

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого**  
**Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки**

**«До захисту в ЕК»**

Директор інституту

Сергій Блаженко

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

Валентин Петренко

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 142 Енергетичне машинобудування

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми \_\_\_\_\_

Холодильні техніка та технологія

на тему: Проект заводу для переробки ягід, овочів та фруктів продуктивністю 60т на добу м. Кам'янка-Бузька з порівняльним аналізом роботи ХУ на базі різних схемних рішень

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗХМ-2-6М

Корнієнко Ігор Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Форсюк Андрій

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Я як здобувач Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

(підпис та прізвище здобувача)

Київ – 2024 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С.Гулого  
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Холодильні техніка та технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ТЕХТ**

проф. Петренко В.П.

“ ” грудня 2024 року

## **З А В Д А Н Н Я**

### **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Корнієнко Ігор Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект заводу для переробки ягід, овочів та фруктів продуктивністю 60т на добу м. Кам'янка-Бузька з порівняльним аналізом роботи ХУ на базі різних схемних рішень керівник роботи проф., Форсюк А.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 01.10.2024 року № 860-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 07.12.2024 року

3. Вихідні дані до роботи Заморожування та зберігання ягід овочів та фруктів

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1.Технологічна схема холодильного оброблення продукції, 2.Техніко – економічне обґрунтування, 3.Визначення основних розмірів і планування приміщень холодильника, 4.Розрахунок ізоляційних конструкцій холодильника, 5.Розрахунок теплонадходжень до охолоджуваних приміщень, 6. Визначення навантаження на теплообмінне обладнання камер та компресор 7. Вибір структури системи охолодження та типу холодильної установки, 8.Розрахунок та оцінка схемних рішень з використанням різних холодоагентів, 9. Вибір газоохолодників та інтеркулерів, 10. Розрахунок і вибір теплообмінного обладнання холодильних камер, 11. Підбір допоміжного обладнання, 12.Електропостачання холодильної установки, 13.Автоматизація, 14.Розрахунок техніко – економічних показників, 15. Вимоги до розміщення холодильних установок, 16. Монтаж і випробування систем холодопостачання, 17. Охорона оточуючого середовища, 18. Безпека експлуатації, 19. Енергозбереження, 20. Вказівки до суміжних підрозділів

5. Перелік графічного матеріалу

План та розріз будівлі, схеми холодильної установки, схема тунелю UNIDEX,



## АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі магістра розроблено та спроектовано завод для переробки ягід, овочів та фруктів продуктивністю 60т на добу м. Кам'янка-Бузька. Система охолодження камер – DX-схема, централізована та реалізована за допомогою повітроохолодників. Для заморозки продукції підібрано IQF тунель TZF 2A UDS польської фірми UNIDEX. В проєкті була розроблена холодильна схема з варіативними розрахунками, проведено вибір необхідного холодильного режиму та здійснено вибір обладнання з метою енергоефективності роботи заводу.

Результатами розрахунків є оптимальний вибір обладнання для забезпечення ефективності при найбільш несприятливих умовах та мінімізації витрат електроенергії. Проведено розрахунки будівельних конструкцій, теплоізоляції, теплових втрат та вибір основного та допоміжного обладнання холодильної установки.

Проєкт включає розділи з охорони праці, цивільного захисту та розрахунку техніко-економічних показників. Графічна частина включає плани та розрізи холодильника, схеми трубопроводів, креслення флюїдизаційного тунелю, схеми автоматизації у форматах A0 та A1.

У виконанні розрахунків та проєктуванні використовувалися програми "myGUNTNER GPC", "Bock CO2 Tools 1.4.9", "Coolselector2", "Carel CPQ Selection Tool", "Microsoft Office Pro 2019" "Mathcad" та інші. Креслення та схеми підготовлені за допомогою програми "AutoCAD 2022". Список літератури містить 19 джерел.

**Ключові слова:** CO<sub>2</sub>, вуглекислота, тунель, холодильник, повітроохолодники, ефективність, зберігання, продукт, техніко-економічні показники, теплоізоляція.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розробив		Варченко А.А.			Проєкт заводу для переробки ягід, овочів та фруктів продуктивністю 60т на добу м. Кам'янка-Бузька з порівняльним аналізом роботи ХУ на базі різних схемних рішень	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
Керівник		Форсюк А.В.					4	86
Консульта нт						<b>НУХТ, ТЕХТ, ЗХМ-2-6М</b>		
Рецензент								
Затвердив		Петренко В.П.						

## ANNOTATION

The master's qualification work develops and designs a plant for processing berries, vegetables, and fruits with a productivity of 60 tons per day in the city of Kamianka-Buzka. The cooling system for the chambers is based on a DX-scheme, centralized and implemented with air coolers. A IQF tunnel freezer model TZF 2A UDS by the Polish company UNIDEX is selected for freezing the products. The project includes the development of a refrigeration scheme with variable calculations, the selection of the required refrigeration mode, and the selection of equipment to ensure energy efficiency in the operation of the plant.

The results of the calculations show the optimal choice of equipment to ensure efficiency under the most unfavorable conditions and minimize electricity consumption. Calculations of building structures, insulation, heat losses, and the selection of main and auxiliary equipment for the refrigeration unit have been carried out.

The project includes sections on labor protection, civil defense, and the calculation of technical and economic indicators. The graphic part includes plans and cross-sections of the refrigerator, piping diagrams, drawings of the fluidization tunnel, and automation diagrams in A0 and A1 formats.

The calculations and design work were carried out using programs such as "myGUNTNER GPC," "Bock CO2 Tools 1.4.9," "Coolselector2," "Carel CPQ Selection Tool," "Microsoft Office Pro 2019," "Mathcad," and others. The drawings and diagrams were prepared using "AutoCAD 2022." The bibliography contains 19 sources.

Keywords: CO<sub>2</sub>, carbon dioxide, tunnel, refrigerator, air coolers, efficiency, storage, product, technical and economic indicators, insulation.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						5
ЗМН.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

### Вступ

1.	Холодильна технологія оброблення продукції .....	8
2.	Техніко – економічне обґрунтування .....	9
3.	Характеристика використовуваного холодильного агента та теплоносіїв ...	10
4.	Визначення основних розмірів і планування приміщень холодильника.....	13
5.	Розрахунок ізоляційних конструкцій холодильника .....	15
6.	Розрахунок теплонадходжень до охолоджуваних приміщень.....	19
7.	Вибір структури системи охолодження та типу холодильної установки.....	24
8.	Розрахунок та оцінка схемних рішень з використанням різних холодоагентів .....	26
9.	Вибір газоохолодників та інтеркулерів .....	49
10.	Розрахунок і вибір теплообмінного обладнання холодильних камер.....	51
11.	Підбір допоміжного обладнання.....	53
12.	Електропостачання холодильної установки.....	54
13.	Автоматизація.....	57
14.	Розрахунок техніко – економічних показників .....	59
15.	Вимоги до розміщення холодильних установок.....	67
16.	Монтаж і випробування систем холодопостачання .....	68
17.	Охорона оточуючого середовища .....	70
18.	Безпека експлуатації .....	72
19.	Енергозбереження .....	79
20.	Вказівки до суміжних підрозділів .....	81

### Список використаної літератури

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Штучне охолодження, яке знаходить своє застосування вже протягом декількох століть, є ключовим елементом для задоволення потреб людства. Починаючи з винайдення перших холодильних машин, холод став невід'ємною складовою багатьох технологічних процесів, зокрема в харчовій промисловості. Згодом методи використання холоду постійно удосконалювалися, і галузь харчової технології, яка вивчає та застосовує холод для покращення якості продуктів, отримала назву "холодильна технологія харчових продуктів".

Ефективне виробництво продуктів тісно пов'язане з широким використанням штучного холоду. Приблизно половина всіх харчових продуктів залишається у зберіганні за допомогою штучного холоду. Забезпечення безперервного холодильного кола визначається як обов'язкова вимога для збереження високоякісних продуктів протягом усього їхнього шляху від заготівлі чи виробництва до споживання.

Інтенсифікація процесів охолодження та застосування знижених температур сприяють поліпшенню якості продуктів і зменшенню витрат. Побудова вказаного холодильника дозволить створити необхідні сезонні запаси для рівномірного постачання населення продуктами першої необхідності протягом року.

Широкий спектр застосування холодильної техніки дозволяє:

- Створювати запаси швидкопсувних харчових продуктів у різноманітному асортименті;
- Збільшувати тривалість зберігання заморожених харчових продуктів;
- Рівномірно постачати на ринок харчові продукти сезонного виробництва;
- Зменшувати товарні втрати при зберіганні та транспортуванні продовольчих товарів;
- Впроваджувати прогресивні методи надання послуг населенню підприємствами торгівлі і громадського харчування.

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1. ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ

В даному проекті розробляється система холодопостачання продуктивністю 60 т/добу у місті Кам'янка-Бузька, Львівського району, Україна.

В холодильнику зберігається заморожена продукція та охолоджена сировина. Передбачено дві камери низько-температурного зберігання готової продукції, згруповані та розміщені таким чином, що знаходяться поруч з іншими холодними приміщеннями для збільшення енергоефективності, камери зберігання мають прямий вихід в охолоджуваний транспортний коридор, який веде до камери експедиції готової замороженої продукції та поєднаний з холодним цехом заводу, з камери експедиції готова продукція одразу має доступ на транспортні платформи.

Для заморожування рослинної сировини було прийнято використання комбінованого методу заморожування: для великих партій продукції передбачається використання флюїдизаційного тунелю шокової заморозки потужністю 3т тони за годину, він розташований між мокрим цехом попередньої обробки та холодним цехом товарної обробки; для малих партій сировини передбачається використання камери статичної шокової заморозки розрахованою потужністю в 1 тонну за годину, вона розташована з доступом одразу з холодного цеху. Також передбачається камера попереднього охолодження сировини з метою осушення надлишкової вологи з рослинної сировини та завчасне охолодження спрямоване на збільшення часу зберігання сировини без зменшення її якості внаслідок природніх процесів що проходять в рослинній сировині.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Розрахована теплоізоляція холодильних камер теплоізоляційним матеріалом - ППУ (Пінополіуретан), який становлюється в металічному каркасі несучих конструкцій. Тип стелі холодильника –двохскатна з горищем.

Компресорне обладнання розташоване в машинному відділенні в зоні будівлі, яка вбудована в основний периметр будівлі та не має зовнішньою стіни і відділена від цеху стіною.

При розміщенні всього обладнання в одному приміщенні забезпечується найкоротший зв'язок між окремими елементами холодильної установки, що дозволяє зменшити довжини трубопроводів.

В якості холодильного агента застосовується вуглекислота R744. Серед переваг CO<sub>2</sub> є його низька вартість, безпечність для навколишнього середовища та висока теплота пароутворення. Основний недолік CO<sub>2</sub> – при розгерметизації системи можливе підвищення концентрації в повітрі, що має шкідливий вплив на організм людини. Вуглекислота є агресивною чорних сталей при утворенні вугільної кислоти .

Газоохолодник підібрано з адіабатичними панелями для покращення енергетичних характеристик холодильної машини .

Поршневі компресора обрано фірми Вокс, що мають вищий КПД у порівнянні з іншими виробниками

Кубічні повітроохолоджувачі в камерах зберігання розміщені при вході в камери над дверима для полегшення доступу до них. У виробничих цехах випарники підібрані стелевого виконання, що розміщуються по центру приміщення. Для камери статичної шокової заморозки, використано шок-фростери підлогового виконання.

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИКОРИСТОВУВАНОВОГО ХОЛОДИЛЬНОГО АГЕНТА ТА ТЕПЛОНОСІЇВ

Холодоагент R744 є унікальним серед природніх агентів через високі показники безпеки та енергоефективності. Він є негорючим, нетоксичним, а також вибухобезпечним. Існує у природньому середовищі, а саме у атмосфері при концентрації близько 400 ppm. У якості робочого середовища має дуже високі показники енергоефективності через високу щільність та низьку в'язкість газу що як результат дає зменшення втрат тиску у трубопроводах та теплообмінному обладнанні, що дозволяє зменшити масо-габарит обладнання та трубопроводів в порівнянні з ГФВ. Також завдяки цій особливості має дуже високі показники теплопередачі та теплоємкості. Має великий діапазон температур який можна задіяти як для низькотемпературного холоду, так і для рекуперації високо-потенційного тепла у великих об'ємах. Ці параметри роблять його одним з найкращих контрольованих середовищ для холодильного обладнання, особливо в системах середньої та великої потужності. Класифікується у групі безпеки A1 згідно з стандартом ASHRAE.

Озоноруйнуючий потенціал – 0, потенціал глобального потепління – 1.

Холодоагент R744 рекомендується застосовувати в низько- і середньотемпературних комерційних холодильних установках, транспортних холодильних установках, у тому числі у контейнерах, а також в низькотемпературному промисловому холодильному обладнанні.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця №3.1. Фізико-хімічні властивості R744

Характеристики	Одиниці виміру	R744
Потенціал руйнування озонowego шару (ODP)		0
Потенціал глобального потепління (GWP)		1
Середня молярна маса	г/моль	44,01
Щільність рідини при 25 °С	г/см <sup>3</sup>	0,7105
Температура потрійної точки (при 5,2 Бар)	°С	-56,6
Критична температура	°С	31,06
Критичний тиск	МПа	7,36

Завдяки цим властивостям він є ідеальним холодоагентом там, де необхідні безпека і високі показники екологічності та енергоефективності.

Холодоагент R744 не є горючим та не підтримує горіння, але його високий тиск, та особливості впливу на людину при високих концентраціях які можуть призвести до погіршення самопочуття обслуговуючого персоналу. Високий потенціал утворення сухого льоду повинен враховуватись при проектуванні, застосуванні та введенні в експлуатацію.

Коефіцієнт розширення для R744 значно вищий, ніж для інших холодоагентів. Як правило, якщо рідкий R744 потрапляє у замкнутий герметичний простір, тиск збільшується на 10 Бар за кожне підвищення температури на 1 °С. Для уникнення ризиків, пов'язаних з цим, необхідно передбачити байпасування газу на відсічених ділянках трубопроводу через зворотні клапани, та забезпечити систему пристроями автоматичного захисту.

Сухий лід (тверда вуглекислота) утворюється тоді, коли тиск і температура холодоагенту знижуються до потрійної точки. Цього не відбувається за нормальних умов працюючої холодильної системи, але може статись у випадку:

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- Запобіжні клапани не закриті до кінця не випускають пари холодоагенту;
- Розгерметизація системи для ремонтних або сервісних робіт;
- Аварійна розгерметизація системи у наслідок механічних, антропогенних, погодних явищ;
- Заправка системи, яка знаходиться під вакуумом;

Сухий лід не розширюється, коли утворюється, але переходить із твердого стану відразу в газоподібний. Це призводить до раптового значного підвищення тиску як локально, так і в усьому контурі.

Контакт з твердим або рідким R744 може спричинити обмороження, та термічного опіку, тому його слід уникати. Під час роботи з вуглекислою завжди має бути відповідний спецодяг, окуляри та навушники, задля уникнення опіку. Температура сухого льоду становить  $-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Одним із недоліків R744 є те, що витікання з системи не супроводжується характерним запахом чи кольором. Відповідно, необхідно враховувати ці особливості, та обладнувати місця де можливе витікання вуглекислоти, спеціальними давачами. Оскільки R744 є важчим за повітря, давачі та витяжні вентилятори слід розміщувати на рівні близько 20-30 см від підлоги.

Пропілен-гліколь обраний у якості теплоносія проміжних контурів, є в'язким безкольорову рідину, майже немаючу запаху, але має трохи солодкуватий смак. Має високий показник розчинності у воді та інших розчинниках. Являється безпечним для оточуючого середовища та людей теплоносієм. Розчин пропілен-гліколю з водою утворює теплоносій який стає антифризом та знижує температуру замерзання води а також підвищує температуру кипіння води. Обрано теплоносій фірми ТОВ "СТРОН" Тепло-П, показника 30К, який має рожевий колір, спеціальні інгібітори корозії, піногасники, демінералізовану воду, та інші корисні домішки. Не містить гліцерину тому має низьку в'язкість.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ І ПЛАНУВАННЯ ПРИМІЩЕНЬ ХОЛОДИЛЬНИКА

Висота приміщень прийнята 6м для цехів та камери попереднього охолодження, 12 м – для камер зберігання замороженої продукції, 4 м -для камери статичної шокової заморозки

Площу  $F_k$  камери попереднього охолодження визначаємо за формулою:

$$F_k := \frac{B_k}{q_v \cdot h_b \cdot \beta} \quad F_k := \frac{60}{0.25 \cdot 2 \cdot 0.75} = 160$$

де  $B_k$ - Місткість холодильника, т.;  $q_v$  - норма загрузки на  $1\text{м}^3$  вантажного об'єму камери;  $h_b$ - вантажна висота штабеля, м;  $\beta$  - коефіцієнт використання площі камери.

Приймаю розміри приміщення цехів та камер:

Камера №1 для охолодження продукції  $10 \times 18 = 160 \text{ м}^2$

Цех №2 – для підготовки до заморозки  $42 \times 18 = 756 \text{ м}^2$

Камера №3 – експедиція для відвантаження замороженої продукції  $18 \times 12 = 216 \text{ м}^2$

Камера № 4.1 – Зберігання замороженої продукції  $42 \times 18 = 756 \text{ м}^2$

Камера № 4.2 – Зберігання замороженої продукції  $42 \times 18 = 756 \text{ м}^2$

Побутові приміщення –  $276 \text{ м}^2$

Дійсна ємність камер  $E$  тон, визначається за формулою:

$$E_{\text{дійсн.}} = f \times n \times q_{\text{дійсн.}} \times \beta \times h_{\text{дійсн.}}$$

де  $f$ - площа камери,  $\text{м}^2$ ;  $n$ - кількість камер певної продукції;  $q_{\text{дійсн.}}$  - норма загрузки на  $1\text{м}^3$  вантажного об'єму камери певної продукції;  $\beta$  - коефіцієнт використання площі камери;  $h_{\text{дійсн.}}$ - вантажна висота штабеля певної продукції.

Камери зберігання замороженої продукції №4.1 та 4.2:

$$E_{\text{дійсн.}} := 756 \cdot 2 \cdot 0.5 \cdot 0.8 \cdot 11 = 6.653 \cdot 10^3$$

									Арк.
									13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.MP.142.003.081.ПЗ				

Ширина вантажного коридору 6м.

