M = 0,06 \text{ кг/с}; \rho = 1/v_{10} = 1/1,5 = 0,66 \text{ кг/м}^3;$$

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,06}{3,14 \cdot 0,66 \cdot 12}} = 0,098 \text{ м};$$

Приймаємо трубу $d_y = 100 \text{ мм}$;

2.1 Нагнітальний трубопровід, що працюють на температуру кипіння $t = -30^{\circ}\text{C}$.

$$M = 0,06 \text{ кг/с}; \rho = 1/v_6 = 1/0,50 = 2 \text{ кг/м}^3;$$

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,06}{3,14 \cdot 2 \cdot 15}} = 0,050 \text{ м};$$

Приймаємо трубу $d_y = 50 \text{ мм}$;

3. Розраховуємо трубопровід, рідинна лінія на температуру кипіння ($t_0 = -10^{\circ}\text{C}$).

Розрахункова швидкість на напірній лінії $\omega = 0,3 \div 0,5 \text{ м/с}$. Приймаємо $\omega = 0,5 \text{ м/с}$.

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot M}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,02}{3,14 \cdot 645 \cdot 0,5}} = 0,088 \text{ м};$$

Приймаємо $d_y = 100 \text{ мм}$.

Розрахункова швидкість на зворотній лінії $\omega = 0,6 \div 1,2 \text{ м/с}$. Приймаємо $\omega = 1,2 \text{ м/с}$.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

3.1 Площа поперечного перерізу трубопроводу:

$$f_{\text{ен}} = \frac{M}{\rho \cdot w} = \frac{0,02}{643 \cdot 1,2} = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

Приймаємо $d_{\text{ен}} = 28 \text{ мм}$.

3.2 Розраховуємо трубопровід, рідинна лінія на температуру кипіння ($t_0 = -30^\circ\text{C}$).

Розрахункова швидкість на напірній лінії $\omega = 0,3 \div 0,5 \text{ м/с}$. Приймаємо $\omega = 0,5 \text{ м/с}$.

$$d_{\text{ен}} = \sqrt{\frac{4 \cdot M}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,06}{3,14 \cdot 674 \cdot 0,5}} = 0,015 \text{ м};$$

Приймаємо $d_y = 21,8 \text{ мм}$.

Розрахункова швидкість на зворотній лінії $\omega = 0,6 \div 1,2 \text{ м/с}$. Приймаємо $\omega = 1,2 \text{ м/с}$.

3.3 Площа поперечного перерізу трубопроводу:

$$f_{\text{ен}} = \frac{M}{\rho \cdot w} = \frac{0,06}{674 \cdot 1,2} = 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

Приймаємо $d_{\text{ен}} = 10,8 \text{ мм}$.

3.4 Розраховуємо трубопровід, рідинна лінія на температуру кипіння ($t_0 = -40^\circ\text{C}$).

Розрахункова швидкість на напірній лінії $\omega = 0,3 \div 0,5 \text{ м/с}$. Приймаємо $\omega = 0,5 \text{ м/с}$.

$$d_{\text{ен}} = \sqrt{\frac{4 \cdot M}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,03}{3,14 \cdot 676 \cdot 0,5}} = 0,010 \text{ м};$$

Приймаємо $d_y = 10,8 \text{ мм}$.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Розрахункова швидкість на зворотній лінії $\omega = 0,6 \div 1,2 \text{ м/с}$. Приймаємо $\omega = 1,2 \text{ м/с}$.

12.3.5 Площа поперечного перерізу трубопроводу:

$$f_{en} = \frac{M}{\rho \cdot w} = \frac{0,03}{676 \cdot 1,2} = 3,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

Приймаємо $d_{en} = 40 \text{ мм}$.

4. Визначення гідравлічних втрат у трубопроводах.

Метою гідравлічного розрахунку є визначення втрат тиску, викликаних гідравлічними опорами, що виникають під час руху робочого середовища в трубах та теплообмінних апаратах. Значення цих втрат необхідні для визначення потужності насосів, а також для вибору оптимальних конструктивних характеристик апаратів і оптимізації їх режимів роботи. Надмірний гідравлічний опір призводить до зниження тиску всмоктування і, відповідно, температури кипіння, що знижує економічність роботи холодильної машини. Для насосно-циркуляційних систем охолодження розрахунок гідравлічних опорів необхідний для визначення характеристики мережі залежно від витрати холодоагента та його розподілу, для вибору насоса і розрахунку потужності привода.

Загальні гідравлічні опори при проходженні в трубі або апараті киплячої рідини (тобто двофазного потоку) складаються з втрат тертя ($\Delta P_{tr}^{\text{оф}}$), місцеві опори ($\Delta P_m^{\text{оф}}$), прискорення потоку ($\Delta P_n^{\text{оф}}$) і на зниження або підвищення тиску через вплив статичного напору стовпа рідини ($\Delta P_{ст}^{\text{оф}}$).

$$\Delta P^{\text{оф}} = \Delta P_{tr}^{\text{оф}} + \Delta P_m^{\text{оф}} + \Delta P_n^{\text{оф}} + \Delta P_{ст}^{\text{оф}}.$$

Під час розрахунку гідравлічних опорів необхідно враховувати режим течії рідини й пари в трубах апаратів, а також раціонально використовувати існуючий напір як у самопливних, так і в насосно-циркуляційних системах охолодження.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Насоси, які перекачують рідину при температурах насичення, повинні працювати під зливом. Висота підпору стовпа рідини має компенсувати розрідження на вході в робоче колесо, втрати напору на всмоктувальній трубі, швидкісний напір на вході в робоче колесо, а також забезпечувати кавітаційний запас. Визначимо втрати тиску в трубопроводі від циркуляційного насосу до повітроохолодника, який розміщений в камері заморозування $t = -30^{\circ}\text{C}$.