Виходячи з розрахунків та генерального плану території  
розробляємо планування камер холодильника

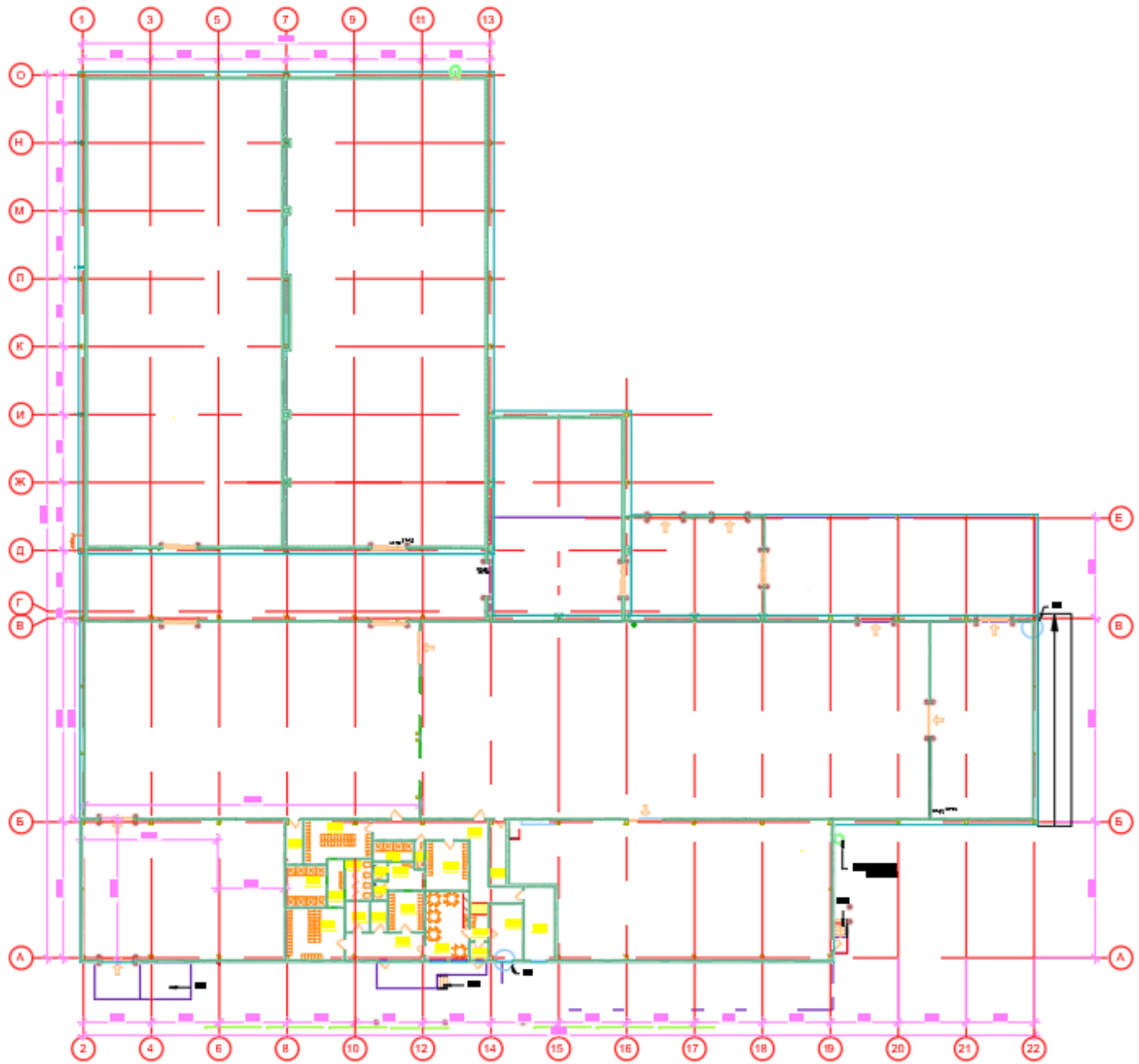


Рис.4.1 Планування заводу

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. РОЗРАХУНОК ІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ ХОЛОДИЛЬНИКА

Стіни і стеля холодильних камер виконані із сендвіч панелей

В якості наповнювача сендвіч панелей використовується пінополіуретан, характеризується малим коефіцієнтом теплопровідності ( 0,023 Вт/мК), високою жорсткістю, відноситься до класу вогнетривкості Г1 (слабогорючі матеріали, без самостійного горіння), не токсичний. Високі капітальні затрати перебиваються низькими експлуатаційними затратами і довговічністю матеріалу.

Товщину ізоляційного шару визначають за формулою:

$$\delta_{i3} = \lambda_{i3} \left[ \frac{1}{k_0} - \left( \frac{1}{\alpha_3} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_6} \right) \right], \text{ м.}$$

де  $\lambda_{i3}$ ,  $\lambda_i$  – коефіцієнти теплопровідності ізоляційного шару і будівельних матеріалів, утворюючих конструкцію огороження, Вт/(мК);

$k_0$  – потрібний коефіцієнт теплопередачі огороження, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$\alpha_3$ ,  $\alpha_6$  – коефіцієнти тепловіддачі із зовнішньої і внутрішньої сторони, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$\delta_i$  – товщина окремих слоїв конструкції огороження, м.

Після приймання товщини ізоляції визначається дійсний коефіцієнт теплопередачі:

$$k_D = \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_3} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_6} \right) + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}}}, \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

Оскільки у сендвіч панелей товщина металевих листів дуже мала, і коефіцієнт теплопровідності їх досить великий тому ними можна знехтувати.

Тоді формула матиме вигляд:

$$\delta_{i3} = \lambda_{i3} \left[ \frac{1}{k_0} - \left( \frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\alpha_6} \right) \right], \text{ м.}$$

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Розрахунок товщини ізоляції для зовнішньої стінки



Рис.4.1 Конструкція зовнішньої стінки

$$\delta_{із} := 0.023 \cdot \left( \frac{1}{0.2} - \left( \frac{1}{23} + \frac{1}{11} \right) \right) = 0.112$$

Приймаю сендвіч панель товщиною 160мм.

Дійсний коефіцієнт теплопередачі становить:

$$\kappa_{\partial} := \frac{1}{\left( \frac{1}{23.3} + \frac{1}{11} \right) + \frac{0.16}{0.023}} = 0.141$$

### Розрахунок товщини ізоляції для внутрішньої стінки



Рис.4.2 Конструкція внутрішньої стінки

$$\delta_{із} = 0,023 \left[ \frac{1}{0,41} - \left( \frac{1}{8} + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,051 \text{ м.}$$

Приймаю сендвіч панель товщиною 100мм.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Дійсний коефіцієнт теплопередачі становить:

$$k_d = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + \frac{1}{9}\right) + \frac{0,1}{0,023}} = 0,218 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

#### Розрахунок товщини ізоляції для перегородки



Рис.4.3 Конструкція перегородки

$$\delta_{із} = 0,023 \left[ \frac{1}{0,58} - \left( \frac{1}{9} + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,034 \text{ м.}$$

Приймаю сендвіч панель товщиною 100мм.

Дійсний коефіцієнт теплопередачі становить:

$$k_d = \frac{1}{\left(\frac{1}{9} + \frac{1}{9}\right) + \frac{0,1}{0,023}} = 0,219 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

#### Розрахунок товщини ізоляції для підлоги

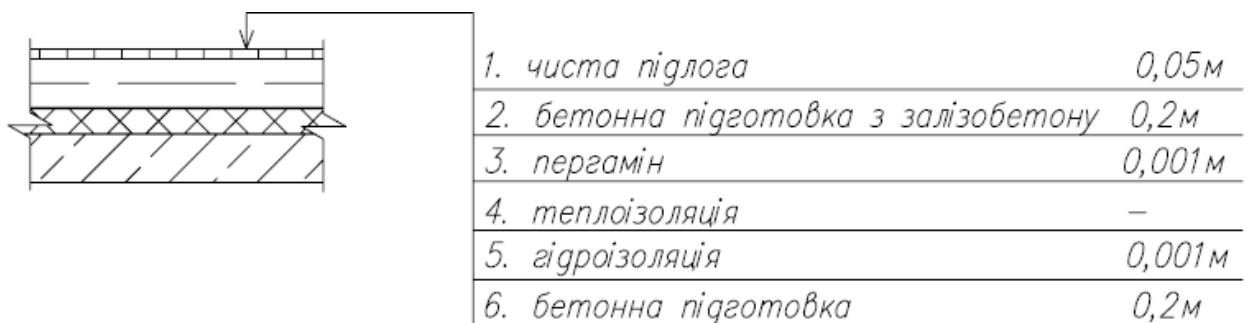


Рис.4.4 Конструкція підлоги

$$\delta_{із} = 0,023 \left[ \frac{1}{0,41} - \left( \frac{1}{9} + \frac{0,05}{1,4} + \frac{0,2}{1,6} + \frac{0,001}{0,14} + \frac{0,001}{0,3} + \frac{0,2}{1,4} \right) \right] = 0,046 \text{ м.}$$

Приймаю сендвіч панель товщиною 80мм.

Дійсний коефіцієнт теплопередачі становить:

$$k_d = \frac{1}{\left(\frac{1}{9} + \frac{0,05}{1,4} + \frac{0,2}{1,6} + \frac{0,001}{0,14} + \frac{0,001}{0,3} + \frac{0,2}{1,4}\right) + \frac{0,08}{0,023}} = 0,256 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

### Розрахунок товщини ізоляції для покрівлі

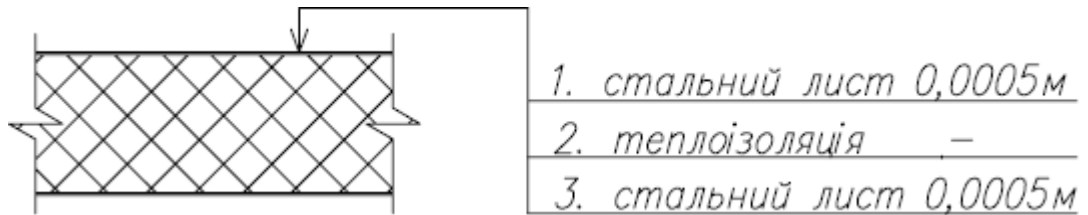


Рис.4.5 Конструкція покрівлі

$$\delta_{із} = 0,023 \left[ \frac{1}{0,45} - \left( \frac{1}{23} + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,047 \text{ м.}$$

Приймаю сендвіч панель товщиною 100мм.

Дійсний коефіцієнт теплопередачі становить:

$$k_d = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + \frac{1}{9}\right) + \frac{0,1}{0,023}} = 0,222 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

## 6. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОПРИПЛИВІВ В КАМЕРИ ХОЛОДИЛЬНИКА

Холодильне обладнання підбирається на основі теплового розрахунку, враховуючи всі види тепло надходжень, котрі можуть вплинути на зміну температурного режиму в камерах.

Оскільки обладнання підбирають для кожної камери окремо, то і тепловий розрахунок виконують для кожного охолоджує мого приміщення.

Враховують наступні теплонадходження:

- Через огороджуючи конструкції приміщення ;
- Від продуктів при їх холодильній обробці ;
- Від зовнішнього повітря при вентиляції приміщень ;
- Експлуатаційні тепло надходження ;
- Від продуктів при диханні ;

Теплонадходження в камери холодильника не являються постійними. Вони залежать від сезонності заготовки або надходження продуктів та інших причин.

Основну долю теплоприпливів складають тепло надходження через огороджуючи конструкції і від продуктів при холодильній обробці

Розрахунок проводився з використанням наведених нижче формул, з метою не розголошення комерційної таємниці самі розрахунки не можуть бути внесені в проект, тому головні параметри були зведенні в таблицю № 5.1.

Розрахунок теплопритоків у камери в результаті теплопередачі через її стіни:

$$Q_1 = K * S * \Delta t, \text{ Вт,}$$

Де  $K$  – коефіцієнт теплопередачі стіни  $\text{Вт/м}^2\text{*К}$ ;

$S$  – площа поверхні стіни,  $\text{м}^2$ ;

$\Delta t$  – різниця температур повітря по обидва боки стіни,  $\text{К}$ .

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплове навантаження в результаті відкривання дверей:

$$Q_2 = q * Dt * Df * (1-E), \text{ кВт},$$

де  $q$  - сумарне добове теплове навантаження на холодильну камеру, кВт,  
для повністю усталеного повітряного потоку з урахуванням різниць

щільності, тепловмісту, вологовмісту зовнішнього і внутрішнього повітря,

а також розмірів дверного отвору;

$Dt$  - коефіцієнт, який враховує час, коли протягом доби двері залишаються відкритими;

$Df$  - коефіцієнт, який враховує характер повітряного потоку в дверному отворі;  $E$  - ступінь ефективності захисного пристрою (завіси) дверного отвору.

$$q = 0.692A (\text{ізов-івн}) \text{ рвн} F_m H (1-\text{рзов}/\text{рвн}),$$

де  $A$  - площа дверного отвору, м<sup>2</sup>; для прямокутних дверей  $A = H * L$ ,  $H$  - висота і  $L$  - ширина дверного отвору, м;

$\text{ізов}$ ,  $\text{івн}$  - тепловміст (ентальпія), кДж/кг, відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря;

$\text{рзов}$ ,  $\text{рвн}$  - щільність, кг/м<sup>3</sup> відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря;

$F_m$  - коефіцієнт, який враховує різницю щільності повітря зовні і всередині камери:

$$F_m = [2 / (1 + (\text{рзов} / \text{рвн})^{1/3})]^{3/2};$$

Коефіцієнт  $Dt$  визначається за формулою:

$$Dt = (n\tau_1\text{відкр} + 60\tau_2\text{відкр}) / 86400,$$

де  $n$  - щодобове число проходів через дверний проріз;

$\tau_1\text{відкр}$  - час відкривання / закривання дверей, з, при кожному проході;

$\tau_2\text{відкр}$  - час, хвилини, протягом доби, коли двері залишаються відкритими.

Теплове навантаження при термообробці продуктів.

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплове навантаження, обумовлене зниженням температури закладених в камеру продуктів до температури зберігання, визначається за формулою:

$$Q_3 = (m_{пр} * z_1 * (t_1 - t_2) + m_{пр} * L + m_{пр} * c_2 * (t_2 - t_3)) / 86400, \text{ кВт},$$

де  $m_{пр}$  - добовий вантажообіг продуктів, кг/за добу;

$c_1$  - середня питома теплоємність в інтервалі температур від  $t_1$  до  $t_2$  для кожного типу продуктів, що закладають, кДж/кг;

$t_1$  - початкова температура продуктів, що закладають, °С;

$t_2$  - температура верхньої точки замерзання продуктів, що закладають, °С;

$L$  - прихована теплота заморожування продуктів, що закладають, кДж/кг;

$c_2$  - середня питома теплоємність в інтервалі температур від  $t_1$  до  $t_2$  для кожного типу продуктів, що закладають, кДж/кг;

$t_3$  - температура зберігання продуктів, що закладають, °С;

86400 - число секунд в добі, с/за добу.

Теплове навантаження в результаті "дихання" закладених в камеру продуктів:

$$Q_4 = (m * q_{дох}) / 86400, \text{ кВт},$$

де  $m$  - маса продуктів, кг;

$q_{дох}$  - теплота дихання даних продуктів, кДж/кг\*за добу;

86400 - число секунд в добі, с/за добу.

Теплове навантаження від освітлення:

$$Q_5 = n * P * \tau / 24, \text{ Вт},$$

де  $n$  - число світильників;

$P$  - потужність кожного світильника, Вт;

$\tau$  - щоденне час роботи світильників, годину/за добу;

24 - число годин у добі.

Теплове навантаження обумовлена присутністю персоналу:

$$Q_6 = n * q_{перс} * \tau / 24, \text{ Вт},$$

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $n$  - число співробітників, які працюють в холодильній камері;  
 $q_{\text{перс}}$  - кількість тепла, що виділяється в одиницю часу від однієї людини при середній активності, Вт;

$\tau$  - тривалість щоденного перебування одного співробітника в холодильній камері, год / добу;

24 - число годин у добі.

Теплове навантаження від підйомнотранспортних засобів:

$$Q_7 = n * P * \tau / 24, \text{ Вт}$$

де  $n$  - число транспортних засобів даного типу;

$P$  - потужність електродвигунів підйомнотранспортного засоба, Вт;

$\tau$  - добова тривалість роботи підйомнотранспортного засоба в холодильній камері с/за добу;

24 - число годин у добі.

Теплове навантаження від інших механізмів, які знаходяться в холодильній камері:

$$Q_8 = n * P * \tau / 24, \text{ Вт},$$

де  $n$  - число механізмів даного типу;

$P$  - потужність кожного механізму, Вт;

$\tau$  - щоденний час роботи кожного типу механізмів, година/за добу;

24 - число годин у добі.

Коефіцієнт безпеки  $K_{\text{без}}$ .

Цей коефіцієнт враховує незнання нами деяких параметрів, які перераховані вище. Значення коефіцієнта безпеки, як правило, знаходиться в межах від 1,0 до 1,1.

Проміжна холодопродуктивність.

Холодопродуктивність випарника, яка дозволяє компенсувати проміжне теплове навантаження (суму всіх визначених раніше теплових навантажень)  $Q_9$ :

$$Q_9 = 24 * K_{\text{без}} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8) / \tau_{\text{р}}$$

де  $\tau_{\text{р}}$  - щоденна тривалість роботи холодильної установки, год/за добу;

24 - число годин у добі.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплове навантаження від двигунів вентиляторів і електронагрівачів відтайки повітроохолоджувачів:

$$Q_{10} = (n1 * P1 * t_{вен} + 0,3 * n2 * P2 * \tau_{відт}) / \tau_r, \text{ Вт},$$

де n1 - число електродвигунів вентиляторів;

P1 - потужність кожного вентилятора, Вт;

tвен - щоденне час роботи вентиляторів, година/за добу;

\tau\_r - щоденне час роботи холодильної установки, год /за добу;

0,3 - коефіцієнт, який враховує частку тепла електронагрівачів відтайки, яка йде на збільшення теплового навантаження на камеру;

n2 - число електронагрівальних елементів;

P2 - тепла потужність кожного електронагрівального елемента, Вт;

\tau\_{відт} - щоденна тривалість відтавання, година/за добу.

Потрібна холодопродуктивність:

$$Q_0 = Q_9 + Q_{10}, \text{ Вт}.$$

Таблиця №3.1. Зведена таблиця витрат холоду (камери):

Номер Х/К	Найменування камери	Температурний режим в камері, °С.	Розрахункова холодопродуктивність, кВт.	Сумарна розрахункова холодопродуктивність, кВт.
1.01	Камера попереднього охолодження	0...4	97	MT-10 = 240 кВт LT-33= 350 кВт.
1.04	Цех підготовки сировини до заморожування	14	40	
1.07	Камера готової продукції	-18...-24	26	
1.08	Камера зберігання замороженої продукції	-18...-24	87	
1.09	Камера зберігання замороженої продукції	-18...-24	87	
1.10	Транспортний коридор	0...-5	10	
1.11	Сортувальний цех	+2...-4	84	
1.11	Сортувальний цехосушення	+2...-4	20	
1.12	Камера шокової заморозки	-33	120	
-	Тунель шокової заморозки	-33	600	

## 7. ВИБІР СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ТИПУ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Проектом передбачається децентралізована система холодопостачання. Для досягнення цілей описаних в технічному завданні передбачається використання трьох холодильних систем розміщених на окремих агрегатах. Холодильні машини багато компресорні на базі поршневих напівгерметичних компресорів з конденсатором/газооходником, працює у транскритичному або субкритичному режимі, обрано використання технологій відводу надлишкових парів холодоагенту з лінійного ресиверу рекуперації парів холодоагенту байпасною лінією, та на двох машинах відвід парів холодоагенту завдяки проміжному контуру компресорів. В системі станції камер передбачаються окремі лінії всмоктування та рідини, для двох режимної роботи з різними температурами кипіння (-35;-10). В системах холодопостачання тунелей одна лінія всмоктування та рідини. У якості холодоагенту застосовується R744 (вуглекислота, CO<sub>2</sub>).

Передачу холоду споживачеві здійснюють повітроохолодні теплообмінники з безпосереднім кипінням холодильного агента, розташовані у холодильних камерах. У теплообміннику проходить процес теплопередачі від теплішого повітря приміщення, до вуглекислоти, далі охолоджене повітря повертається у приміщення.

Тепло від роботи холодильної машини рекуперується у паяних пластинчатих теплообмінниках від більш гарячої вуглекислоти до холоднішого пропілен-гліколю, першого контуру(ІСНТ), на використання об'єктом через пропілен-гліколевий контур(ІСНТ) до загальної системи розподілу тепла по споживачам через пластинчатий розбірний теплообмінник, у якому гарячіший пропілен-гліколь нагріває холоднішу воду для задоволення потреб підприємства.

Контури теплоносіїв герметичні та знаходяться під тиском.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Надлишкова теплота від холодильних машин відводиться за допомогою адіабатичного газоохолоджувача з повітряним охолодженням.

Підтримка заданих параметрів роботи холодильної машини відбувається завдяки приладам автоматики та регулюючій арматурі, яка монтується на трубопроводах.

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 8. РОЗРАХУНОК ТА ОЦІНКА СХЕМНИХ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ХОЛОДОАГЕНТІВ

У цьому розділі проводиться детальний аналіз та розрахунок різних схемних рішень з використанням різних холодоагентів. Задача полягає в ідентифікації оптимального холодоагента, який забезпечить ефективну та енергоефективну роботу холодильної установки для зберігання фруктів.

Перш за все, буде розглянуто використання вуглекислоти (R744) як холодоагента, з урахуванням його властивостей та екологічних параметрів. Подальші розділи будуть присвячені розрахунку теплових процесів, вибору обладнання та оптимізації параметрів роботи системи.

Далі розглянемо альтернативні варіанти із застосуванням R507a . Розрахунки теплообміну, теплових втрат та витрат електроенергії врахують особливості кожного холодоагента, дозволяючи визначити його ефективність та відповідність вимогам проєкту.

Цей розділ спрямований на визначення оптимального рішення для забезпечення високоефективного охолодження камер для зберігання фруктів у м. Вінниця. Результати розрахунків та аналізу схемних рішень стануть основою для вибору найбільш підходящого холодоагента, а можливо вибору холодильної установки із застосуванням проміжного теплоносія, відповідно до специфіки та вимог проєкту, а також сучасних стандартів сталого розвитку та вимог енергоефективності.

Розрахунковий (робочий) режим холодильної установки характеризується температурами кипіння  $t_0$ , температуру виходу газу з Газоохолоджувача  $t_{g.c.out}$ , всмоктування (пари на вході в компресор)  $t_{gc}$ . Значення цих параметрів обирають в залежності від призначення холодильної установки і розрахункових зовнішніх умов. Температуру кипіння х.а. приймаємо на  $5 - 8^\circ C$  нижчою, ніж температура у камерах.

$$t_0 = t_g - (5 \div 8)^\circ C = t_g - 8^\circ C.$$

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температуру виходу газу з газоохолодника для даних систем розраховують за допомогою заводських програм виробника теплообмінного обладнання

Параметри повітря для м. Кам'янка-Бузьська  $t_c = 31,5^\circ\text{C}$  ;  $\phi$  46%.

Згідно програми **myGUNTNER GPC** отримуємо

$$T_{g.c. out} = +30^\circ\text{C}$$

Величина переохолодження холодильного агента:

$$\Delta t_{nep} = 1^\circ\text{C}.$$

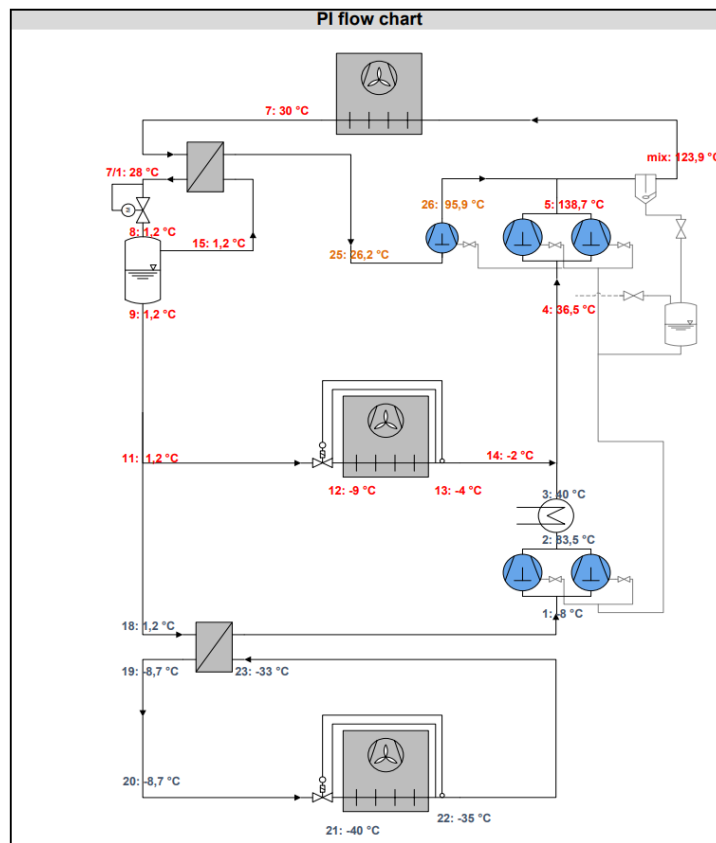
Величина корисного перегрівання пари холодильного агента у випарнику:

$$t_{ne} = (3 \div 10)^\circ\text{C} = 7^\circ\text{C}$$

**Вибір схеми та побудова циклу.**

**Розрахуємо транскритичну бустерну холодильну установку для флюїдизаційного тунелю UNIDEX TZF-2A**

Рис 7.1. Схема бустерної транскритичної холодильної установки для тунелю UNIDEX TZF-2A

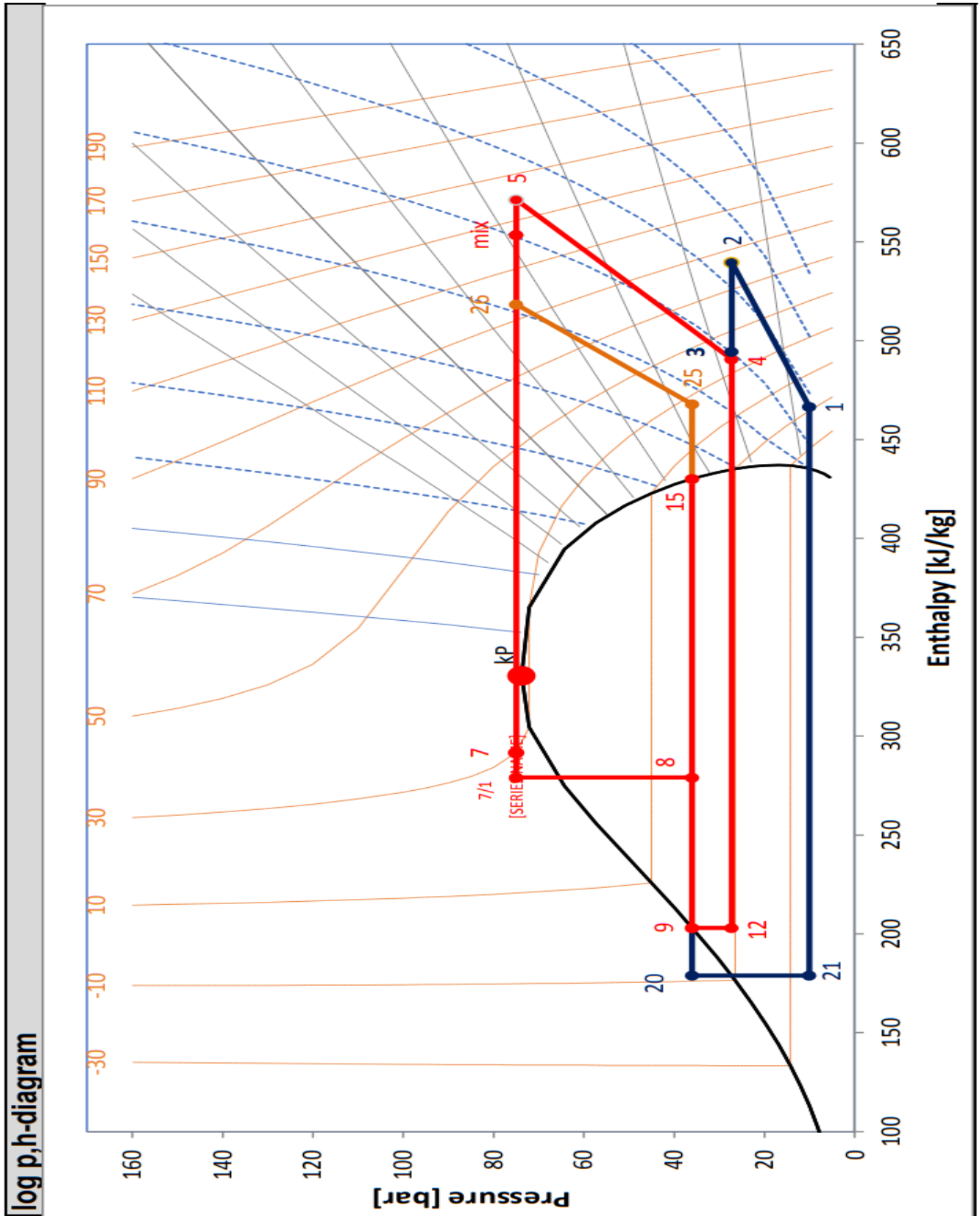


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.081.ПЗ

Арк.  
27

Рис 7.2. Цикл холодильної установки в lg P-i діаграмі для R744



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.081.ПЗ

## Тепловий розрахунок холодильної машини.

Всі розрахунки проводимо за допомогою програми Mathcad

$$Q_0 := 600 \text{ кВт} \quad \text{Холодопродуктивність тунеля Unidex TZF 2A}$$

Внесемо дані ентальпій у всіх точках діаграми: кДж/кг

$$h_1 := 468 \quad h_{4'} := 437 \quad h_9 := 203 \quad h_{22} := 440$$

$$h_{1'} := 436 \quad h_5 := 560 \quad h_{12} := 203 \quad h_{23} := 442$$

$$h_2 := 538 \quad h_7 := 291 \quad h_{15} := 430 \quad h_{25} := 467$$

$$h_3 := 494 \quad h_{7'} := 466 \quad h_{20} := 178 \quad h_{26} := 510$$

$$h_4 := 490 \quad h_8 := 279 \quad h_{21} := 179 \quad h_{mix} := 522$$

Питомий об'єм : кг/м<sup>3</sup>

$$v_{1'} := 0.038 \quad v_{4'} := 0.012$$

$$v_1 := 0.046 \quad v_4 := 0.0187 \quad v_{25} := 0.012$$

Степінь сухості  $x_8 := 0.34$

Питома масова холодопродуктивність холодильного агента

$$q_0 := h_{22} - h_{21} \quad q_0 = 261 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Масова витрата циркулюючого холодильного агенту, який потрібен для відводу теплопритоків:

$$M_{кмлТ} := \frac{Q_0}{q_0} \quad M_{кмлТ} = 2.299 \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Дійсний об'єм всмоктування компресра ЛТ:

$$V_{дЛТ} := M_{кмлТ} \cdot v_{1'} \quad V_{дЛТ} = 0.087 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

коефіцієнт подачі компресора ЛТ:

$$\frac{25.2}{10.04} = 2.51 \quad \lambda_{ЛТ} := 0.77$$

Об'єм, що описується поршнем:

$$V_{нЛТ} := \frac{V_{дЛТ}}{\lambda_{ЛТ}} \quad V_{нЛТ} = 0.113 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк. 29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибираємо до встановлення вісім напівгерметичних компактних компресори Vock HGX44/565 S CO2

$$V_{кмЛТ} := \frac{2 \cdot 59.3 + 6 \cdot 49.3}{3600} = 0.115 \quad V_{кмЛТ} = 0.115 \frac{м^3}{с}$$

Коефіцієнт робочого часу компресорів:

$$b := \frac{V_{нЛТ}}{V_{кмЛТ}} \quad b = 0.99$$

коефіцієнт робочого часу  $\geq 0.9$  Умова виконується

Проведемо розрахунки для контура МТ:

$M_{сумМТ} := 0$  масова витрат середньотемпературного контуру

$$M_{FG} := x_8 \cdot (M_{сумМТ} + M_{кмЛТ}) \quad M_{FG} = 0.782 \frac{кг}{с}$$

$$M_{кмМТ} := M_{сумМТ} + M_{кмЛТ} + M_{FG} \quad M_{кмМТ} = 3.08 \frac{кг}{с}$$

Дійсний об'єм всмоктування компресора МТ:

$$V_{dМТ} := M_{кмМТ} \cdot v_4 \quad V_{dМТ} = 0.058 \frac{м^3}{с}$$

коефіцієнт подачі компресора МТ:

$$\frac{75}{27.2} = 2.757 \quad \lambda_{МТ} := 0.77$$

Об'єм, що описується поршнем:

$$V_{нМТ} := \frac{V_{dМТ}}{\lambda_{МТ}} \quad V_{нМТ} = 0.07 \frac{м^3}{с}$$

Вибираємо до встановлення сім напівгерметичних компактних компресори Vock HGX46/280-4 S CO2 T

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{кмЛТ} := \frac{2 \cdot 29.3 + 5 \cdot 24.4}{3600} = 0.05 \quad V_{кмЛТ} = 0.05 \frac{м^3}{с}$$

Коефіцієнт робочого часу компресорів:

$$b := \frac{V_{нЛТ}}{V_{кмЛТ}} \quad b = 1 \quad +$$

коефіцієнт робочого часу  $\geq 0.9$  Умова виконується

Проведемо розрахунки для контура ІТ для видкачування Flash-газу:

$$M_{кмЛТ} := M_{кмЛТ} \cdot \frac{h_8 - h_9}{h_{15} - h_8} \quad M_{кмЛТ} = 1.157 \frac{кг}{с}$$

Дійсний об'єм всмоктування компресора ІТ:

$$V_{дЛТ} := M_{кмЛТ} \cdot v_{25} \quad V_{дЛТ} = 0.014 \frac{м^3}{с}$$

коефіцієнт подачі компресора ЛТ:

$$\frac{75}{36} = 2.083 \quad \lambda_{ЛТ} := 0.9$$

Об'єм, що описується поршнем:

$$V_{нЛТ} := \frac{V_{дЛТ}}{\lambda_{ЛТ}} \quad V_{нЛТ} = 0.015 \frac{м^3}{с}$$

Вибираємо до встановлення два напівгерметичних компактних компресори Вокс НGX46/280-4 S CO2 T

$$V_{кмЛТ} := \frac{1 \cdot 29 + 1 \cdot 24.5}{3600} = 0.015 \frac{м^3}{с}$$

Коефіцієнт робочого часу компресорів:

$$b := \frac{V_{нЛТ}}{V_{кмЛТ}} \quad b = 1$$

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт робочого часу  $\eta \geq 0.9$ . Умова виконується

Питома робота стиснення в компресорі (кДж/кг):

$$l_{кмLT} := h_2 - h_1 \quad l_{кмLT} = 70 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$l_{кмMT} := h_5 - h_4 \quad l_{кмMT} = 70 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$l_{кмIT} := h_{26} - h_{25} \quad l_{кмIT} = 43 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Дійсна масова витрата на компресорах:

$$M_{\partial кмLT} := \frac{(\lambda_{LT} \cdot V_{кмLT})}{v_1} \quad M_{\partial кмLT} = 1.927 \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$M_{\partial кмMT} := \frac{(\lambda_{MT} \cdot V_{кмMT})}{v_4} \quad M_{\partial кмMT} = 2.066 \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$M_{\partial кмIT} := \frac{(\lambda_{IT} \cdot V_{кмIT})}{v_{25}} \quad M_{\partial кмIT} = 1.115 \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Визначаємо теоретичну потужність стискання

$$N_{TLT} := M_{\partial кмLT} \cdot l_{кмLT} \quad N_{TLT} = 134.88 \quad \text{кВт}$$

$$N_{TMT} := M_{\partial кмMT} \cdot l_{кмMT} \quad N_{TMT} = 144.598 \quad \text{кВт}$$

$$N_{TIT} := M_{\partial кмIT} \cdot l_{кмIT} \quad N_{TIT} = 47.927 \quad \text{кВт}$$

Визначаємо дійсну потужність стискання

$\eta_i := 0.9$  індикаторний ККД

$$N_{iLT} := \frac{N_{LLT}}{\eta_i} \quad N_{iLT} = 149.867 \quad \text{кВт}$$

$$N_{iMT} := \frac{N_{TMT}}{\eta_i} \quad N_{iMT} = 160.664 \quad \text{кВт}$$

$$N_{iIT} := \frac{N_{TIT}}{\eta_i} \quad N_{iIT} = 53.252 \quad \text{кВт}$$

Визначаємо потужність на валу компресора

$\eta_{\text{мех}} := 0.9$  механічний ККД

$$N_{eLT} := \frac{N_{iLT}}{\eta_{\text{мех}}} \quad N_{eLT} = 166.519 \quad \text{кВт}$$

$$N_{eMT} := \frac{N_{iMT}}{\eta_{\text{мех}}} \quad N_{eMT} = 178.516 \quad \text{кВт}$$

$$N_{eIT} := \frac{N_{iIT}}{\eta_{\text{мех}}} \quad N_{eIT} = 59.169 \quad \text{кВт}$$

Визначаємо електричну потужність, тобто потужність яку споживає електродвигун із мережі

$\eta_{\text{ел}} := 0.9$  механічний ККД

$$N_{eLIT} := \frac{N_{eLT}}{\eta_{\text{ел}}} \quad N_{eLIT} = 185.021 \quad \text{кВт}$$

$$N_{eMIT} := \frac{N_{eMT}}{\eta_{\text{ел}}} \quad N_{eMIT} = 198.351 \quad \text{кВт}$$

$$N_{eIIT} := \frac{N_{eIT}}{\eta_{\text{ел}}} \quad N_{eIIT} = 65.744 \quad \text{кВт}$$

Сумарна споживана потужність

$$\Sigma E_{\text{ел}} := N_{eLIT} + N_{eMIT} + N_{eIIT} \quad \Sigma E_{\text{ел}} = 449.116 \quad \text{кВт}$$

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця №7.1. Характеристики компресорів холодильної системи.