4.2 Повна втрата тиску на ділянці трубопроводу:

$$\Delta P_i = \Delta P_{mp} + \Delta P_{m.c.};$$

$$\Delta P_{m.c.} = Z = \sum \xi_m \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2};$$

$$\sum \xi_m = \xi_{зв.к\lambda\text{пан}} + \xi_{хрестовина} = 5 + 2 = 7;$$

$$\omega = 0,4 \text{ м/с};$$

Втрата тиску в місцевих опорів $\Delta P_{m.c.}$, зазвичай позначається буквою Z , визначається за формулою:

$$Z = 7 \cdot \frac{674 \cdot 0,4^2}{2} = 0,377 \text{ кПа};$$

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot d_{вн} \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,4 \cdot 0,010 \cdot 1230}{3 \cdot 10^{-3}} = 1640$$

$$\lambda_{mp} = 0,11 \cdot \left(\frac{k}{d_{вн}} + \frac{64}{\text{Re}} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,06}{10} + \frac{64}{1640} \right)^{0,25} = 0,046$$

4.3 Втрати тиску від тертя по довжині 1м:

$$\Delta P_{mp} = R = \frac{0,046}{0,010} \cdot \frac{674 \times 0,4^2}{2} \cdot 1 = 248 \text{ Па/м};$$

4.4 Втрати тиску на тертя на ділянці довжиною $l = 5\text{ м}$:

$$\Delta P_{mp} = R \cdot l = 248 \cdot 5 = 1240 \text{ Па};$$

4.5 Загальна втрата тиску:

$$\Delta P = 377 + 1240 = 1617 \text{ Па}.$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Підбір насосів

1. Підбір насосу оборотної води.

З попередніх розрахунків маю необхідну подачу $V_{KM}=76 \text{ м}^3/\text{год}$ або $21,11 \text{ л/с}$ (два трубопроводи, тобто підбираю однакові насоси на дві гілки), необхідний напір $H=7,3 \text{ м}$. Приймаю для встановлення по два насоси в паралель, отже, подача одного насосу повинна становити $0,65 \dots 0,75$ від загальної подачі.

Таким чином, подача води на компресори $V_{KM}=0,65 \cdot 76=49,4 \text{ м}^3/\text{год}$.

Приймаю для встановлення, у якості насосів для охолодження компресорів, два відцентрових насоси К 90/20 з частотою обертання валу 2900 хв^{-1} .

Максимальний ККД (80%) цих насосів досягається при подачі $V=22 \text{ л/с}$ та напорі $H=22,5 \text{ м}$. Тобто є запас по напору, що забезпечить гарну роботу системи. В якості регулювання продуктивності насоса приймаю частотне регулювання обертів валу насосу.

Підбір насосу на камери зберігання консервів

З попередніх розрахунків маємо необхідну подачу $V=0,00068 \text{ м}^3/\text{с}$ або $2,448 \text{ м}^3/\text{год}$ ($0,68 \text{ л/с}$) і необхідний напір $H=87,13 \text{ м}$. Для встановлення приймаю один електронасос 1,5ХГ-6×3-2,8-2 (ЦНГ-70М-3) з частотою обертання валу $49,5 \text{ с}^{-1}$. Характеристики цього насосу: подача $V=5,5 - 12 \text{ м}^3/\text{год}$, напір $H=55 - 45 \text{ м}$ рідини, кількість ступенів – 2, потужність – 2,8 кВт.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

З попередніх розрахунків встановлено, що необхідна подача становить $V = 0,00227 \text{ м}^3/\text{с}$ або $8,172 \text{ м}^3/\text{год}$ ($2,27 \text{ л/с}$), а потрібний напір – $H = 53,63 \text{ м}$. Для цього передбачається встановлення чотирьох насосів на загальний колектор всмоктування рідкого аміаку з циркуляційних ресиверів. Вибрано аміачний електронасос 1,5ХГ-6×3-2,8-2 (ЦНГ-70М-3), характеристики якого описані в підпункті 9.2.

Підбір насосів для камер замороження яловичини

З попередніх розрахунків встановлено, що необхідна подача становить $V = 0,00134 \text{ м}^3/\text{с}$ або $4,824 \text{ м}^3/\text{год}$ ($1,34 \text{ л/с}$), а потрібний напір – $H = 87,27 \text{ м}$. Для цього передбачається встановлення двох аміачних електронасосів 1,5ХГ-6×3-2,8-2 (ЦНГ-70М-3) з частотою обертання валу $49,5 \text{ с}^{-1}$. Характеристики цих насосів: подача – від $5,5$ до $12 \text{ м}^3/\text{год}$, напір – від 55 до 45 м рідкого аміаку, кількість ступенів – 2 , потужність – $2,8 \text{ кВт}$.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

13. Техніко-економічні показники

Для розрахунку собівартості холоду треба знати суму коштів за спожиту: електроенергію, мастило, холодоагент R717, оплату праці, амортизаційні відшкодування, та інші витрати, які вираховуються від вартості обладнання.

1. Розрахункове споживання електроенергії холодильним обладнанням компресорного цеху зводимо до таблиці 14.1

Таблиця 14.1

№ п/п	Найменування обладнання	К-ть	Р _{ел} , кВт	Σ Р _{ел} , кВт	Рік, тис. кВт·год
1	Компресор АУУ90	2	123	123	984
2	Компресор АУ200	3	218	218	1249
3	Компресор АУ-45	3	97	97	632
4	Насос К 90/20	2	5,5	5,5	44
5	Насос 1,5ХГ-6×3-2,8-2(ЦНГ-70М-3)	4	11	22	176
6	Конденсатор КТГ – 65	1	4	8	64
7	Вентилятори повітроохолодників:				
	ВОП-100	2	8.8	10.3	98
	ВОП-75	2	7.5	8.8	70.4
	ВОГ-230	3	13.6	27.2	217.6
8	Градирня ГПВ-320	1	0,75	3	24
	Річна витрата електроенергії				3.776

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Споживання електроенергії за рік розраховуємо за формулою:

$$N = P_{el} \cdot n$$

де n - час роботи компресорів, насосів, вентиляторів в рік при відповідних робочих умовах, год, приймаємо 8000 год.

P_{el} - електрична потужність компресора, насоса, вентилятора тощо.

2. Розрахунок витрат на придбання та монтаж обладнання наведено в таблиці 14.2

Найменування обладнання	К-ть	Витрати на одиницю обладнання, тис. грн			Загальні витрати, тис. грн
		Придбання	Монтаж	Інші витрати	
Компресор АУУ90	2	70	7	1.5	78.5
Компресор АУ200	3	120	12	2.4	136.4
Компресор АУ-45	3	100	10	2	112
Насос К 90/20	2	15	1,5	0,3	16,8
Насос 1,5ХГ-6×3-2,8-2(ЦНГ-70М-3)	4	24	2,4	0,4	26,8
Повітроохолодник ВОП-100	2	35	3,5	0,7	40,2
Повітроохолодник ВОГ-230	3	39,2	3,92	0,8	45,92
Повітроохолодник ВОП-75	2	60	6	0,12	66,12
Конденсатор КТГ – 65	1	156	15,6	3,1	174,7
Градирня ГПВ-320	1	90	9	0,18	99,18
Лінійний ресивер 0,75РД	1	8	0,7	0,14	9,84
Циркуляційний ресивер 1,5РДВ	3	12	1,2	0,24	13,44

Дренажний ресивер 1,5РДВ	1	15	1,2	0,24	15,44
Мастиловіддільник 50М	8	56,5	5,6	1,12	61,2
Мастиловіддільник 200М	1	10	1	0,2	11,2
Мастилозбірник 60МЗС	1	5	0,5	0,1	5,6
Холодоагент R717	2516	8,2	-	-	8,2
Разом					920,84

Витрати на монтаж приймаємо 10% від вартості обладнання.

Інші витрати складають 2% від вартості обладнання.

2. Виробництво і використання електроенергії

Річне споживання електроенергії холодильником і компресорним цехом даного холодильника становить: $E_p = 1.780000 \text{ кВт}$

Ціна за 1 кВт. год електроенергії становить: $C_{ел} = 1 \text{ грн/кВт}$

Визначаємо витрати на споживання електричної енергії за проектними розрахунками:

$$V_{ел.р} = E_p \cdot C_{ел}$$

$$V_{ел.р} = 1.780000 \text{ грн}$$

5 Розрахунок витрат на оплату праці

Фонд основної заробітної плати робітників компресорного цеху наведено в таблиці 15.3

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Таблиця 14.3

№ п/п	Професія	Тарифна ставка грн/год	Чисельність, чол	Місячний фонд, грн	Річний фонд, грн
1	Машиніст ХУ	14	8	17920	215040
2	Слюсар-ремонтник	12	6	11520	138240
	Разом	26	14	29440	353280

6. Визначення амортизаційних відрахувань

Приймаємо норми амортизаційних відрахувань:

Для основного обладнання – 22% від вартості обладнання;

Витрати на амортизацію основного технологічного обладнання:

$$A_{обл} = \Sigma B_{обл} \times 0,22 = 1751,26 \times 0,22 = 202 \text{ тис. грн}$$

7. Визначення інших видів витрат

До інших витрат відносяться пускові витрати, витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати, які розраховуються як окремі статті.