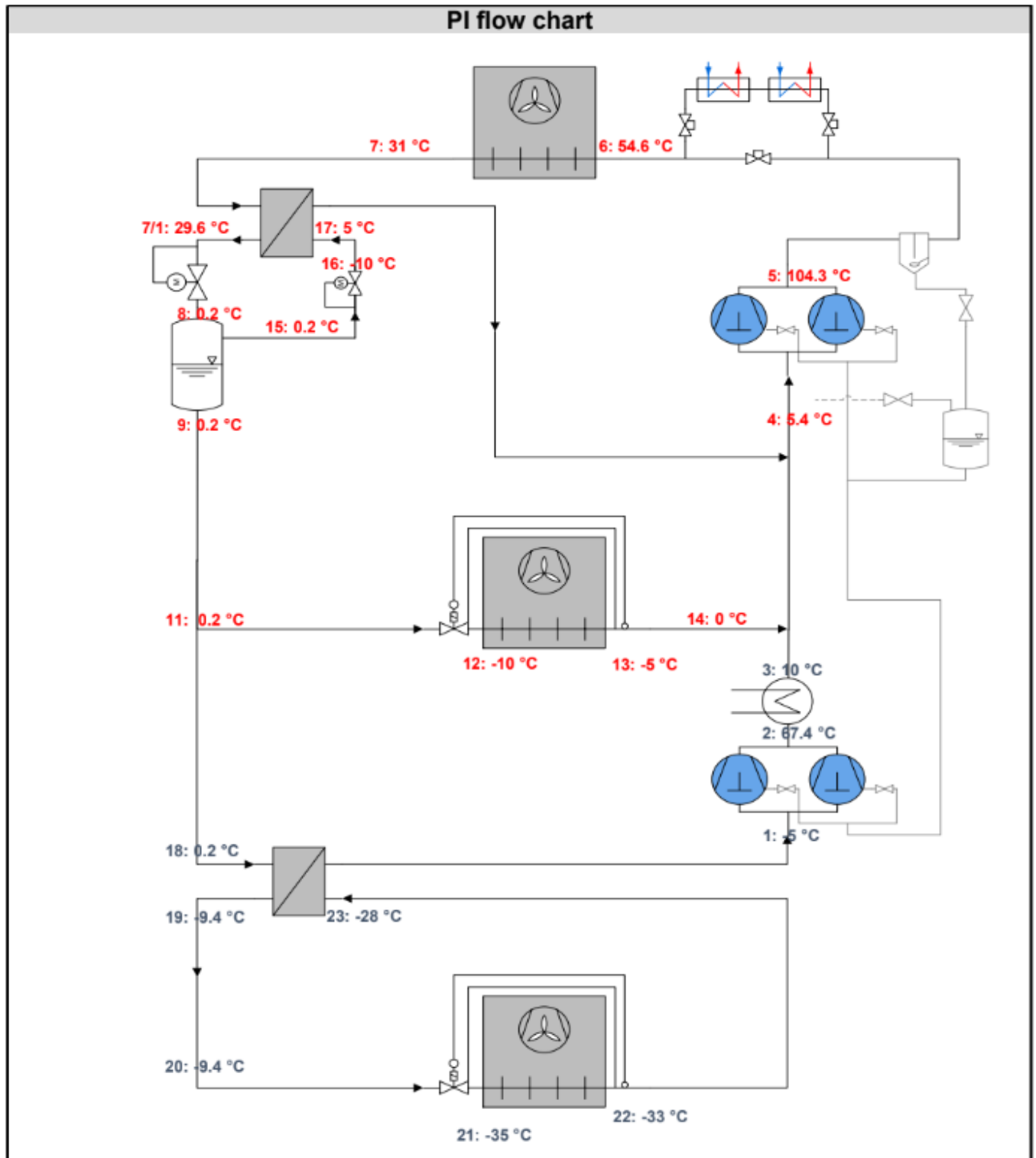
Виробник	GEA Bock
Модель компресора	HGX46/280-4 S CO2 T
Тип компресора	Напівгерметичний, поршневий
Кількість компресорів, шт.	9
Холодоагент	R744
Температура кипіння холодоагенту, °C	-9
Температура виходу холодоагенту з ГО, °C	+30
Холодопродуктивність, кВт.	62.4
Споживання електроенергії у робочому режимі, кВт.	24.6
Максимальна сила струму, А.	73
Напруга живлення, ф-В-Гц	3-400-50
*Додаток	

Виробник	GEA Bock
Модель компресора	HGX44e/565-4 S CO2
Тип компресора	Напівгерметичний, поршневий
Кількість компресорів, шт.	8
Холодоагент	R744
Температура кипіння холодоагенту, °C	-40
Температура конденсації, °C	-9
Холодопродуктивність, кВт.	67.2
Споживання електроенергії у робочому режимі, кВт.	18.3
Максимальна сила струму, А.	56.3
Напруга живлення, ф-В-Гц	3-400-50
*Додаток	

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розрахуємо транскритичну бустерну холодильну установку для охолодження камер зберігання та цехів

Рис 7.2. Схема бустерної транскритичної холодильної установки для холодозабезпечення камер та цехів на R744

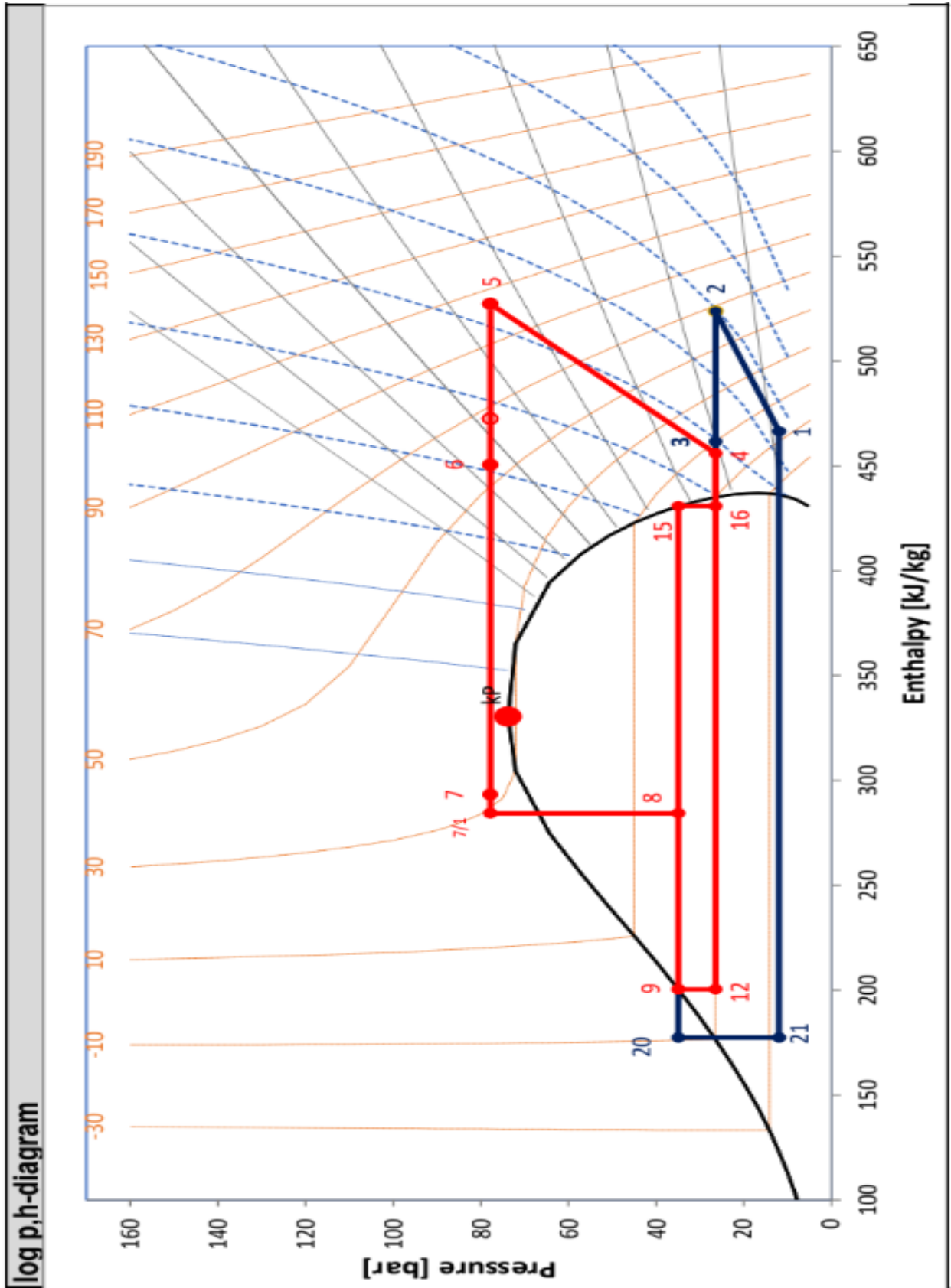


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.081.ПЗ

Арк.  
33

Рис. 7.2. Цикл холодильної установки R744



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.081.ПЗ

## Тепловий розрахунок холодильної машини.

Всі розрахунки проводимо за допомогою програми Mathcad

$$Q_0 := 350 \quad \text{кВт} \quad \text{Холодопродуктивність камер ЛТ (-35)}$$

Внесемо дані ентальпій у всіх точках діаграми: кДж/кг

$$h_1 := 466 \quad h_{4'} := 435 \quad h_9 := 200 \quad h_{22} := 437$$

$$h_{1'} := 436 \quad h_5 := 510 \quad h_{12} := 200 \quad h_{23} := 443$$

$$h_2 := 517 \quad h_7 := 293 \quad h_{15} := 430$$

$$h_3 := 461 \quad h_{7'} := 284 \quad h_{20} := 177$$

$$h_4 := 455 \quad h_8 := 284 \quad h_{21} := 177$$

Питомий об'єм : кг/м<sup>3</sup>

$$v_{1'} := 0.030 \quad v_{4'} := 0.014$$

$$v_1 := 0.038 \quad v_4 := 0.016 \quad v_{25} := 0.012$$

$$\text{Степень сухості } x_8 := 0.35$$

Питома масова холодопродуктивність холодильного агента

$$q_0 := h_{22} - h_{21} \quad q_0 = 260 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Масова витрата циркулюючого холодильного агенту, який потрібен для відводу теплопритоків:

$$M_{\text{кмлТ}} := \frac{Q_0}{q_0} \quad M_{\text{кмлТ}} = 1.346 \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Дійсний об'єм всмоктування компресора ЛТ:

$$V_{\text{дЛТ}} := M_{\text{кмлТ}} \cdot v_{1'} \quad V_{\text{дЛТ}} = 0.04 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

коефіцієнт подачі компресора ЛТ:

$$\frac{26}{12} = 2.167 \quad \lambda_{\text{ЛТ}} := 0.77$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.081.ПЗ

Арк.  
35

Об'єм, що описується поршнем:

$$V_{nLT} := \frac{V_{dLT}}{\lambda_{LT}} \quad V_{nLT} = 0.052 \quad \frac{м^3}{с} \quad +$$

Вибираємо до встановлення 2 напівгерметичних компактних компресори Bock HGX44/390 S CO2 та 3 шт Bock HGX44/475 S CO2

$$V_{кмLT} := \frac{2 \cdot 34.2 + 3 \cdot 41.3}{3600} = 0.053 \quad V_{кмLT} = 0.053 \quad \frac{м^3}{с}$$

Коефіцієнт робочого часу компресорів:

$$b := \frac{V_{nLT}}{V_{кмLT}} \quad b = 0.98$$

Враховуючи, що система централізована коефіцієнт робочого часу повинен бути  $\geq 0.9$ . Умова виконується

$QI := 240 \quad кВт$  Холодопродуктивність камер контуру МТ (-10)

Проведемо розрахунки для контуру МТ:

$$M_{евнMT} := \frac{QI}{h_{4'} - h_{12}} \text{ масова витрат середньотемпературного контуру}$$

$$M_{FG} := x_8 \cdot (M_{евнMT} + M_{кмLT}) \quad M_{FG} = 0.829 \quad \frac{кг}{с}$$

$$M_{кмMT} := M_{евнMT} + M_{кмLT} \cdot \frac{h_3 - h_{20}}{h_4 - h_{12}} + M_{FG} \quad M_{кмMT} = 3.349 \quad \frac{кг}{с}$$

Дійсний об'єм всмоктування компресра МТ:

$$V_{dMT} := M_{кмMT} \cdot v_4 \quad V_{dMT} = 0.054 \quad \frac{м^3}{с}$$

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк. 36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнт подачі компресора МТ:

$$\frac{77}{26} = 2.962 \quad \lambda_{MT} := 0.76$$

Об'єм, що описується поршнем:

$$V_{nMT} := \frac{V_{dMT}}{\lambda_{MT}} \quad V_{nMT} = 0.07 \quad \frac{m^3}{c}$$

Вибираємо до встановлення вісім напівгерметичних компактних компресори Wock HGX46/345-4 S CO2 T

$$V_{кмMT} := \frac{1 \cdot 34 + 7 \cdot 30.2}{3600} = 0.068 \quad V_{кмMT} = 0.068 \quad \frac{m^3}{c}$$

Коефіцієнт робочого часу компресорів:

$$b := \frac{V_{nMT}}{V_{кмMT}} \quad b = 1$$

Враховуючи, що система централізована коефіцієнт робочого часу  $\geq 0.9$ . Умова виконується

Питома робота стиснення в компресорі (кДж/кг):

$$l_{кмLT} := h_2 - h_1 \quad l_{кмLT} = 51 \quad \frac{kJ}{kg}$$

$$l_{кмMT} := h_5 - h_4 \quad l_{кмMT} = 55 \quad \frac{kJ}{kg}$$

Дійсна масова витрата на компресорах:

$$M_{\partial кмLT} := \frac{(\lambda_{LT} \cdot V_{кмLT})}{v_1} \quad M_{\partial кмLT} = 1.082 \quad \frac{kg}{c}$$

$$M_{\partial кмMT} := \frac{(\lambda_{MT} \cdot V_{кмMT})}{v_4} \quad M_{\partial кмMT} = 3.238 \quad \frac{kg}{c}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.081.ПЗ

Арк.  
37

Визначаємо теоретичну потужність стискання

$$N_{TLT} := M_{\partial_{KM}LT} \cdot l_{KM}LT \quad N_{TLT} = 55.202 \quad \text{кВт}$$

$$N_{TMT} := M_{\partial_{KM}MT} \cdot l_{KM}MT \quad N_{TMT} = 178.085 \quad \text{кВт}$$

Визначаємо дійсну потужність стискання

$\eta_i := 0.93$  індикаторний ККД

$$N_{iLT} := \frac{N_{TLT}}{\eta_i} \quad N_{iLT} = 59.357 \quad \text{кВт}$$

$$N_{iMT} := \frac{N_{TMT}}{\eta_i} \quad N_{iMT} = 191.49 \quad \text{кВт}$$

Визначаємо потужність на валу компресора

$\eta_{\text{мех}} := 0.9$  механічний ККД

$$N_{eLT} := \frac{N_{iLT}}{\eta_{\text{мех}}} \quad N_{eLT} = 65.952 \quad \text{кВт}$$

$$N_{eMT} := \frac{N_{iMT}}{\eta_{\text{мех}}} \quad N_{eMT} = 212.766 \quad \text{кВт}$$

Визначаємо електричну потужність, тобто потужність яку споживає електродвигун із мережі

$\eta_{\text{ел}} := 0.9$  електричний ККД

$$N_{\text{ел}LT} := \frac{N_{eLT}}{\eta_{\text{ел}}} \quad N_{\text{ел}LT} = 73.28 \quad \text{кВт}$$

$$N_{\text{ел}MT} := \frac{N_{eMT}}{\eta_{\text{ел}}} \quad N_{\text{ел}MT} = 236.407 \quad \text{кВт}$$

Сумарна споживана потужність

$$\Sigma E_{\text{ел}} := N_{\text{ел}LT} + N_{\text{ел}MT} \quad \Sigma E_{\text{ел}} = 309.687 \quad \text{кВт}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.081.ПЗ

Арк.