Витрати на поточний ремонт обладнання приймаємо 20% від амортизаційних відрахувань на обладнання:

$$B_{рем} = A_{обл} \times 0,20 = 40,4$$

Пускові витрати приймаємо 2% від вартості обладнання:

$$B_{пуск} = B_{обл} \times 0,02 = 4,04$$

Інші витрати приймаємо 3% від загальної суми амортизаційних відрахувань:

$$B_{ін} = A_{обл} \times 0,03 = 6,06$$

						КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.А
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата			70

Загальна сума інших витрат складає:

$$\Sigma B = B_{\text{рем}} + B_{\text{пуск}} + B_{\text{ін}} = 64.18 + 1.29 + 43.46 = 50,5$$

8. Визначення основних показників економічної ефективності проекту

Результати розрахунків проведених у попередніх розділах зводимо у порівняльну таблицю собівартості енергії:

Таблиця 14.4

Статті витрат	Значення витрат тис. грн
	Проект
Електроенергія	1,780
Мастило	78
Холодильний агент R717	8,2
Оплата праці	353,280
Амортизація	202
Інші витрати	50,5
Разом	2471,195

Кількість виробленого холоду за рік:

$$12 \cdot 202 \cdot (638,572) = 3793,1 \text{ ,} MBt$$

Собівартість холоду:

$$\Delta C = \frac{2471195}{3793117} = 0.68 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$$

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Охорона праці

Приміщення машинних і апаратних відділень холодильних установок належать до вибухонебезпечних і відносяться до категорії В-1Б. Зазвичай їх розміщують в одноповерхових будівлях, прибудованих до основного корпусу холодильника або виробничої споруди, де знаходяться споживачі холоду.

Машинне відділення повинно мати не менше двох виходів, причому двері повинні відкриватися в бік виходу. Висота приміщень повинна бути не менше 4,8 метра, а висота підвіконь не повинна перевищувати 1,2 метра.

Машина і апарати холодильних установок, які потребують постійного огляду та обслуговування на висоті 1,8 метра, обладнують спеціальними площадками та сходами. Підлога повинна бути рівною і виготовленою з негорючих матеріалів.

Мінімальні розміри проходів у машинному відділенні повинні складати: основний прохід або відстань між регулювальною станцією і виступаючою частиною компресора - 1,5 метра, відстань між виступаючими частинами двох компресорів - 1 метр, відстань між гладкою стінкою і компресором - 0,8 метра.

Ресивери повинні бути захищені від прямих сонячних променів. Експлуатація холодильних установок, як правило, вимагає цілодобового чергування обслуговуючого персоналу, який має виконувати свої обов'язки та дотримуватися трудової дисципліни, що забезпечує безпечну експлуатацію холодильних установок.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

У машинному та апаратному відділеннях на відведеному місці повинні бути розміщені схеми трубопроводу холодоагенту, розсолу та води з пронумерованими запірними вентилями та приладами автоматики відповідно до їхнього місця встановлення. Також повинні бути наявні інструкції з будови і обслуговування кожного типу конденсаторів, насосів, вентиляторів, апаратів, а також з експлуатації та обслуговування приладів автоматики.

Повинна бути інструкція для персоналу щодо дій при ліквідації аварійних ситуацій та надання першої медичної допомоги, а також зазначені телефони швидкої допомоги та пожежної служби. Біля виходу з компресорного цеху повинен бути встановлений вентиль аварійної зупинки компресорів, а машинне відділення має бути оснащено системою вентиляції.

Перед входом до машинного відділення має бути розміщена шафа з індивідуальними засобами захисту: протигази КД, апарати системного повітря типу АСВ, гумові рукавички і чоботи, захисні окуляри, газонепроникні костюми.

Основні напрямки пожежної безпеки в холодильних установках включають профілактичні заходи для запобігання виникненню пожежі. У машинному відділенні суворо заборонено палити, розводити відкрите полум'я, а також необхідно стежити за станом електропроводки.

Біля основного входу до машинного відділення повинен бути встановлений пожежний щит з наступними інструментами: порошковий та вуглекислотний вогнегасники, ящик з піском, азбестове полотно, два ломи, дві сокири, дві лопати та металевий багор. Обладнання щита пломбується, і на ньому повинен бути опис набору.

Важливою вимогою при проектуванні та обслуговуванні холодильної установки є заходи щодо охорони навколишнього середовища.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Обов'язковою вимогою є очищення забрудненого повітря, яке містить різні види виробничих пилу і токсичних речовин. Схеми холодильної установки передбачають наявність повітроохолоджувача, після якого пароповітряна суміш проходить через воду, нейтралізуючи аміак. Категорично забороняється виливати відпрацьоване холодильне масло на прилеглу територію, оскільки воно містить велику кількість шкідливих речовин, включаючи аміачну суміш, яка негативно впливає на ґрунт. Для цього передбачено спеціальні ємності для збору відпрацьованого масла.

Класифікація посудин, що працюють під тиском, їх реєстрація та технічне посвідчення.

На харчових підприємствах широко використовуються посудини та апарати, що працюють під тиском. Це герметично закриті ємності, призначені для проведення хімічних, теплових та інших технологічних процесів, а також для зберігання і транспортування газоподібних, рідких та інших речовин, що перебувають під надлишковим тиском. До них відносяться парові та водогрійні котли, компресори, холодильні установки, стаціонарні посудини, балони, газгольдери, а також трубопроводи для гарячої води, пари та газу.

Основна небезпека при експлуатації цього обладнання полягає у можливому раптовому руйнуванні, яке може супроводжуватися вибухом великої потужності через вивільнення енергії адіабатичного розширення пари або газу. Наприклад, при розриві посудини об'ємом 1,0 м³ під тиском 1,0 МПа, розвивається потужність близько 10,0 МВт, що може призвести до руйнувань і серйозних травм людей.

Посудини, що працюють під тиском, належать до обладнання з підвищеною небезпекою, тому при їх конструюванні, виготовленні та експлуатації важливо дотримуватись вимог правил безпеки.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

В залежності від умов роботи, таких як тиск, температура, середовище і об'єм, всі посудини можна розділити на дві категорії. Проектування, виготовлення, монтаж, налагодження, експлуатація та ремонт цього обладнання, за винятком окремих випадків, регламентуються "Правилами будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів" та "Правилами будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском".

Усе обладнання першої категорії підлягає реєстрації та контролю органів Держнаглядохоронпраці України. Посудини з умовами роботи, відмінними від першої категорії, відносяться до другої. Вимоги техніки безпеки до таких посудин наведені в галузевих правилах з техніки безпеки і виробничої санітарії. Нагляд за об'єктами другої категорії здійснює керівник підприємства, який несе відповідальність за безпечну експлуатацію та ремонт цих об'єктів.

Для своєчасного виявлення можливих дефектів обладнання, що працює під тиском, воно підлягає технічному огляду перед запуском в роботу, періодично в процесі експлуатації та у необхідних випадках позачергово. Перед запуском в роботу посудини, на які розповсюджуються "Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів" та "Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском", повинні бути оглянуті органами Держнаглядохоронпраці, які реєструють їх (згідно з нормативами) і видають дозвіл на експлуатацію.

Періодичне технічне оглядове обстеження котлів, компресорних і холодильних установок та стаціонарних посудин здійснюється двома методами.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Періодичне технічне опосвідчення посудин, що працюють під тиском, включає два види огляду:

Зовнішній і внутрішній огляд – не рідше одного разу на 4 роки.

Гідравлічне випробування – не рідше одного разу на 8 років.

Технічне опосвідчення проводиться представником Держнаглядодохоронпраці, а для обладнання, що не підлягає реєстрації, його проводить технічне керівництво підприємства або спеціально призначена комісія з компетентних інженерно-технічних представників.

Зовнішній і внутрішній огляд обладнання вимагає попередньої підготовки. Наприклад, котел охолоджують і ретельно очищують від накипу, сажі та шлакових відкладень. За необхідності частково або повністю знімається обмурівка. Якщо товщина стінок посудини зменшилась на 30% і більше порівняно з розрахунковою, то посудина бракується. Гідравлічні умови випробування наведені в таблиці 11.1.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Робочий та пробний тиск при гідравлічних випробуваннях обладнання

Таблиця 11.1

Види посудин	Тиск p , МПа	
	робочий	пробний
Котли, пароперегрівачі, економайзери	$p < 0,5$ $p \geq 0,5$	$1,5p$, але не менше 0,2 МПа $1,25p$, але не менше $p+0,3$ МПа
Ємкості, резервуари, посудини, цистерни, Бочки (крім литих) Литі посудини Балони для стиснених, зріджених та розчинених газів (крім цетиленових)	Незалежно Незалежно Незалежно	 1,25p 1,5p 1,5p

Під час гідравлічного випробування котел або стаціонарна посудина перебувають під пробним тиском не менше 10 хвилин. Результати технічного опосвідчення записуються у паспорт обладнання інспектором (експертом) Держнаглядохоронпраці, а для обладнання, що не реєструється, – особою на підприємстві, відповідальною за його безпечну експлуатацію.

Технічне опосвідчення холодильних установок включає зовнішній огляд та пневматичне випробування на міцність азотом або діоксидом вуглецю, що проводиться один раз на 3 роки, оскільки попадання води в систему призводить до її псування.

Технічне опосвідчення балонів проводиться на підприємствах або станціях, що наповнюють їх газом, а також на спеціальних ремонтно-випробувальних пунктах.

Більшість трубопроводів на харчових підприємствах призначені для транспортування пари та гарячої води. Згідно з "Правилами експлуатації трубопроводів пара і гарячої води", ці трубопроводи розділяються на 4 категорії в залежності від параметрів робочого середовища. Трубопроводи I, II та III категорій призначені для високотемпературної пари та води (тиск від 1,6 до 3,9 МПа, температура від 250 до 580 °С), тоді як трубопроводи IV категорії призначені для транспортування пари та гарячої води з меншими тиском і температурою (від 115 до 250 °С та тиском 0,07...1,6 МПа).

Трубопроводи I категорії з умовним проходом більше 70 мм, а також трубопроводи II та III категорій з умовним проходом більше 100 мм підлягають контролю з боку органів Держнаглядохоронпраці. Трубопроводи IV категорії та інші трубопроводи реєструються та контролюються на самому підприємстві відповідно до встановленого порядку.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Інспектор Держнаглядохоронпраці встановлює такі терміни для технічного огляду трубопроводів:

Перед початком експлуатації нових систем проводиться зовнішній огляд і гідравлічне випробування.

Зовнішній огляд виконується не рідше одного разу за три роки.