38

Блиця №7.2. Характеристики компресорів холодильної системи

Виробник	GEA Bock
Модель компресора	HGX46/345-4 S CO2 T
Тип компресора	Напівгерметичний, поршневиї
Кількість компресорів, шт.	8
Холодоагент	R744
Температура кипіння холодоагенту, °C	-10
Температура виходу холодоагенту з ГО, °C	+31
Холодопродуктивність, кВт.	79.3
Споживання електроенергії у робочому режимі, кВт.	31.6
Максимальна сила струму, А.	60.5
Напруга живлення, ф-В-Гц	3-400-50
*Додаток	

Виробник	GEA Bock
Модель компресора	HGX44e/475-4 S CO2
Тип компресора	Напівгерметичний, поршневиї
Кількість компресорів, шт.	3
Холодоагент	R744
Температура кипіння холодоагенту, °C	-35
Температура конденсації, °C	-10
Холодопродуктивність, кВт.	70.1
Споживання електроенергії у робочому режимі, кВт.	15.1
Максимальна сила струму, А.	31.4
Напруга живлення, ф-В-Гц	3-400-50
*Додаток	

Виробник	GEA Bock
Модель компресора	HGX44e/290-4 S CO2
Тип компресора	Напівгерметичний, поршневиї
Кількість компресорів, шт.	2
Холодоагент	R744
Температура кипіння холодоагенту, °C	-35
Температура конденсації, °C	-10
Холодопродуктивність, кВт.	67
Споживання електроенергії у робочому режимі, кВт.	12,8
Максимальна сила струму, А.	41.6
Напруга живлення, ф-В-Гц	3-400-50
*Додаток	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.081.ПЗ

Розрахуємо фреонові холодильні установки 3 окремі на кожну температуру кипіння

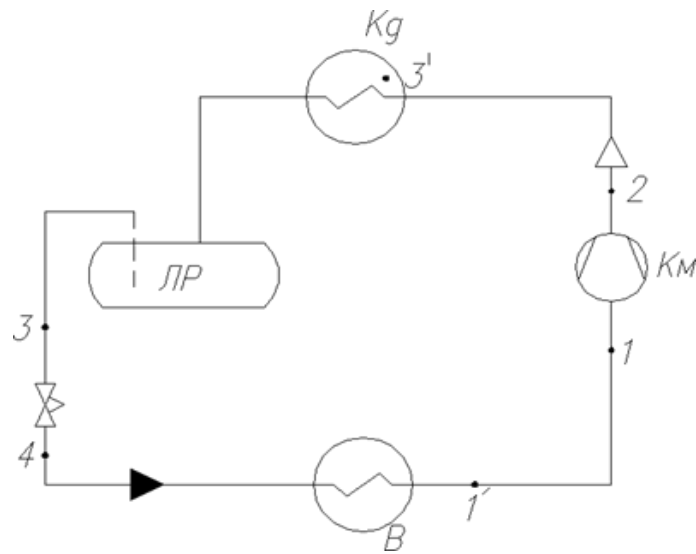


Рис 7.2. Схема фреонової холодильної установки для холодозабезпечення камер та цехів на R507

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.081.ПЗ

Арк.  
40



$Q_0 := 600 \text{ кВт}$  Холодопродуктивність тунелю (-40)

$Q_1 := 350 \text{ кВт}$  Холодопродуктивність камер (-30)

$Q_2 := 240 \text{ кВт}$  Холодопродуктивність камер (-10)

Внесемо дані ентальпій у всіх точках діаграми: кДж/кг

$h_1 := 349$        $h_{3'} := 350$        $h_{10} := 218$

$h_{1'} := 345$        $h_5 := 367$        $h_{11} := 231$

$h_2 := 412$        $h_{5'} := 363$        $h_{12} := 256$

$h_3 := 355$        $h_6 := 400$

$h_4 := 409$        $h_{7'} := 256$

Питомий об'єм : кг/м<sup>3</sup>

$v_1 := 0.14$        $v_3 := 0.094$        $v_5 := 0.046$

Питома масова холодопродуктивність холодильного агента

$$q_0 := h_{1'} - h_{10} \quad q_0 = 127 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Масова витрата циркулюючого холодильного агенту, який потрібен для відводу теплопритоків:

$$M_{\text{кмЛТ40}} := \frac{Q_0}{q_0} \quad M_{\text{кмЛТ40}} = 4.724 \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Дійсний об'єм всмоктування компресора ЛТ(-40):

$$V_{\text{дЛТ40}} := M_{\text{кмЛТ40}} \cdot v_1 \quad V_{\text{дЛТ40}} = 0.661 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

коефіцієнт подачі компресора :

$$\frac{21.2}{1.4} = 15.143 \quad \lambda_{\text{ЛТ40}} := 0.7$$

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єм, теоретичний:

$$V_{nLT40} := \frac{V_{dLT40}}{\lambda_{LT40}} \quad V_{nLT40} = 0.945 \frac{M3}{c}$$

Вибираємо до встановлення 7 напівгерметичних компактних компресори bitzer HSN8591-160

$$V_{кмLT40} := \frac{7 \cdot 535}{3600} = 1.04 \quad V_{кмLT40} = 1.04 \frac{M3}{c}$$

Коефіцієнт робочого часу компресорів:

$$b := \frac{V_{nLT40}}{V_{кмLT40}} \quad b = 0.91$$

$Ql := 350 \text{ кВт}$  Холодопродуктивність камер контуру LT (-35)

Проведемо розрахунки для контуру LT (-35):

$$M_{кмLT35} := \frac{Ql}{h_{3'} - h_{11}} \quad M_{кмLT35} = 2.941 \frac{кг}{c} \quad \text{масова витрата контуру}$$

Дійсний об'єм всмоктування компресора МТ:

$$V_{dLT35} := M_{кмLT35} \cdot v_3 \quad V_{dLT35} = 0.276 \frac{M3}{c}$$

коефіцієнт подачі компресора МТ:

$$\frac{21.2}{1.73} = 12.254 \quad \lambda_{LT35} := 0.72$$

Об'єм, теоретичний:

$$V_{nLT35} := \frac{V_{dLT35}}{\lambda_{LT35}} \quad V_{nLT35} = 0.38 \frac{M3}{c}$$

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єм, що описується поршнем:

$$V_{nMT10} := \frac{V_{dMT10}}{\lambda_{MT10}} \quad V_{nMT10} = 0.13 \frac{m^3}{c}$$

Вибираємо до встановлення три напівгерметичних компактних компресори HSK6451-70

$$V_{кмMT10} := \frac{3 \cdot 192}{3600} = 0.16 \quad V_{кмMT10} = 0.16 \frac{m^3}{c}$$

Коефіцієнт робочого часу компресорів:

$$b := \frac{V_{nMT10}}{V_{кмMT10}} \quad b = 0.8$$

Умова виконується коефіцієнт лежить в межах робочого часу 0.6-0.8

Питома робота стиснення в компресорі (кДж/кг):

$$l_{кмLT40} := h_2 - h_1 \quad l_{кмLT40} = 63 \frac{kJ}{kg}$$

$$l_{кмLT35} := h_4 - h_3 \quad l_{кмLT35} = 54 \frac{kJ}{kg}$$

$$l_{кмMT10} := h_6 - h_5 \quad l_{кмMT10} = 33 \frac{kJ}{kg}$$

Дійсна масова витрата на компресорах:

$$M_{\text{дкмLT40}} := \frac{(\lambda_{LT40} \cdot V_{кмLT40})}{v_1} \quad M_{\text{дкмLT40}} = 5.201 \frac{kg}{c}$$

$$M_{\text{дкмLT35}} := \frac{(\lambda_{LT35} \cdot V_{кмLT35})}{v_3} \quad M_{\text{дкмLT35}} = 3.819 \frac{kg}{c}$$

$$M_{\text{дкмMT10}} := \frac{(\lambda_{MT10} \cdot V_{кмMT10})}{v_5} \quad M_{\text{дкмMT10}} = 2.783 \frac{kg}{c}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.081.ПЗ

Арк.

44

Визначаємо теоретичну потужність стискання

$$N_{TLT40} := M_{\partial_{KM}LT40} \cdot l_{KM}LT40 \quad N_{TLT40} = 327.688 \quad \kappa Bm$$

$$N_{TLT35} := M_{\partial_{KM}LT35} \cdot l_{KM}LT35 \quad N_{TLT35} = 206.234 \quad \kappa Bm$$

$$N_{TMT10} := M_{\partial_{KM}MT10} \cdot l_{KM}MT10 \quad N_{TMT10} = 91.826 \quad \kappa Bm$$

Визначаємо дійсну потужність стискання

$\eta_i := 0.75$  індикаторний ККД

$$N_{iLT40} := \frac{N_{TLT40}}{\eta_i} \quad N_{iLT40} = 436.917 \quad \kappa Bm$$

$$N_{iLT35} := \frac{N_{TLT35}}{\eta_i} \quad N_{iLT35} = 274.979 \quad \kappa Bm$$

$$N_{iMT10} := \frac{N_{TMT10}}{\eta_i} \quad N_{iMT10} = 122.435 \quad \kappa Bm$$

Визначаємо потужність на валу компресора

$\eta_{mex} := 0.87$  механічний ККД

$$N_{eLT40} := \frac{N_{iLT40}}{\eta_{mex}} \quad N_{eLT40} = 502.203 \quad \kappa Bm$$

$$N_{eLT35} := \frac{N_{iLT35}}{\eta_{mex}} \quad N_{eLT35} = 316.067 \quad \kappa Bm$$

$$N_{eMT10} := \frac{N_{iMT10}}{\eta_{mex}} \quad N_{eMT10} = 140.73 \quad \kappa Bm$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.081.ПЗ

Визначаємо електричну потужність, тобто потужність яку споживає електродвигун із мережі

$\eta_{ел} := 0.9$  електричний ККД

$$N_{елLT40} := \frac{N_{елLT40}}{\eta_{ел}} \quad N_{елLT40} = 558.003 \quad \text{кВт}$$

$$N_{елLT35} := \frac{N_{елLT35}}{\eta_{ел}} \quad N_{елLT35} = 351.186 \quad \text{кВт}$$

$$N_{елMT10} := \frac{N_{елMT10}}{\eta_{ел}} \quad N_{елMT10} = 156.366 \quad \text{кВт}$$

Сумарна споживана потужність

$$\Sigma E_{ел} := N_{елLT40} + N_{елLT35} + N_{елMT10} \quad \Sigma E_{ел} = 1.066 \cdot 10^3 \quad \text{кВт}$$

**Висновок:**

Сумарна споживана потужність 2х холодильних установок на R744 становить - 759 кВт, а фреонових установок на R507 - 1066 кВт.

Тому доцільно впроваджуваати використання обладнання на CO2

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# Проведемо перевірочний розрахунок компресорного обладнання за допомогою заводської програми Bock CO2 Tools 1.4.9



## Selection BOCK CO2 Compressors

System: Booster LT & MT with parallel compression  
Refrigerant: R744

Subject:

Power supply: 50 Hz / 400 V

Short mark:

Direct dial:

Low temperature	
Refrigerant	R744
Required ref. capacity	600,00 kW
Amount of compressors	8 pcs.
Evaporation temperature	-40.0 °C
Condensing temperature	-9.0 °C
External subcooling	0.00 K
Evaporator superheat	5.00 K
Suction line superheat	2.00 K
Superheat IHX	25.00 K
Total superheat / Suct. Gas. Temp.	32 K / -8 °C
Medium pressure	36,0 bar
Medium temperature	1,2 °C
Total subc. / Liquid temp.	10,0 K / -9,7 °C
Hot-gas desuperheater temp.	40,0 °C

	Low temperature								Total
	HGX46/565-4 S CO2		HGX46/565-4 S CO2		HGX46/565-4 S CO2		HGX46/565-4 S CO2		
Compressor	1 x	70 Hz	1 x	70 Hz	1 x	50 Hz	1 x	50 Hz	8 x
Amount of compressors	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Frequency inverter	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Comp. ref. capacity	99,80 kW	99,80 kW	99,80 kW	99,80 kW	73,90 kW	73,90 kW	73,90 kW	73,90 kW	221,70 kW
Evap. ref. capacity	90,80 kW	90,80 kW	90,80 kW	90,80 kW	67,20 kW	67,20 kW	67,20 kW	67,20 kW	201,60 kW
Power consumption	26,60 kW	26,60 kW	26,60 kW	26,60 kW	18,30 kW	18,30 kW	18,30 kW	18,30 kW	54,90 kW
Current draw (400V)	---	---	---	---	35,00 A	35,00 A	35,00 A	35,00 A	105,00 A
Max. current draw	56,30 A	56,30 A	56,30 A	56,30 A	56,30 A	56,30 A	56,30 A	56,30 A	168,90 A
COP Compressor	3,75	3,75	3,75	3,75	4,03	4,03	4,03	4,03	3,94
COP Evaporator	3,41	3,41	3,41	3,41	3,67	3,67	3,67	3,67	3,58
Desuperheater capacity	15,70 kW	15,70 kW	15,70 kW	15,70 kW	11,62 kW	11,62 kW	11,62 kW	11,62 kW	34,85 kW
Mass flow	1248,9 kg/h	1248,9 kg/h	1248,9 kg/h	1248,9 kg/h	923,9 kg/h	923,9 kg/h	923,9 kg/h	923,9 kg/h	2771,8 kg/h
Discharge end temp.	87,1 °C	87,1 °C	87,1 °C	87,1 °C	81,8 °C	81,8 °C	81,8 °C	81,8 °C	81,8 °C
Ratio to system capacity	16%	16%	16%	16%	11%	11%	11%	11%	34%
Ratio to required ref. capacity	15%	15%	15%	15%	11%	11%	11%	11%	34%

Medium temperature	
Refrigerant	R744
Required ref. capacity	20,00 kW
Amount of compressors	7 pcs.
Evaporation temperature	-9.0 °C
Condensing temperature	27.2 bar
Operator mode	Transcritical
High pressure (abs.)	75,0 bar opt.
Gas cooler outlet temp.	30,0 °C
External subcooling	0,00 K
Evaporator superheat	5,00 K
Suction line superheat	2,00 K
Total superheat / Suct. Gas. Temp.	45,5 K / 36,5 °C
Total subc. / Liquid temp.	0,0 K / 1,2 °C
Hot-gas desuperheater temp.	---

	Medium temperature						Total
	HGX46/280-4 S CO2 T		HGX46/280-4 S CO2 T		HGX46/280-4 S CO2 T		
Compressor	1 x	70 Hz	1 x	70 Hz	1 x	50 Hz	7 x
Amount of compressors	1	1	1	1	1	1	7
Frequency inverter	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Comp. ref. capacity	84,40 kW	84,40 kW	84,40 kW	84,40 kW	62,50 kW	62,50 kW	125,00 kW
Evap. ref. capacity	77,4 kW	77,4 kW	77,4 kW	77,4 kW	57,3 kW	57,3 kW	114,6 kW
Power consumption	35,80 kW	35,80 kW	35,80 kW	35,80 kW	24,60 kW	24,60 kW	49,20 kW
Current draw (400V)	---	---	---	---	47,10 A	47,10 A	94,20 A
Max. current draw	73,00 A	73,00 A	73,00 A	73,00 A	73,00 A	73,00 A	146,00 A
COP Compressor	2,36	2,36	2,36	2,36	2,54	2,54	2,47
COP Evaporator	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23
Gas cooler capacity (total)	---	---	---	---	0,23	0,23	0,23
Desuperheater capacity	1527,4 kg/h	1527,4 kg/h	1527,4 kg/h	1527,4 kg/h	1130,0 kg/h	1130,0 kg/h	2260,0 kg/h
Mass flow comp.	116,4 kg/h	116,4 kg/h	116,4 kg/h	116,4 kg/h	86,1 kg/h	86,1 kg/h	172,3 kg/h
Mass flow evap.	142,0 °C	142,0 °C	142,0 °C	142,0 °C	137,0 °C	137,0 °C	137,0 °C
Discharge end temp.	17,5%	17,5%	17,5%	17,5%	13,0%	13,0%	13,0%
Ratio to system capacity	18,2%	18,2%	18,2%	18,2%	13,5%	13,5%	13,5%
Ratio to required ref. capacity	---	---	---	---	27%	27%	27%

Parallel compressor	
Amount of compressors	2 pcs.
Internal Flashgas-IHX	Fig. <-> ps.c.
Superheat Flashgas-IHX	25,00 K
Total superheat / Suct. Gas. Temp.	25,0 K / 26,2 °C
Evaporator ref. capacity (AC)	kw

	Parallel compressor		Total
	HGX46/280-4 S CO2 T		
Compressor	1 x	70 Hz	1 x
Frequency inverter	✓	✓	✓
Power consumption	34,80 kW	23,90 kW	58,70 kW
Current draw (400V)	---	46,30 A	---
Max. current draw	73,00 A	73,00 A	146,00 A
COP Compressor	3,39	3,64	3,49
Mass flow comp.	2409,0 kg/h	1782,3 kg/h	4191 kg/h
Discharge end temp.	97,1 °C	94,3 °C	95,9 °C
Ratio to necessary capacity	55%	41%	96%

ЗМН.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

**Selection BOCK CO2 Compressors**

System: Booster LT & MT and HR

Refrigerant: R744

Subject: MT+LT+HT "Бузок" Камерный Цех



Power supply: 50 Hz / 400 V

Short mark: 22092022-PT

Direct dial: Бусок

Low temperature	
Refrigerant	R744
Required ref. capacity	320.00 kW
Amount of compressors	5 pcs
Evaporation temperature	-35.0 °C
Condensing temperature	-10.0 °C
External subcooling	0.00 K
Evaporator superheat	2.00 K
Suction line superheat	5.00 K
Superheat IHX	23.00 K
Total superheat / Suct. Gas Temp.	30 K / -5 °C
Medium pressure	35.0 bar
Medium temperature	0.2 °C
Total subc. / Liquid temp.	10 K / -09 °C
Hot-gas desuperheater temp.	10.0 °C