Після ремонту з використанням зварювання, а також при пуску трубопроводів після довшої консервації (більше 2 років) проводиться зовнішній огляд та технічне випробування.

Гідравлічне випробування на міцність і щільність швів та з'єднань здійснюється за формою 7-тнв, затвердженою Міністерством статистики України.

Результати випробувань надсилаються до відповідних місцевих органів виконавчої влади і Держнаглядохоронпраці.

Виробничий травматизм та захворювання ведуться облік за підсумками року і першого півріччя. Оперативний облік групових нещасних випадків та випадків зі смертельним наслідком проводять Міністерство, органи виконавчої влади, Держнаглядохоронпраці, Держатомнагляд, ГУПО МВС і санітарно-епідеміологічна служба МОЗ.

Безпечна експлуатація стаціонарних посудин, що працюють під тиском

На цукрових, кондитерських, пивобезалкогольних та інших харчових підприємствах для технологічних, енергетичних та інших потреб широко використовуються стаціонарні посудини різного призначення, що працюють під тиском. Небезпека їх експлуатації полягає у можливому зриві болтів і кришок люків, випинанні та розриві днищ та інших видах руйнування.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Основними причинами аварій стаціонарних посудин, що працюють під тиском, є дефекти виготовлення, корозійне руйнування та інші види пошкоджень, порушення технологічного режиму та правил експлуатації, а також несправності арматури, приладів і пристроїв безпеки.

Безаварійна експлуатація цих посудин досягається за допомогою таких заходів та засобів:

Надійна конструкція: Посудини мають бути конструктивно надійними, забезпечувати безпеку під час експлуатації, а також можливість внутрішнього огляду, очищення та ремонту.

Контроль зварних швів: Зварні шви повинні бути лише стиковими і доступними для контролю під час виготовлення, монтажу і експлуатації посудини.

Сертифіковані матеріали: Матеріали, призначені для виготовлення і ремонту посудин, повинні мати сертифікати якості.

Зниження допустимого тиску стаціонарних посудин внаслідок корозії стінок під час експлуатації обчислюється за відповідною формулою.

$$p = 2 \cdot (S - c) \cdot \sigma \cdot \varphi / (D + S - c),$$

де S – товщина стінки посудини, м; c – товщина шару корозії, м; σ – допустиме напруження матеріалу стінок, МПа; φ – коефіцієнт міцності зварного шва; D – внутрішній діаметр посудини, м.

Стаціонарні посудини, залежно від їх конструкції і призначення, оснащуються відповідними контрольно-вмірювальними приладами, запобіжними пристроями, засобами автоматизації, показчиками рівня рідини, запірною або запіро-регульованою арматурою.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

У випадку, коли не можна використовувати запобіжні клапани з будь-якої причини (наприклад, через їх ненадійність), для запобігання підвищенню тиску у посудині до критичних значень застосовують розривні запобіжні мембрани. Ці мембрани мають просту конструкцію і миттєво реагують на зростання тиску. При перевищенні тиску на більше ніж 25%, мембрана автоматично розривається, що спричиняє зниження тиску у посудині.

Товщина мембран δ визначається за формулами:

а) металеві мембрани, які працюють на зріз (мідь, алюміній), мм:

$$\delta = pD / (4\sigma_{зр}),$$

де p – тиск зрізу мембрани, Па; D – діаметр робочої частини мембрани, мм; $\sigma_{зр}$ – тимчасовий опір зрізу, Па;

б) мембрани з крихких матеріалів, які працюють на руйнування (чавун), мм:

$$\delta = 0,11 \cdot r \cdot \sqrt{\frac{p}{\sigma_{зг}}},$$

де r – радіус мембрани, мм; p – тиск руйнування мембрани, Па; $\sigma_{зг}$ – межа міцності на згин, Па.

Посудини із швидкозмінними затворами повинні мати запобіжні пристрої, що виключають можливість роботи при негерметично закритій кришці. Такі посудини також мають бути оснащені замками з ключ-маркою.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Безпечна експлуатація компресорних та холодильних установок

Під час роботи компресорів можуть статися вибухи, спричинені кількома чинниками: перевищенням тиску стисненого повітря, підвищенням температури під час стиснення, утворенням небезпечних сумішей кисню з мастильними речовинами, а також через порушення вимог безпеки під час обслуговування, експлуатації та догляду за компресорами. Ці вибухи можуть призвести до пошкодження самого компресора, будівлі, де він розташований, та можуть спричинити серйозні травми для обслуговуючого персоналу.

Холодильні установки також потенційно небезпечні, оскільки холодоагенти, які вони використовують, можуть бути отруйними, а суміш холодоагента з повітрям може бути вибухонебезпечною. Для безпечної експлуатації компресорних і холодильних установок важливо дотримуватися встановлених державних стандартів та інструкцій з техніки безпеки.

При стисненні температура повітря значно підвищується, К:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(m-1)/m},$$

де T_1 – абсолютна температура повітря до стиснення, К; p_1 , p_2 – абсолютний тиск газу відповідно до і після стиснення, Па; m – показник політропи:

$$m = (c - c_h) / (c - c_v),$$

де c – питома теплоємність повітря при даних тиску і температурі, Дж/(кгК); c_p і c_v – питома теплоємність повітря при сталому тиску і сталому об'ємі Дж/(кгК).

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наприклад, якщо початкова температура повітря становить 293 К, а тиск дорівнює атмосферному, то при його стисненні до 1,0 МПа температура підвищується до 573 К.

При високій температурі мастило може частково випаровуватись, а при надмірному змащуванні воно може розпилуватись у вигляді туману, утворюючи потенційно вибухонебезпечну суміш із повітрям. Виконання вимог до мастил та правильних режимів змащування, разом із надійним охолодженням, є ключовими для запобігання вибухів парів мастила при його розпаді. У випадку компресорів з низьким тиском та обсягом роботи вистачає повітряного охолодження, але в інших випадках потрібно використовувати водяне охолодження.

Дотримання встановленого технологічного режиму забезпечується за допомогою відповідної арматури, контрольно-вимірювальних приладів, регулюючої апаратури, систем автоматичного управління та пристроїв безпеки.

Кожна компресорна установка повинна бути обладнана манометрами та запобіжними клапанами на кожному її ступені, на ресиверах та холодильниках; термометрами та термопарами на кожному ступені компресора, після проміжних та кінцевих холодильників; контактними пристроями та тепловими реле для сигналізації і автоматичного вимкнення компресора при перевищенні тиску і температури стисненого повітря понад встановлені значення, а також у разі зупинення подачі води на охолодження компресора; манометрами та термометрами для контролю тиску і температури мастила при автоматичному (централізованому) змащуванні; зворотним клапаном та запірним органом на лінії нагнітання у разі роботи декількох компресорів, під'єднаних до загальної магістралі. Крім того, компресори з продуктивністю понад 50 м³/хв мають бути обладнані пристроями для автоматичного регулювання тиску нагнітання.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Компресорні станції з трьома або більше компресорами мають систему дистанційного контролю, яка включає сигналізацію роботи установок і блокуючі пристрої. Останні автоматично відключають привід компресора у разі перевищення температури і тиску стисненого повітря, а також температури охолоджувальної рідини, що надходить з компресора.

Вибухи та аварії холодильних установок можуть виникнути через гідравлічний удар, відмову запобіжних пристроїв, розрив нагнітальних трубопроводів або балонів з холодильним агентом, а також через витік аміаку чи фреону через нещільність з'єднань. Газоподібний аміак утворює вибухонебезпечну суміш з повітрям, що особливо небезпечно під час ремонтних робіт з використанням відкритого вогню. Аміак є токсичним, його максимально допустима концентрація у повітрі робочої зони складає 20 мг/м³. Контакт з рідким аміаком може призвести до серйозних опіків шкіри та очей, навіть до сліпоти.

Витік аміаку можна виявити органолептичним методом або за допомогою газоаналізатора УГ-2. Для неналежної автоматизованої обслуговування холодильних установок, приміщення машинних і апаратних відділень можуть бути оснащені індикаторами витоку та сигналізаторами аварійної концентрації аміаку у повітрі.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

Індикатори витоку активують сигнал тривоги в приміщенні для чергового персоналу та спрацьовують витяжну вентиляцію, коли концентрація аміаку в повітрі перевищує 500 мг/м³. Якщо рівень аміаку досягає 1500 мг/м³, сигналізатори аварійної концентрації вимикають електроживлення холодильної установки і одночасно вмикають аварійну вентиляцію та світлозвукову сигналізацію біля входу до машинного та апаратного відділень, щоб попередити про загазованість приміщення.

Початкове зарядження холодильних установок рідким аміаком повинно відбуватися відповідно до встановлених норм заповнення внутрішнього об'єму їхніх елементів. Наприклад, ресивери (лінійні, дренажні, циркуляційні та захисні – горизонтальні) не повинні заповнюватися більше ніж на 80%, а вертикальні циркуляційні та захисні ресивери, проміжні посудини – не більше 70%. Комплектні компресорні установки заповнюються рідким аміаком відповідно до інструкції заводу-виробника.

При зарядженні використовується рідкий аміак без домішок. Технічні умови на його постачання, тару та маркування повинні відповідати вимогам діючого стандарту (ГОСТ 6221-82 Е). Заповнення системи аміаком здійснюється через трубопровід, який підключається до балонів залізничних або автомобільних цистерн згідно з вимогами типових інструкцій.

Під час експлуатації та зарядження аміачних холодильних установок обслуговуючий персонал і інженерно-технічні працівники повинні бути оснащені засобами індивідуального захисту, такими як спецодяг, гумові рукавички, гумові чоботи, фільтрувальні протигази типу КД та ізолюючі дихальні апарати стисненого повітря типу АСВ або ізолюючі протигази П.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

У випадку проведення аварійних робіт у загазованому приміщенні необхідно використовувати захисний костюм Л-1 або КИХ-4. Компресори слід зазвичай розміщувати в окремих одноповерхових будівлях. Однак компресори з продуктивністю до 20 м³/хв дозволяється розміщувати в прилеглих приміщеннях, відділених перегородкою висотою не менше 3 м і товщиною не менше 0,125 м. Окремі компресори з продуктивністю до 10 м³/хв можуть бути встановлені на нижніх поверхах багатоповерхових виробничих будівель, за умови їх відокремлення від виробничих ділянок глухими вогнестійкими стінами.