Low temperature									
Compressor	HGX44e/390-4 S CO2	HGX44e/390-4 S CO2	HGX44e/475-4 S CO2	HGX44e/475-4 S CO2	HGX44e/475-4 S CO2	HGX44e/475-4 S CO2	HGX44e/475-4 S CO2	HGX44e/475-4 S CO2	Total
Amount of compressors	1 x	1 x	1 x	1 x	1 x	1 x	1 x	1 x	5 x
Frequency inverter	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Comp. ref. Capacity	70.20 kW	75.90 kW	77.70 kW	77.70 kW	77.70 kW	77.70 kW	77.70 kW	77.70 kW	379.20 kW
Evap. ref. Capacity	63.30 kW	68.50 kW	70.10 kW	70.10 kW	70.10 kW	70.10 kW	70.10 kW	70.10 kW	342.10 kW
Power consumption	14.00 kW	15.40 kW	15.10 kW	15.10 kW	15.10 kW	15.10 kW	15.10 kW	15.10 kW	74.70 kW
Current draw (400V)	---	---	31.40 A	31.40 A	31.40 A	31.40 A	31.40 A	31.40 A	---
Max. current draw	41.60 A	41.60 A	48.30 A	48.30 A	48.30 A	48.30 A	48.30 A	48.30 A	228.10 A
COP Compressor	4.99	4.91	5.14	5.14	5.14	5.14	5.14	5.14	5.06
COP Evaporator	4.51	4.43	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.64	4.57
Desuperheater capacity	15.09 kW	16.32 kW	16.70 kW	16.70 kW	16.70 kW	16.70 kW	16.70 kW	16.70 kW	81.51 kW
Mass flow	873.3 kg/h	944.8 kg/h	966.7 kg/h	966.7 kg/h	966.7 kg/h	966.7 kg/h	966.7 kg/h	966.7 kg/h	4719 kg/h
Discharge end temp.	68.2 °C	69.2 °C	66.6 °C	66.6 °C	66.6 °C	66.6 °C	66.6 °C	66.6 °C	67.4 °C
Ratio to system capacity	19%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	100%
Ratio to required ref. capacity	20%	21%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	107%

Medium temperature	
Refrigerant	R744
Required ref. capacity	240.00 kW
Amount of compressors	8 pcs
Evaporation temperature	-10.0 °C
Evaporating pressure	26.5 bar
Operation mode	Transcritical
High pressure (abs.)	77.8 bar <input checked="" type="checkbox"/> opt.
Condensing pressure	-
Gas cooler outlet temp.	31.0 °C
External subcooling	0.00 K
Evaporator superheat	5.00 K
Suction line superheat	5.00 K
Internal Flashgas-IHX	Flg. <-> gc.c.
Superheat Flashgas-IHX	15.00 K
Total superheat / Suct. Gas Temp.	15 K / 05 °C
Total subc. / Liquid temp.	00 K / 00 °C

Medium temperature									
Compressor	HGX46/345-4 S CO2 T	HGX46/345-4 S CO2 T	HGX46/345-4 S CO2 T	HGX46/345-4 S CO2 T	HGX46/345-4 S CO2 T	HGX46/345-4 S CO2 T	HGX46/345-4 S CO2 T	HGX46/345-4 S CO2 T	Total
Amount of compressors	1 x	1 x	1 x	1 x	1 x	1 x	1 x	1 x	8 x
Frequency inverter	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Comp. ref. Capacity	72.60 kW	79.30 kW	79.30 kW	72.60 kW	72.60 kW	72.60 kW	72.60 kW	72.60 kW	594.20 kW
Evap. ref. Capacity	29.90 kW	32.70 kW	32.70 kW	29.90 kW	29.90 kW	29.90 kW	29.90 kW	29.90 kW	244.90 kW
Power consumption	31.60 kW	35.00 kW	35.00 kW	31.60 kW	31.60 kW	31.60 kW	31.60 kW	31.60 kW	259.60 kW
Current draw (400V)	60.50 A	60.50 A	60.50 A	60.50 A	60.50 A	60.50 A	60.50 A	60.50 A	---
Max. current draw	90.90 A	90.90 A	90.90 A	90.90 A	90.90 A	90.90 A	90.90 A	90.90 A	727.20 A
COP Compressor	2.30	2.27	2.27	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.29
COP Evaporator	0.94	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Gas cooler capacity (total)	105.00 kW	115.00 kW	115.00 kW	105.00 kW	105.00 kW	105.00 kW	105.00 kW	105.00 kW	860.00 kW
Gas cooler capacity (actual)	70.20 kW	76.70 kW	76.70 kW	70.20 kW	70.20 kW	70.20 kW	70.20 kW	70.20 kW	574.08 kW
Suction line superheat	1606.2 kg/h	1755.2 kg/h	1755.2 kg/h	1606.2 kg/h	1606.2 kg/h	1606.2 kg/h	1606.2 kg/h	1606.2 kg/h	13148 kg/h
Internal Flashgas-IHX	444.3 kg/h	485.5 kg/h	485.5 kg/h	444.3 kg/h	444.3 kg/h	444.3 kg/h	444.3 kg/h	444.3 kg/h	3637 kg/h
Superheat Flashgas-IHX	104.1 °C	104.9 °C	104.9 °C	104.1 °C	104.1 °C	104.1 °C	104.1 °C	104.1 °C	104.3 °C
Discharge end temp.	12.2%	13.4%	13.4%	12.2%	12.2%	12.2%	12.2%	12.2%	100%
Ratio to system capacity	12.3%	13.5%	13.5%	12.2%	12.2%	12.2%	12.2%	12.2%	37%
Ratio to required ref. capacity	12.3%	13.5%	13.5%	12.2%	12.2%	12.2%	12.2%	12.2%	101%

Теоретичні розрахунки проведені правильно, відрізняються невеликою похибкою

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

00.MP.142.003.081.ПЗ

Арк.  
48

## 9. ВИБІР ГАЗООХОЛОДЖУВАЧІВ ТА ІНТЕРКУЛЕРІВ

Підбір проводиться відповідно до теплового навантаження. Визначається потрібна площа поверхні теплообміну по дійсному тепловому потоку

Площа тепло передаючої поверхні визначається за формулою (м<sup>2</sup>):

$$F = \frac{Q}{k \times \theta}$$

де:  $Q$  – сумарне теплове навантаження на обладнання, Вт;

$k$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup> × К);

$\theta$  – розрахункова різниця температур.

Згідно отриманих даних, підбираємо газохолодувачі та інтеркулери користуючись програмою підбору **myGUNTNER GPC** та вносимо до таблиці 8.1

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл. 8.1. Газоохолоджувачі та інтеркулери

Позиція	К-сть	Вентилятори			Електродвигуни		Теплообмінник		Напруга/ частота/ фазність, В/50Гц	Площа м <sup>2</sup>	Маса, кг
		К-сть	φ, мм	V, м <sup>3</sup> /год	Nвент, кВт	n, об/хв	Модель	кВт			
1	2	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15
Газоохолоджувач											
Г01	1	8	900	241 904	8x3,30	1200	GGD 090.5C2x4- ND3A6P.E	878	3-400	2484.2	2724
Г02	1	10	900	225 368	10x1,95	890	GGD 090.5B2x5- MD3C6P.E	1 090	3-400	3413.2	3141
Інтеркулер											
ІК1	1	1	800	10 125	1x0,48	600	GGVV CD 080.2MF/11E- 37	45,70	1-230	225.5	246
ІК2	2	1	800	12 434	1x0,42	600	GGVV CD 080.20F/11E- 36	45,00	1-230	181.2	280

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>						Арк. 50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

## 10. ПІДБІР ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ КАМЕР

Підбір теплообмінного обладнання з урахуванням дотримання необхідної холодопродуктивності, технологічного процесу і геометричних розмірів приміщень. Для теплообмінного обладнання холодильного устаткування обрано повітроохолодники фірми виробника Güntner (Німеччина). У камерах зберігання обрано серію повітроохолоджувачів CUBIC Vario, це промислові повітроохолоджувачі з великою кількістю змінних для комфортного налаштування під певного замовника. Для цехів сортування обрані повітроохолоджувачі серії Process, вони мають двопоточне розподілення повітря, мають простий доступ до всіх вузлів для технічного обслуговування, розроблені спеціально для виробничих цехів. Всі компоненти систем відтаювання оптимізовані для мінімального часу проведення відтайки та максимально ефективного використання електроенергії з метою зменшення її споживання. Двигуни вентиляторів обрані за АС-технологією через простішу експлуатацію та наявність їх на даний рік.

Згідно отриманих даних табл 3.1., підбираємо випарники, користуючись програмою підбору **myGUNTNER GPC** та вносимо до таблиці 9.1.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл. 9.1. Випарники

Позиція	К-сть	Вентилятори			Електродвигун		Теплообмінник		Напруга / частота / фазність	Площа м <sup>2</sup>	Маса, кг
		К-сть	φ, мм	V, м <sup>3</sup> /год	Nвент, кВт	n, об/хв	Модель	кВт			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
П01	1	4	630	54923	4x1.35	1400	GACV CX 063.1FE/4A-70.E-16NU.22CM	97	3-400	167.5	387
П02	1	2	500	9 516	2x0,24	890	GADP CX 050.1FE/2E-40.E-1FWD.2YW	40.4	1-230	128.40	139
П03	1	2	500	13539	2x0.50	1340	GACV CX 050.1HN/2A-A0.E-166N.01DM	26.0	3-400	117.40	213
П04	4	2	630	27360	2x1.35	1400	GACV CX 063.1HN/2A-A0.E-16U6.22CM	43.5	3-400	150.90	321
П05	1	2	630	27360	2x1.35	1400	GACV CX 063.1HN/2A-A0.E-16U6.22CM	43.5	3-400	150.90	93
П06	1	2	400	6 737	2x0.19	1310	GACV CX 040.1FN/2A-A2.E-14G8.1H0M	20	1-230	36.3	89
П07	4	4	350	9 158	4x0.17	1340	GADC CX 035.2/4WN/HEA7E.TN NN	21	1-230	84.40	169
П08	2	6	-	-	-	-	OP2231116-1-01-0	63	-	265.3	409.8
UNIDE X	1	-	-	-	-	-	-	600	-	-	

00.MP.142.003.081.ПЗ

Арк.

52

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

## 11. ПІДБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

### *Лінійний ресивер*

В DX - схемі об'єм ресивера розраховується за формулою (м<sup>3</sup>):

$$V_{\text{(л.р.)}} = (0.6 \times V_{\text{вип}}) / 0.5 \times 1.5;$$

де:  $V_{\text{вип}}$  – місткість випарної системи, м<sup>3</sup>;

0,5 – коефіцієнт, що враховує норму заповнення ресивера при експлуатації.

Для станції флюїдизаційного тунелю :

$$V_{\text{(л.р.)}} = (0.6 \times 0.68) / 0.5 \times 1.5 = 1.22$$

Підбираємо лінійний ресивер марки для кожної станції ZL 1,35/800/9,0 місткістю 1,35 м<sup>3</sup> з макс робочим тиском 90 Бар

### *Мастиловіддільник*

Мастиловіддільник вибираємо з каталогів ESK Shultze

Для кожної станції беремо мастиловіддільник моделі BOS3-CDH-1CFO.

Застосовуванні в агрегатах рідинні ресивери, мастиловіддільники, мастило-ресивери, фільтри-осушувачі виготовленні відповідно до стандартів DIN – AD 2000-MERKBLATT HP 100R “Construction regulations – Metal piping” та DIN – AD 2000-MERKBLATT HP 0 “General principles of design, manufacture and associated tests”.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 12.ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

До електричної частини відноситься класифікація установок та приміщень, прилади блискавкозахисту та заземлень. За класифікацією увесь холодокомбінат відноситься до другого класу надійності електрообладнання, машинні відділення складають підвищену небезпеку для життя людини. Приміщення в яких штучно підтримується низька температура відносяться до особливо небезпечних тому що вологість в них дуже висока, найбільш сирими приміщеннями є коридори через які є з'єднання з навколишнім середовищем. Електроустановки холодокомбінату **повинні** мати глухе робоче заземлення нуля трансформаторів. Заземлення нуля використовується також для захисного заземлення електрообладнання шляхом його надійного приєднання заземлюючими провідниками або нульовим проводом. В першу чергу використовується штучне заземлення із сталльної арматури які забиваються в ґрунт. Блискавкозахист з'єднується напряму з заземленням, усі металеві конструкції поєднанні з заземленням

### Опис схеми електропостачання холодильної установки

Система електропостачання підприємства має зв'язок з районною електричною мережею і має один кабельний ввід живлення.

Розподіл електроенергії здійснюється на наступних рівнях напруги:

- 10 кВт - для живлення ТП;
- 380/220 В - основне цехове споживання електроенергії, включаючи освітлення.

### Цехова система електропостачання

Приймачі електроенергії підприємства відносяться до 2-ї категорії.. Але вважаючи що місце розташування будівництва, не могло передбачити резервну лінію, тому для створення резерву живлення становлено дизель генератор на 1 МВт

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.MP.142.003.081.ПЗ

Арк.  
54

Таблиця №11.1. Вихідні дані споживачів електроенергії.

Споживачі електроенергії	К-ть., шт.	Споживання електроенергії одиниці обладнання, кВт.	Споживання електроенергії усього обладнання, кВт.
KM GEA Bock HGX46/345-4 S CO2 T (55Hz)	2	35,0	70,0
KM GEA Bock HGX46/345-4 S CO2 T (50Hz)	6	31,6	189,6
KM GEA Bock HGX44e/390-4 S CO2 (60Hz)	1	15,4	15,4
KM GEA Bock HGX44e/390-4 S CO2 (55Hz)	1	15,2	15,2
KM GEA Bock HGX44e/390-4 S CO2 (50Hz)	6	15,1	90,6
KM GEA Bock HGX46/280-4 S CO2 T (70Hz)	4	35,8	143,2
KM GEA Bock HGX46/280-4 S CO2 T (50Hz)	10	24,6	246,0
KM GEA Bock HGX44e/565-4 S CO2 (70Hz)	4	26,6	106,4
KM GEA Bock HGX44e/565-4 S CO2 (50Hz)	12	18,3	219,6
KM GEA Bock HGX46/280-4 S CO2 T (70Hz)	2	34,8	69,6
KM GEA Bock HGX46/280-4 S CO2 T (50Hz)	2	23,9	47,8
ПО1 GACV CX 063.1FE/4A-70.E-16NU.22CM	1	6,47	6,47
ПО1 ТЕИ	1	15,3	15,3
ПО2 GADP CX 050.1FE/2E-40.E-1FWD.2YW	1	0,44	0,44
ПО2 ТЕИ	1	10,4	10,4
ПО3 GACV CX 050.1HN/2A-A0.E-166N.01DM	1	1,11	1,11
ПО3 ТЕИ	1	18,25	18,25
ПО4 GACV CX 063.1HN/2A-A0.E-16U6.22CM	4	3,24	12,96
ПО4 ТЕИ	4	20,65	82,6
ПО5 GACV CX 040.1FN/2A-A0.E-14KW.1H0M	1	0,4	0,4
ПО5 ТЕИ	1	5,55	5,55
ПО6 GACV CX 040.1FN/2A-A2.E-14G8.1H0M	1	0,39	0,39
ПО6 ТЕИ	1	6,8	6,8

*Продовження таблиці №11.2. Вихідні дані споживачів електроенергії.*

Споживачі електроенергії	Кіль-ть., шт.	Споживання електроенергії одиниці обладнання, кВт.	Споживання електроенергії усього обладнання, кВт.
ПО7 GADC CX 035.2/4WN/HEA7E.TNNN	4	0,62	2,48
ПО7 ТЕИи	4	11,8	47,2
Тунель шокової заморозки UNIDEX	1	118,0	118,00

### 13.АВТОМАТИЗАЦІЯ

При прокатуванні комплексу холодильних камер та холодильного обладнання особливе значення має автоматизація процесів охолодження та аварійної зупинки, а також сповіщення персоналу. Ми в своїй роботі передбачаємо встановлення вільнопрограмованих контролерів Carel, та створюємо свої власні програми для автоматизації процесів.

Автоматизація холодильних установок вирішується наступним чином:

- автоматичне регулювання та контроль температурного режиму в холодильних камерах по середньому значенню з показань 3х датчиків;
- керування та захист компресорів від аварійних режимів роботи;
- керування частотними перетворювачами;
- керування електронним вприском холодоагенту;
- керуванням відтайками
- регулювання та контроль рівня мастила в мастиловіддільниках та компресорах;
- керування компресорами;
- керування вентиляторами ;
- автоматичне подача води на газоохолодник;
- аварійне відключення холодильної установки;
- світлова та звукова сигналізація роботи холодильної установки;
- система диспечеризації та віддаленого управління;
- режими байпасування гарячого газу при рекуперації тепла або старт в зимовий час
- замір концентрації CO2 в приміщеннях

Об'єктом автоматизації в даному дипломному проєкті являється автоматизація холодильних камер з використанням проміжного теплоносія.

Алгоритм роботи :

Для кожної холодильної камери передбачено вільнопрограмований контролер з винесеним ЖК дисплеєм біля входу в камеру.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До контролера під'єднуються 3 датчики температури повітря в камері, датчики температури блока випарника для контролю відтайки, кінцевий вимикач на дверях для контролю стану дверей, аварійна кнопка «ЛЮДИНА В КАМЕРІ», електронне ТРВ вприску рідкого CO<sub>2</sub> у випарник, датчик концентрації CO<sub>2</sub> в камері. По вказаним вище сигналам контролем керує електронним ТРВ вприску рідкого CO<sub>2</sub> у випарник, вмикає вентилятори, вмикає відтайку, вимикає охолодження у разі спрацювання аварії високої концентрації CO<sub>2</sub> в камері або сигналу «ЛЮДИНА В КАМЕРІ», вмикає / вимикає освітлення по стану кінцевика.

Компресорні станції керуються контролерами PRK300T, видаючи сигнал управління компресорами по тиску, керуючи вентиляторами газоохолодника, системою рекуперації та відстежуючи аварійні сигнали :

- Низького тиску
- Високого тиску
- Рівня мастила в масляному ресивері
- Низького рівня CO<sub>2</sub>
- Високого рівня CO<sub>2</sub>
- Перевантаження компресора
- Перегріву компресора
- Захисту вентиляторів газоохолодника
- Перегріву води в системі рекуперації

Контролер визначає оптимальний тиск газу в газкулері в залежності від температури зовнішнього середовища для забезпечення максимальної енергоефективності. Або ж ігнорує енергоспоживання задля збільшення тепловіддачі в систему рекуперації

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 14. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Специфікацію на обладнання холодильної установки зведено до таблиці 13.1.

Разом вартість обладнання холодильної установки буде складати 68 636 тис. грн. з врахуванням ПДВ.

*Табл. 13.1*

№ п/п	Назва обладнання	Виробник	Ціна, тис. грн. шт.	К-ть, шт.	Вартість тис. грн. з ПДВ
1	Компресорна станція Magnus ICE 600	Коріел груп	18040	1	18040
1	Компресорна станція Magnus RED 600	Коріел груп	16250	1	16250
1	GACV CX 063.1FE/4A-70.E-16NU.22CM	Guentner	748	1	748
1	GADP CX 050.1FE/2E-40.E-1FWD.2YW	Guentner	660	1	660
1	GACV CX 050.1HN/2A-A0.E-166N.01DM	Guentner	431	1	431
1	GACV CX 063.1HN/2A-A0.E-16U6.22CM	Guentner	645	2	1290
1	GACV CX 063.1HN/2A-A0.E-16U6.22CM	Guentner	645	2	1290
1	GACV CX 040.1FN/2A-A2.E-14G8.1H0M	Guentner	355	1	355
1	GADC CX 035.2/4WN/HEA7E.TNNN	Guentner	374	4	1496
1	OP2231116-1-01-0	Guentner	1513	4	6052
1	Газоохолодник	Guentner	1135	1	1135
1	Газоохолодник	Guentner	32	3	96
1	Інтер кулер	Guentner	396	2	792
1	Інтер кулер	Guentner	382	1	382
1	Лінійний ресивер	Коріел груп	1340	2	2680
1	Мастиловіддільник	ESK	158	4	632
1	Система трубопроводів, арматури та		10287	1	10287
1	Монтажні роботи	Коріел груп	6020	1	6020

## Визначення кількості виробленого холоду

Витрати на виробництво холоду при різноманітних температурах кипіння нерівноцінні, тому їх слід приводити до умовної величини – приведенного виробництва холоду, яка визначається як сума добутків кількості виробленого холоду при робочих умовах на коефіцієнт переводу. Величина перевідного коефіцієнту приймається в залежності від робочої температури.

Приведена холодопродуктивність, що забезпечує потреби камер та флюїдизаційного тунелю, кВт:

$$\Sigma Q := (600 + 350 + 240)$$

$$Q := \Sigma Q \cdot 0.74 \quad Q = 880.6$$

Час роботи обладнання при максимальному навантаженні складає 5400 годин на рік. Кількість виробленого приведенного холоду за рік буде складати, кВт:

$$Q_{\text{ПР}} := Q \cdot 5400 = 4755240$$

По цій статті розраховують витрати на силову електроенергію для приводів компресорів, насосів та вентиляторів, що встановлені на основному холодильному обладнанні. Річне споживання електроенергії визначається за

формулою:  $W = \sum N_e \times K_c \times n$

де:  $N_e$  – номінальна потужність двигуна, кВт;  $K_c$  – коефіцієнт використання (0,7);  $n$  – час роботи обладнання при робочих умовах. Перелік електроприводів, їх характеристика та розрахунок витрат електроенергії зведено до таблиці 11.1.

Об'єднаємо по групам споживачів і заповнимо таблицю 13.2.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл.13.2

№ п/п	Назва обладнання	Номінальна потужність, кВт	Час роботи, год	Споживана електроенергія, кВт*год
1	Компресори	690	5400	2608200
2	Двигуни вентиляторів повітроохолодників	24,5	3000	51450
3	Двигуни вентиляторів конденсатора	46,8	3000	10800
4	Тени випарників	186,1	1000	13270
5	Двигуни флюїдизаційного тунелю	118	5400	446040
				3129760

Разом річна витрата електроенергії складає 3 129 760 кВт×год.

Тариф оплати електроенергії складає 10,4 грн. за кВт× год.

Тоді витрати на оплату електроенергії складатимуть:

$$3\,129\,760 \times 10,40 = 32\,549,5 \text{ тис грн з ПДВ}$$

Витрати на поповнення системи холодильним агентом

Ці витрати знаходяться у прямій залежності від продуктивності компресорів.

Витрати на заповнення системи CO<sub>2</sub>, за умови його вартості 40 грн/кг складатимуть:

$$V_{\text{CO}_2} = 160 \times 40 = 6,4 \text{ тис грн з ПДВ}$$

Витрати на поповнення системи мастилом

Ця величина залежить від кількості мастила в системі та періодичності заміни.

Витрати на поповнення системи мастилом при ціні мастила 1600 грн/л складатиме:

$$V_{\text{маст}} = 120 \times 1600 = 192 \text{ тис грн}$$

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Витрати на заробітну плату

Робітники, що обслуговують обладнання отримують за договором обслуговування. Розмір платні за договором складає 1 812 тис.грн. за рік.

### Амортизація обладнання

Амортизацій відрахування на обладнання становлять 10 %:

$$A_{\text{аморт}} = 68\,636 \text{ тис} \times 10\% = 6\,863,6 \text{ тис грн}$$

### Витрати на поточні ремонти

Витрати на поточні ремонти складають 30 % від амортизаційних витрат:

$$V_{\text{рем}} = 6\,863,6 \times 30\% = 2\,059,08 \text{ тис грн}$$

### Утримання будівлі

Вартість будівлі становить 3 200 грн за кожен 1м<sup>2</sup> будівельної площі.

Таким чином вартість будівлі буде складати:

$$V_{\text{буд}} = 4240 \times 3,2 = 13,568 \text{ тис грн}$$

Амортизаційні відрахування на будівлі становлять 2%

$$A_{\text{буд}} = 13,568 \times 2\% = 271,36 \text{ тис грн}$$

### Цехові витрати

Калькуляцію цехових витрат зведено до таблиці собівартості одиниці виробленого холоду, Табл.13.3.

Табл.13.3.

Стаття витрат	Сума тис грн
Електроенергія	32549,5
Масило	6,4
СО2	192
Оплата праці	1812
Амортизація	6863,6
Поточні ремонти	2059,08
Утримання будівлі	13,568
Амортизація будівлі	271,36
Разом	43767,508

Визначення собівартості одиниці виробленого холоду:

$$C_{\text{хол}} = 43\,767\,508 / 4\,755\,240 = 9,2 \text{ грн / кВт*год}$$

Собівартість холоду складає 4086,03 тис.грн на рік. Передбачається, що послуги холодильника будуть здійснюватися з середньою рентабельністю 120 %

Використовуємо нормативний метод планування прибутку, який базується на єдиному відсотку рентабельності на всю продукцію, загальний плановий прибуток буде складати:

$$\Delta\Pi = 43767,508 * 1,2 = 52\,521 \text{ тис грн на рік}$$

Чистий грошовий потік (ЧГП) складається з планового чистого (з врахуванням податків 20%) та приросту амортизації по обладнанню та будівлям:

$$\text{ЧГП} = (\Delta\Pi \times 0,8) + A_{\text{аморт}} + A_{\text{буд}}$$

$$\text{ЧГП} = (52\,521 \times 0,8) + 6\,863,6 + 271,36 = 49\,151,76 \text{ тис грн}$$

Чистий приведений дохід (ЧПД) представляє собою абсолютне порівняння затрат на будівництво холодильника і результатів від його використання.

$$\text{ЧПД} := \sum \left( \frac{\text{ЧГП}}{(1+p)^t} \right) - K \geq 1$$

де:  $t$  – період життєвого циклу проекту, приймається на рівні 20 років;

$p$  – ставка дисконту, яка характеризує можливий рівень втрат чистих грошових потоків (ЧГП) за період життєвого циклу, приймається на рівні 20 %:

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЧПД =

$$\frac{49151760}{1.2^1} + \frac{49151760}{1.2^2} + \frac{49151760}{1.2^3} + \frac{49151760}{1.2^4} + \frac{49151760}{1.2^5} + \frac{49151760}{1.2^6} + \frac{49151760}{1.2^7} + \frac{49151760}{1.2^8} + \frac{49151760}{1.2^9} + \frac{49151760}{1.2^{10}} - 68636000 = 137431382$$

Так як чистий дохід (ЧД) більше 0 і становить 137 743,382 тис. грн. то проєкт доцільний до виконання.

Індекс дохідності (ІД) має нормативне значення  $>1$

$$ІД = ЧД / К = 137\,743,382 / 68\,636 = 2,02$$

Так як (ІД) складає 2,02 то це означає, що сумарна дисконтована (змішана) віддача від використання холодильника в 2 рази перевищує капітальні вкладення на його створення.

Тоді індекс рентабельності (ІР) буде

$$ІР = ЧД / К = 137\,743,382 * 0,8 / 68\,636 = 1,6$$

Індекс рентабельності складає 1,6 при нормативному значенні  $>0$ , тобто рентабельність проєкту складає 160 %.

Термін окупності (дисконтований):

$$T_d = К / (ЧД \times 10) = 68\,636 / (137\,743,382 \times 10) = 5 \text{ років}$$

Таким чином враховуючи те, що термін повернення інвестицій знаходиться в межах життєвого циклу проєкту (10 років), індекс дохідності складає 2,02 тобто  $>1$ , а чистий приведений дохід – величина позитивна становить 137 431,382 тис. грн. за розрахунковий період експлуатації холодильника, проєкт є окупним і доцільним до впровадження.

					00.МР.142.003.081.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 15. ВИМОГИ ДО РОЗМІЩЕННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК

Холодильне обладнання та трубопроводи повинні розташовуватись в спеціально обладнаному приміщенні, з аварійним освітленням, аварійною вентиляцією та обмеженим доступом для людей без спеціальних навичок. Також до приміщення машинного відділення є додаткові умови: можливість розташування холодильного обладнання та трубопроводів монтаж із забезпеченням висоти для проходу не менше 2,2 м – від відмітки підлоги до виступаючих частин обладнання (трубопроводи, арматура та ін.);

Забороняється розташовувати в одному приміщенні з холодильною установкою пристрою з відкритим полум'ям, а також поряд з вибухонебезпечними обладнанням.

Двері машинних відділень обов'язково мають відкриватись в бік виходу з приміщення.

Фундаменти під агрегати повинні бути відокремлені від фундаментів стін або колон будівлі машинного відділення. При установці агрегатів на перекриття необхідно передбачити заходи, що знижують можливість передачі вібрації на будівельні конструкції відповідно до чинних нормативних документів.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 16. МОНТАЖ І ВИПРОБУВАННЯ СИСТЕМ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ

Монтаж і випробовування систем вести згідно EN378 “Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements”. Керівники та фахівці організацій, що виконують будівельно-монтажні роботи, повинні пройти перевірку знань вимог промислової безпеки.

Монтаж обладнання, арматури проводити згідно креслень, затвердженого і погодженого проекту, паспортів обладнання та вказівок щодо їх монтажу і установці, після закінчення всіх будівельних робіт.

При монтажі обладнання і трубопроводів скласти виробничу документацію відповідно до Додатку 2 СНиП 3.05.05-84 «Технологическое оборудование и трубопроводы».

При переміщенні обладнання, арматури і трубопроводів під час монтажних робіт необхідно дотримуватися НПАОП 0.00-1.03-02 «Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів». Проведення робіт на висоті допускається тільки з риштувань, телескопічної вишки або сходів, передбачених ПОР. Виконання монтажних робіт з відхиленням від проекту без узгодження з проектною організацією не допускається.

Без фланцевої арматура перед приварюванням повинна бути розібрана або відкрита до упору. Якщо приварювання проводиться без підкладних кілець, арматуру після його закінчення дозволяється зібрати або закрити лише після її внутрішнього очищення.

Забивання зазорів навколо трубопроводів в місцях перетину стін, перегородок, виконувати з негорючих матеріалів, які забезпечують нормовану ступінь вогнестійкості.

					<b>00.MP.142.003.081.P3</b>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розмітку труб під нарізку виконати після установки устаткування, монтажу опор, підвісок, та інших кріплень трубопроводів, установки арматури на апарати, ємності, компресорні, насосні агрегати.

Не допускається попадання всередину трубопроводів, бруду, окалини і т.д.

Зварювання деталей і трубопроводів ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе». Виконати зварювання елементів трубопроводу та арматури, використовуючи дугове зварювання в захисному газовому середовищі з інертним газом Аргоном. Після зварювання сварні шви обробити механічно, для зняття оксидної плівки та збільшення корозостійкості шва.

Паяні та зварені шви трубопроводів розміщувати на відстані не менше 100 мм до опор і підвісних кріплень для труб  $D_u \leq 50$  мм, і не менше 200 мм для труб  $D_u \geq 50$  мм.

Монтаж трубопроводів виконувати без перекосів, напруги в фланцях і зварних з'єднаннях. Всі трубопроводи надійно закріпити за місцем на спеціально обладнаних стійках, підвісках, кронштейнах з достатньою гнучкістю для компенсації деформацій. Не допускається передавати навантаження від трубопроводів на обладнання і арматуру.

Крок кріплення трубопроводів забезпечити згідно до ДСТУ-Н Б В.2.5-73:2013 «Настанова з монтажу внутрішніх санітарно-технічних систем». Кріплення розташувати в зручних місцях

Трубопроводи нагнітання виконуються з ухилом 12 мм/м в сторону газоохолодника.

Трубопроводи після газоохолодника виконуються з ухилом 12 мм/м в сторону лінійного ресивера.

					<b>00.MP.142.003.081.P3</b>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Трубопроводи всмоктування виконуються з ухилом 12 мм/м в сторону холодильної установки.

Категорично забороняється ходити по пінополіуретановим панелям стелі за винятком проходів в межах 0,5 м в кожную сторону від несучих підвісних елементів. Проходи повинні бути показані обмежувальною стрічкою. Пересуватися по панелям тільки із закріпленням до металевих конструкцій монтажним поясом, не більше 1-її людини на панель.

Зварювальні та інші роботи, при яких можлива поява іскор, необхідно проводити не ближче 10м від холодильних панелей, ізоляційних плит, ізоляції трубопроводів та інших горючих матеріалів. Якщо ці роботи проводяться на висоті, горизонтальна відстань від вищевказаних матеріалів повинно бути не менше вертикальної відстані до місця проведення робіт.

Після закінчення монтажу по кожній лінії трубопроводів необхідно перевірити всю арматуру, наявність врізок, бобишек і т.п. Після чого, для видалення окалини, ґрата і інших забруднень з трубопроводу, необхідно кожную лінію продути стисненим висушеним повітрям або інертним газом. Під час продування системи використовується стиснене повітря тиском 0,6 МПа.

Після закінчення монтажу та продувки ємності, апарати і трубопроводи холодильних установок повинні піддаватися технічному огляду, в який входять: зовнішній і, при наявності люків, внутрішній огляд; пневматичні випробовування на міцність, щільність.

Величина пробного тиску дорівнює для трубопроводів холодо- і теплоносія (всіх систем):

- $R_{сп} = 1,5 * P_{роб}$  протягом 10 хв на міцність.

- $R_{сп} = P_{роб}$  протягом 24 годин на герметичність.

					<b>00.MP.142.003.081.P3</b>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Норми падіння тиску згідно НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском».

На всіх газових та рідинних (за необхідністю) лініях по всіх їх протяжності передбачена ізоляція, яка запобігає втрати холоду і утворенню конденсату на трубах, а також надмірному зростанню тиску. Роботи по ізоляції трубопроводів, арматури і обладнання вести згідно СНиП 2.04.14-88 «Теплова ізоляція обладнання і трубопроводів».

					<b>00.МР.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 17. ОХОРОНА ОТОЧУЮЩОГО СЕРЕДОВИЩА

Злив конденсату з повітроохолоджувачів при відтайці здійснюється в систему виробничої каналізації. Небезпечних для навколишнього середовища стоків від холодильних установок в каналізацію немає. У встановлюваних холодильних системах холодоагент циркулює в замкнутому герметичному обсязі, технологічних викидів в навколишнє середовище немає. Рівень шуму і вібрацій не перевищує допустимих величин згідно ДБН В.1.1-31:2013 «Захист території, будинків і споруд від шуму». У зв'язку з цим проведення додаткових природоохоронних заходів проектом не передбачається.

Заправляються в агрегати холодоагент R744, який має нульовий озоноруйнуючий потенціал ( $ODP = 0$ ), мінімально можливий потенціал глобального потепління ( $GWP = 1$ ), нетоксичний та не запалюється і не підтримує горіння.

### ТРАНСПОРТУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ХОЛОДОАГЕНТУ, ЗАПРАВКА СИСТЕМ ТА ВИТОКИ ХОЛОДОАГЕНТУ

Холодильні агенти транспортуються та зберігаються в герметичних балонах під тиском. Не допускається нагрівання балонів з холодильними агентами під час транспортування, зберігання або заправки.

Заправка холодоагентом R744 здійснюється після завершення випробовувань на герметичність та повної вакуумації систем. Тиск після вакуумації не повинен перевищувати 30 Па. Для заправки системи холодоагентом необхідно під'єднати заправну станцію через технологічний фільтр-осушувач з допомогою гнучких шлангів до сервісного штуцера холодильної установки, і, орієнтуючись на рекомендовані параметри та показники манометрів, здійснити заправку. Середня тривалість заправки одного балону R744 – 40 хвилин.

					00.MP.142.003.081.P3	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При заправці з'єднання балону, заправочного колектора, вакуумного насосу та сервісного штуцера холодильної системи, мають бути ущільненні та герметичні. Дані елементи з'єднуються гнучкими шлангами з шаровими вентилями для забезпечення можливості герметизації окремих ділянок. При заправці холодильний агент подається на лінію всмоктування холодильної системи. Після закінчення процесу заправки холодильний агент всмоктується із заправної станції та шлангів, що запобігає виникненню технологічних викидів.

У випадку дотримання правил з безпечної експлуатації холодильних установок, а також рекомендацій заводів-виробників обладнання і автоматики, при заправці і подальшій експлуатації холодильних систем, витоків холодильних агентів не відбувається.

У разі виникнення аварійної ситуації з подальшою розгерметизацією одного із контурів холодильної установки проектом передбачено систему газоаналізаторів. Газоаналізатори вмикають тривогу при наявності в повітрі понад 5000 ppm R744, що дозволяє завчасно попередити персонал про наявність витоку, та своєчасно запобігти більшому викиду холодоагенту, відсікти пошкоджену ділянку системи та усунути пошкодження. Відсікти пошкоджену ділянку можливо завдяки ручних запірних вентилів.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 18. БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

### 18.1. ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК

При експлуатації вуглекислотних холодильних систем слід дотримуватись положень документів, зазначених в загальній частині даного розділу, обов'язкові інструкції по експлуатації установок, вказівки заводів-виготовлювачів обладнання, арматури і технологічний регламент.

До роботи на холодильній установці допускаються особи, що задовольняють відповідним кваліфікаційним вимогам та придатні за станом здоров'я.

Всі операції по пуску і зупинці технологічних систем і окремого обладнання повинні відповідно проводитися до розроблених в установленому порядку інструкціями.

Оптимальний режим роботи холодильних установок досягається підтриманням заданого розрахункового перепаду температур між робочими середовищами в теплообмінних апаратах, обґрунтованого перегріву парів на всмоктуванні в компресор, нормальної температури нагнітання.