Аміачні холодильні установки слід розміщувати з дотриманням протипожежних норм як в окремих приміщеннях, так і у підвалах та інших місцях, що знаходяться в безпосередній близькості до технологічних ділянок, де відбувається обробка продуктів холодом. Машинні та апаратні відділення холодильних установок не повинні мати проходів, що з'єднують їх із виробничими приміщеннями. Вони мають бути обладнані припливною вентиляцією з підігрівом повітря у холодний період року, що забезпечує дворазовий обмін повітря у приміщенні щогодини. Машинне відділення також повинно бути оснащено аварійною вентиляцією, аварійним освітленням та мати два виходи.

Вимоги безпеки при проведенні профілактичних та ремонтних робіт

У зв'язку з високим рівнем ризику, тільки особи, які досягли 18-річного віку, пройшли обов'язкове медичне обстеження та спеціальну підготовку затвердженою програмою, атестовані і мають відповідне посвідчення, можуть займатися обслуговуванням систем, які працюють під тиском. Цю підготовку здійснюють у відповідних навчальних закладах, що мають відповідний дозвіл від Держнаглядохоронпраці. Знання працівників, які обслуговують такі системи, перевіряються не рідше одного разу на рік.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Адміністрація підприємства зобов'язана забезпечити надійну та безпечну експлуатацію систем, які працюють під тиском, забезпечуючи їхню справність і безпеку. На підприємствах повинні бути розроблені, затверджені та розміщені на видних місцях інструкції з безпечного обслуговування таких систем, а також видані працівникам під розписку.

У встановленому порядку на підприємстві призначається відповідальна особа, яка відповідає за справний стан та безпечну експлуатацію систем (посудин), що працюють під тиском.

Посудини, що працюють під тиском, відносяться до об'єктів підвищеної небезпеки. Тому при їх виготовленні та експлуатації необхідно дотримуватись вимог ДНАОП 0.00-1.07-94 «Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском». Ці правила стосуються посудин, що працюють під тиском води або інших рідин, пари або газу, а також балонів і цистерн для зберігання газів і рідин під тиском.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

Періодично трубопроводи проходять інспекції та гідравлічні випробування. Під час інспекцій перевіряється стан зварних та фланцевих з'єднань, сальників, ухилів, прогинів, міцності несучих опор та конструкцій. Гідравлічні випробування використовуються для перевірки герметичності та міцності трубопроводу. У разі, якщо під час гідравлічного тестування тиск у трубопроводі не падає, а також на зварних швах, фланцевих з'єднаннях та корпусах запобіжних пристроїв не виявляються тріщини, розриви або витікання, тестування вважається успішним.

Головними причинами аварій при експлуатації систем, що працюють під тиском, можуть бути: низька якість виготовлення, монтажу або ремонту посудин, апаратів, трубопроводів; порушення технологічних режимів та правил експлуатації; несправність запобіжних пристроїв, контрольно-вимірювальних приладів і арматури; корозія металу.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

Список використаної літератури

1. Свердлов Г.З., Явнель Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха – М.Пищевая пром-сть,1977г.-234 с.
2. Явнель Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха – М. Агропромиздат, 1988г. – 260 с.
3. Кондрашова Н.Г. Лашутина Н.Г. Холодильно - Компрессорные машины и установки – М.Высш.шк.,1983 – 329 с.
4. Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. – Одесса: Студия «Негоциант»,2006. – 723 с.(с приложением).
5. Холодильные установки. Проектирование: Учеб.пособие / И.Г. Чумак, А.Е. Лагутин, В.П.Чепурненко, С.Ю. Ларьяновский и др.; Подред. докт. тех.н.проф. И.Г.Чумака. – Одесса:Друк,2007. – 419с.
6. Холодильні установки:Підручник / І.Г.Чумак,В.П.Чепурненко,С.Ю.Лар'яновський та ін.;За ред..І.Г.Чумака. – Одеса: Рефпринтінфо,2006. – 558с.
7. Брайдерт Г.Й. Проектирование холодильных установок. Расчеты,параметры,примеры. Москва:Техносфера,2006. – 340 с.
8. Масліков М.М. Холодильна технологія харчових продуктів: Навч.посіб. – К,:НУХТ.2007 – 324с.
9. Грищук М.В. Основи охорони праці. – К.:Кондор.2007 – 239 с

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Самойлов А.И.,Игнатьев В.Г. Охрана труда при обслуживание холодильных установок. – М.:Агропромиздат,1983. – 144с.

11. Голованов Г.С.,Френклах М.Б.Охрана труда при обслуживании холодильного оборудования. – Л.:Машиностроение,1983. – 144с.

12. Пономаренко, А. А. "Современные холодильные установки и системы." – М.: Издательство "Машиностроение", 2016.

13. Третьяков, В. Н. "Холодильные машины и установки: проектирование и эксплуатация." – СПб.: Лань, 2017.

14. Золотарев, С. В. "Энергоэффективные холодильные установки." – М.: Издательство "Энергия", 2018.

15. Курганов, В. Н. "Основы холодильной техники и технологии." – Минск: Вышэйшая школа, 2019.

					КР000.142.008.012.2024РПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		