Основні заходи щодо безпечної експлуатації холодильної установки є:

Експлуатація тільки справного обладнання та комунікацій, та своєчасне виконання планово-попереджувального ремонту;

Забезпечення максимальної герметичності обладнання та комунікацій;

Забезпечення безпечного проведення ремонтних робіт;

Забезпечення надійного контролю над технологічним процесом, суворе дотримання технологічного режиму і робочих інструкцій.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В період експлуатації необхідно:

Пуск в роботу компресорів, насосів та іншого обладнання і їх зупинку точно відповідно до затверджених інструкцій;

Записувати в добовий журнал основні показники роботи обладнання (температури, тиск, та ін.);

При неполадці в роботі негайно доводити до відома начальника;

Стежити за наявністю і справністю засобів пожежогасіння.

Категорично забороняється допускати роботу з несправними запобіжними клапанами, манометрами, приладами захисної автоматики, датчиками рівня, без блокувальних пристроїв і без діючої загально обмінної і аварійної вентиляції.

Найбільш часто зустрічаються відхилення від нормального режиму роботи, що впливають на безпеку експлуатації:

Знижена температура кипіння у випарнику;

Підвищена температура на виході газу з газоохолодника;

Підвищена температура та тиск у лінійному ресивері;

Підвищена температура та тиск на ініях нагнітання компресорів;

Вологий хід компресора;

Хід компресора без мастила;

При експлуатації обладнання слід суворо контролювати зазначені параметри.

Все обладнання та трубопроводи повинні мати надійне заземлення, справність якого необхідно контролювати.

Користуватися відкритим полум'ям і куріння в приміщеннях машинних відділень і в межах зовнішніх установок не допускається.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 18.2. СИСТЕМА «ЛЮДИНА В КАМЕРІ»

Усередині холодильних камер праворуч від виходів на висоті 500 мм від підлоги повинні бути розташовані кнопки з підсвічуванням сигналізації «Людина в камері». При натисканні цієї кнопки загоряється табло «Людина в камері», над входом в камеру і включається звукова сигналізація, зупиняються системи охолодження у камері. Сигнал від сигналізації повинен подаватися в приміщення з постійним перебуванням персоналу (пункт охорони, диспетчерська або ін.).

Категорія електроживлення системи «Людина в камері» - I.

Сигналізацію «Людина в камері» проектує Генеральний проектувальник в своїй частині проекту.

## 18.3. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Прибирання машинного відділення потрібно проводити при необхідності сухе і вологе. Обладнання повинно бути відключене і заземлення повинно бути справним. Зазвичай достатньо сухого прибирання обладнання (Видалення пилу).

Монтаж системи холодопостачання повинні проводити кваліфіковані працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці та мають відповідні допуски.

Вхід стороннім особам у машинне відділення забороняється, про що повинні бути вивішені попереджувальний напис біля вхідних дверей і заборонний знак безпеки.

Виконання робіт в машинних відділеннях, а також холодильних камерах особами, не пов'язаними з обслуговуванням холодильної установки і експлуатацією камер (ремонт приміщення, теплоізоляційні роботи, фарбування обладнання та труб і ін.), повинні проводитися після відповідного

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інструктажу і під наглядом особи, відповідальної за експлуатацію холодильної установки (або особи, яка його замінює). Допущенні до роботи особи повинні бути проінструктовані про небезпечні наслідки пошкодження елементів холодильних установок, про недопустимість використання обладнання і труб як опор для робочих майданчиків (підмостки), сходинок і засобів підйому матеріалів та заборону куріння в приміщеннях.

За пожежонебезпечністю всі приміщення холодильних установок відносяться до категорії «Д».

За рівнем безпеки від ураження електричним струмом машинні відділення холодильного обладнання віднесені до категорії приміщень з високим ступенем безпеки.

#### **18.4. ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З ХОЛОДОАГЕНТОМ R744**

Холодоагент R744 відносно нетоксичний, вибухобезпечний і негорючий. Існує природньо в атмосфері при концентраціях близько 400 ppm. R774 не має запаху, важчий за повітря і є задушливою речовиною. Практична межа PL (practical limit) R744 нижча за ГФУ через його потенціал токсичності за умов підвищених концентрацій:

Практична межа R744: 0,1 кг/м<sup>3</sup> (56 000 ppm);

Практична межа R404A: 0,48 кг/м<sup>3</sup> (120 000 ppm);

Якщо витік R744 може призвести до зростання концентрації, що перевищує практичну межу, у закритому приміщенні, такому як холодильна камера, необхідно вжити заходів безпеки для запобігання задухи. Сюди входить застосування засобів постійного виявлення витоків, яке активує аварійний сигнал у разі витоку

					<b>00.MP.142.003.081.P3</b>	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 18.5. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ

Роботи з технічного обслуговування холодильних установок, усунення неполадок мають проводитися з дотриманням документу EN378 “Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements”, інструкцій по експлуатації холодильного обладнання заводу-виробника, а також правил техніки безпеки.

Проходи поблизу машин і апаратів повинні бути завжди вільними, а підлогу проходів – в справному стані.

Доступ до рухомих частин дозволяється тільки після повної зупинки і вживання всіх заходів проти пуску обладнання сторонніми особами.

Забороняється експлуатація холодильної установки з несправними приладами захисної автоматики, куріння і користування відкритим полум'ям в машинному відділенні.

Одним із недоліків CO<sub>2</sub> є те, що витікання з системи не супроводжується характерним запахом чи кольором. Це означає місця, де можливе витікання вуглекислоти, повинні бути обладнані давачами, які сповіщають, коли рівень концентрації вуглекислоти перевищує 5000 ppm, щоб уникнути створення несприятливих для здоров'я умов. Оскільки CO<sub>2</sub> є важчим за повітря, давачі та витяжні вентилятори в приміщеннях, де можливі витікання CO<sub>2</sub>, повинні бути розташовані максимально близько до підлоги на рівні 20-30 см згідно з EN378, розділ 3, пункт 8.2. Таке розташування давача дозволить вимірювати більшу концентрацію у порівнянні із розташуванням на рівні попадання у дихальні шляхи людини. В свою чергу це сприятиме швидшому виявленню витікання і пришвидшенню евакуації людей з приміщення.

У випадку виявлення високих рівнів концентрації CO<sub>2</sub>, система управління може бути налаштована на вимикання компресорів та насосів; закриття регулюючих клапанів; запуску інтенсивної подачі свіжого повітря. Усе вище перераховане обов'язково супроводжується звуковою та світловою сигналізацією згідно з EN378, розділ 3, пункт 7.3.

					<b>00.MP.142.003.081.P3</b>	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При цьому обов'язковою вимогою також є індивідуальне живлення систем вентиляції та аварійної сигналізації згідно з EN378, розділ 3, пункт 7.2. CO<sub>2</sub> є дешевим холодильним агентом і відносно безпечним, тому проектування систем безпеки може проводитись з меншим рівнем чутливості до витікання. Системи виявлення витоків зазвичай вимагають від користувача попередньо встановити тип газу під час налаштування давачів, щоб уникнути помилкових сигналів тривоги.

Технічний контроль обладнання необхідно здійснювати:

Кожен тиждень в першому кварталі після введення обладнання в експлуатацію;

Кожен третій тиждень у другому кварталі;

З третього кварталу і далі – щомісяця.

В ході контролю, необхідно перевіряти наступне:

Зовнішній огляд устаткування;

Рівні рідин в ємностях;

Рівні мастила в компресорах;

Роботу допоміжного обладнання (насоси, вентилятори і т.д.);

Робочі параметри систем (Тиск, температура, напруга, робочі токи та пускові токи);

Забруднення і відкладення на теплообмінних поверхнях повітроохолоджувачів, інтеркулерів та газоохолоджувачів.

З урахуванням цих даних необхідно проводити (профілактичний) ремонт, а також процедури перевірки і обслуговування, зазначенні в керівництві виробника основного обладнання.

Необхідно перевірити установку і правильне функціонування аварійної та робочої автоматики, а також правильність показання даних.

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 18.6. НАВЧАННЯ ПЕРСОНАЛУ

Адміністрація підприємства зобов'язана забезпечити холодильні установки необхідним штатом обслуговуючого персоналу, керуючись затвердженим на підприємстві штатним розкладом і в повній відповідності з діючими «Нормативами чисельності робочих холодильних установок», або укласти договір зі спеціалізованою організацією на комплексне технічне обслуговування автоматизованих холодильних установок.

Адміністрація підприємства зобов'язана проводити навчання робітників, інженерно-технічних працівників і службовців, а також здійснювати контроль своєчасності та якості навчання працюючих.

Персонал допущений до технічного обслуговування конкретної холодильної установки, крім загальнотеоретичних знань, повинен знати наступне:

Машиністи та слюсарі-ремонтники: пристрій, обслуговування, принцип роботи, розташування трубопроводів холодо- і теплоносія, порядок виконання робіт по пуску, зупинці, регулюванні режимів роботи установки та її елементів згідно заводським інструкціям з обслуговування встановленого обладнання; нормальний режим роботи холодильної установки; правила заправки установки холодоносієм.

Слюсарі по КВПіА: правила безпеки при користуванні електроустановками; пристрій, обслуговування, принцип дії і наладку приладів автоматики, щитів і пультів, системи автоматизації та захисту компресорів і насосів від небезпечних режимів роботи і аварій; принцип роботи холодильної установки.

Електромеханіки: пристрій, обслуговування, регулювання і правила ремонту як холодильної установки, так і електроустановок, а також системи автоматизації та захисту обладнання від небезпечних режимів роботи і аварій.

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 19. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

У проекті передбаченні наступні заходи з енергозбереження:

Використання ефективного холодоагенту;

Використання ефективних теплоізоляційних матеріалів;

Використання електродвигунів з ЕС-технологією на вентиляторах;

Передбачено систему рекуперації та/або утилізації тепла від роботи холодильної системи.

Використання технології hydroBLU у газоохолодних теплообмінних апаратах, що дозволяє значно підвищити ефективність роботи холодильної системи в теплі періоди року, та заощаджує масогабарити теплообмінного обладнання;

Використання холодильних систем з сучасними високоефективними енергоємними випарниками;

Використання електронних розширювальних вентилів. Електронні РВ працюють при менших тисках конденсації, таким чином знижується енергоспоживання компресорів. Також краще відбувається заповнення випарника, збільшується його ефективність і знижується енергоспоживання системи. Додатково електронні розширювальні вентилі мають плавне регулювання заповнення випарника, що дає можливість досягнути більш плавної синусоїди роботи компресорів та більшого балансу системи;

Управління тиском випаровування і тиском конденсації/виходу з газоохолодника на агрегаті здійснюється контролерами Параметрично Інтегрально Диференційного керування з можливістю передбачення збільшення навантаження на систему, керування здійснюється в повністю автоматичному режимі згідно з ПІД системами регулювання головних контролерів, керуюче обладнання фірми CAREL працює на максимальне зменшення енергоспоживання з утриманням заданих робочих параметрів системи та максимальним збільшенням терміну експлуатації обладнання;

Використання частотних перетворювачів для керування продуктивністю роботи компресорів та насосів гідромодулів.

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В системі холодопостачання камер, передбачено подвійну систему рекуперації тепла:

Середньо потенційного тепла на потужність 200 кВт з температурою 60°C, для систем ГВП та підігріву підлог офісу, рекуперація тепла проводиться за допомогою проміжного контуру пропілен-гліколю;

Низько потенційного тепла на потужність 80 кВт з температурою 30°C, для систем підігріву ґрунтів холодних приміщень та ін., рекуперація тепла проводиться за допомогою проміжного контуру пропілен-гліколю.

Низько потенційного тепла на потужність 80 кВт з температурою 30°C, для систем підігріву теплої води для системи відтайки та мийки тунелю флюїдизаційного шокowego замороження, рекуперація тепла проводиться за допомогою проміжного контуру пропілен-гліколю.

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 20.ВКАЗІВКИ ДЛЯ СУМІЖНИХ РОЗДІЛІВ

### 20.1. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНІ РІШЕННЯ

У місцях перетину трубопроводами стін, перекриттів і перегородок повинні бути передбаченні спеціальні футляри, кінці яких повинні виступати на 20...50 мм з пересічної конструкції. При перетині стін і перегородок довжину футляра допускається приймати рівною товщині стіни, що пересікається, або перегородки.

Зазор між трубопроводом і футляром повинен бути не менше 10 мм з ущільненням негорючими матеріалами, що допускають переміщення трубопроводу.

### 20.2. ВОДОПРОВІД І КАНАЛІЗАЦІЯ

Слід забезпечити підключення трубопроводів зливу конденсату з повітроохолоджувачів холодильних камер в каналізацію.

Підвести трубопроводи забезпечення проточною водою газоохолодників з такими параметрами:

Використання води: 3.0 м<sup>3</sup>/год;

Тиск води в системі не менше 2.0 Бар та не більше 3.5 Бар.

Параметри водопостачання для обладнання згідно з заводом виробником:

Вода прозора, без осаду; без кольору; рН параметр при 20°C: 6,5-8,5; температура: ≤20°C; електропровідність при 20°C: ≤1000 μS/cm; жорсткість води: ≤21°d; аміаку: ≤ 0,5 г/м<sup>3</sup>; хлору: 200 г/м<sup>3</sup>; сульфатів: ≤300 г/м<sup>3</sup>.

Також необхідно підвести злив в каналізацію біля газоохолодників.

### 20.3. ОПАЛЕННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЯ

Машинні відділення повинні бути забезпеченні опаленням і вентиляцією відповідно до вимог СН 245-71 та СНиП 2.04.05-91.

Припливна та витяжна (вона ж аварійна) вентиляції в машинних відділеннях повинні бути примусовими з кратністю повітрообміну: припливна не менше 3, витяжна (аварійна) – не менше 4 разів на годину.

					00.МР.142.003.081.ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При цьому стан повітряного середовища має відповідати вимогам ГОСТ 12.1.005-76 «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования». Видалення повітря повинно здійснюватися поблизу холодильних агрегатів з нижньої зони приміщення згідно СНиП 2.04.05-91, при цьому 2/3 загального обсягу повітря видаляти з нижньої зони і 1/3 – з верхньої зони.

					00.МР.142.003.081.ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРА

1. Б.К. Явнель. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 223 с., ил. – (Учебники и учеб. пособия для техникумов).
2. Б.К. Явнель. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. – 1-е изд. – М.: Агропромиздат, 1972. – 348 с., ил. – (Учебники и учеб. пособия для техникумов).
3. Курылёв Е.С., Герасимов Н.А. Холодильные установки. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Холодильные и компрессорные машины и установки». - Л.: Машиностроение, 1980. - 622 с.
4. Методичні вказівки до виконання дипломних проєктів (робіт) студентами спец. 7.090520 “Холодильні машини і установки” денної та заочної форм навчання. /Укл.; М.О.Прядко, А.В.Форсюк, М.М.Масліков.- К.; НУХТ, 2002.
5. Методичні вказівки до виконання розділу “Автоматизація виробничих процесів” в дипломному проєкті для студентів спец. 0517. /Укл.; О.М.Баришніков, К.В. Коновалов.-К.; УДУХТ, 1999.
6. Методичні вказівки до виконання розділу курсового проєкту, випускової та дипломної роботи (проєкту) “Оцінка економічної ефективності інвестиційних проєктів” з використанням комп’ютерної техніки для студентів економічних та технічних спеціальностей денної та заочної форми навчання /Укл.: Л.Г.Цимбалюк, О.Г.Дерев`янка – К.: УДУХТ, 1998.-16 с.  
Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проєкту для студентів спеціальностей 7.090510 “Теплоенергетика”, 7.090520 “Холодильні машини та установки”, 7.090600 “Електротехнічні системи електроспоживання” денної та заочної форм навчання / Ю.М. Ухналевський – К.:УДУХТ, 2002. – 16 с.

					<b>00.MP.142.003.081.P3</b>	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. <http://cde.nuft.edu.ua/> – Сайт дистанційного навчання НУХТ;
9. [https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/32096/1/refrigeration\\_equipment.pdf](https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/32096/1/refrigeration_equipment.pdf) – Холодильна техніка та технологія харчової промисловості: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс]: науково-допоміжний бібліографічний покажчик двома мовами 1960-2020 рр. / упоряд. Т.П. Фесун; Наук.-техн. б-ка ; Нац. ун-т харч. технологій. – Київ, 2020. – 211 с.
10. <http://ref.org.ua/info/articles/materialy-proektu-neat-gs-khau/> – матеріали проєкту HEAT + ГС “Холодильна асоціація України”. Статті, законодавча база та технічна література.
11. <https://store.danfoss.com/ua> – обладнання для систем охолодження фірми Данфос.
12. [https:// Industrial Refrigeration Application Handbook | Danfoss /](https://IndustrialRefrigerationApplicationHandbook|Danfoss/) – навчальна література із застосування промислового холоду.
13. [https://www.academia.edu/28692186/HANDBOOK\\_REFRIGERATION](https://www.academia.edu/28692186/HANDBOOK_REFRIGERATION) – навчальна література по холодильному обладнанню.
14. <https://agrimoon.com/refrigeration-and-air-conditioning-pdf-book/> – навчальна література по холодильному обладнанню.
15. <https://epdf.tips/refrigeration-equipment.html> – навчальна література по холодильному обладнанню.
16. [www.grasso.nl](http://www.grasso.nl) – Вибір обладнання для систем охолодження фірми Grasso;
17. [www.bitzer.de](http://www.bitzer.de) – Вибір обладнання та розрахунки для систем охолодження фірми Bitzer;
18. Тітлов, О.С. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості: навч. посіб. / О.С Тітлов, С.Ф. Горикін.– Львів: Новий світ 2000., 2011.– 286 с.

Теплохолодотехніка: навч. посіб. / С.М. Василенко, В.І. Павелко, А.В. Форсюк, М.М. Масліков, Н.В. Іващенко, С.В. Барановська. – К.: Видавництво Ліра-К, 2018. – 258 с.

					<b>00.MP.142.003.081.ПЗ</b>	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20.Методичні вказівки: Законодавча база щодо кліматичних та енергоефективних альтернатив у секторі охолодження, кондиціонування і теплових насосів (RACHP) в Україні. В рамках проекту “Нарощування потенціалу для інноваційного застосування енергоефективних та клімат-технологій RACHP в Україні” Автори: Julia Haack, HEAT GmbH Edgar Timm, HEAT GmbH Dietram Oppelt, HEAT GmbH Рецензенти: Dr. Cornelia Elsner, UBA Sonja Otto, UBA

					00.MP.142.003.081.ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		