

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



## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

На тему: «Проект холодильника для зберігання коренеплодів  
місткістю 300 т. у м. Одеса»

Здобувача: Тагіров М.Н.

4-го курсу групи ЕНск-141

Керівник: доц. Хмельнюк М.Г.

Консультант: доц. Жихарева Н.В.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри №10 від 30.05.2025 р.

Завідувач кафедри ХУіКП

Михайло Хмельнюк

Одеса – 2025 рік

**ОДЕСЬКІЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики  
Кафедра: Холодильних установок і кондиціонування повітря  
Ступінь вищої освіти: Бакалавр  
Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»  
Освітня програма: «Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри: д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.**

20 листопада 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Тагірова Максима Назіровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи  
«Проект холодильника для зберігання коренеплодів  
місткістю 300 т. у м. Одеса»

Затверджена наказом ОНТУ від № 576-03 від 26.09.24р.

2. Термін задачі здобувачем закінченої роботи: 14.06.25 р.

3. Вихідні дані роботи: Холодильна установка підприємства, орієнтованого  
на зберігання коренеплодів, місткістю 300 тон.,  
розташованого у м. Одеса

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

Постановка завдань проекту ; Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної  
конструкції камер ; Визначення теплового навантаження камер;  
Тепловий розрахунок холодильної системи; Розрахунок повітроохолоджувача;  
Розрахунок повітряного конденсатора; Підбір компресорів та допоміжного  
устаткування, розрахунок магістральних трубопроводів; Охорона праці.

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

План холодильника; Розріз по камерам зберігання; Схема трубопроводів холодильної  
системи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Доц. Жихарєва Н.В.		

7. Дата видачі завдання: 20.11.2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Постановка завдань проекту	01.02.- 15.02.2025 р.	
2	Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер; Визначення теплового навантаження камер	16.02.- 28.02.2025 р.	
3	Тепловий розрахунок холодильної системи; Розрахунок повітроохолоджувача	01.03.- 31.03.2025 р.	
4	Розрахунок повітряного конденсатора; Підбір компресорів та допоміжного устаткування, розрахунок магістральних трубопроводів;	01.04.- 15.04.2025 р.	
5	Охорона праці.	16.04.- 30.04.2025 р.	

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Тагіров М.Н.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ проф. Хмельнюк М.Г.

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

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

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Тагіров М.Н.

## Анотація

к кваліфікаційної роботі на тему

«Проект холодильника для зберігання коренеплодів  
місткістю 300 т. у м. Одеса»

Кваліфікаційна робота складається з розрахунково-пояснювальної записки на 76 сторінках та графічній частини на 6 листах.

Метою цієї роботи є розробка, проектування та оптимальний вибір холодильного обладнання холодильної установки підприємства по зберігання коренеплодів, з мінімальними енергетичними та фінансовими витратами та високої якості продукту. У роботі розглянуто особливості сучасних технологій зберігання коренеплодів, розроблено технологічну схему для забезпечення процесів охолодження та зберігання продукту. Розроблено та спроектовано план підприємства, з розміщенням холодильного устаткування. Визначено теплове навантаження по камерам охолодження та зберігання. Проведено тепловий розрахунок холодильної машини, повітроохолоджувача та конденсатора. Підібрано основне та допоміжне обладнання.

Результати цієї роботи можуть бути використані для проектування нових або реконструкції холодильних установок підприємств, орієнтованих на довгострокове зберігання овочів та фруктів.

ANNOTATION  
TO THE QUALIFYING WORK ON A SUBJECT

"Project of a refrigerator for storing root vegetables  
with a capacity of 300 tons in Odesa"

The qualification work consists of a calculation and explanatory note on 76 pages and a graphic part on 6 sheets.

The purpose of this work is to develop, design and optimal selection of refrigeration equipment for a refrigeration plant of an enterprise for storing root vegetables, with minimal energy and financial costs and high product quality. The work considers the features of modern technologies for storing root vegetables, develops a technological scheme for ensuring the processes of cooling and storing the product. A plan of the enterprise has been developed and designed, with the placement of refrigeration equipment. The heat load on the cooling and storage chambers has been determined. A thermal calculation of the refrigerating machine, air cooler and condenser has been carried out. The main and auxiliary equipment has been selected.

The results of this work can be used for the design of new or reconstruction of refrigeration plants of enterprises focused on long-term storage of vegetables and fruits.

## ЗМІСТ

стор.

1 Вступ. Особливості холодильної технології зберігання коренеплодів .....	7
2 Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер.....	18
3 Визначення теплового навантаження камер .....	24
4 Тепловий розрахунок холодильної системи.....	34
5 Розрахунок повітряного конденсатора .....	38
6 Розрахунок повітроохолоджувача.....	46
7 Підбір компресорів та конденсаторів, розрахунок магістральних трубопроводів .....	54
8 Цивільна захист .....	58
9 Охорона праці .....	62
Список використаної літератури .....	73
Специфікації	

					<b>КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3</b>						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Пояснювальна записка</b>						
Розроб.		Тагіров М.Н.							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Хмельнюк М.Г.							6	76	
Реценз.									<b>ОНТУ ІХКЕ гр.ЕНск-141</b>		
Н. Контр.		Хмельнюк М.Г.									

## 1 Вступ. Особливості холодильної технології зберігання коренеплодів

Метою даної роботи є проектування холодильника, призначеного для тривалого зберігання коренеплодів. Орієнтовна сумарна ємкість овочесховища, виходячи із завдання на проектування складає 300 тон. Місце розміщення холодильника – м. Одеса.

Приймаємо, що в овочесховищі, яке проектується, буде тривалий час зберігатися коренеплоди морква та буряк. Коренеплоди будуть надходити від виробника восени, маючи температуру навколишнього середовища. Тому перед початком зберігання, в камерах буде здійснюватися попереднє охолодження коренеплодів.

Зберігання коренеплодів у овочесховищах для тривалого терміну - це важливий технологічний процес, який забезпечує збереження якості, зниження втрат і підтримку харчової цінності.

Основні умови зберігання коренеплодів

### 1. Температура зберігання

Оптимальна температура для більшості коренеплодів (буряк, морква, картопля, редька) — близько 0...+2 °С. При такій температурі дихання овочів сповільнюється, що дозволяє зберегти їх свіжість і поживні речовини протягом кількох місяців.

### 2. Відносна вологість повітря

Висока вологість — 85–95% — необхідна, щоб запобігти висиханню овочів. Якщо вологість буде низькою, коренеплоди втратять вологу, стануть в'ялими, втрачатимуть товарний вигляд і смакові якості.

### 3. Вентиляція та циркуляція повітря

Забезпечує видалення вуглекислого газу і підтримку потрібного рівня кисню, запобігає утворенню конденсату і розвитку плісняви.

Вентиляція допомагає контролювати температуру та вологість.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4. Контроль газового складу

Для подовження зберігання застосовують модифіковане або контрольоване газове середовище — зниження кисню і підвищення вуглекислого газу, що уповільнює дихання овочів.

#### 5. Підготовка до зберігання

Перед закладанням коренеплоди ретельно сортують, очищують від землі, ушкоджених і хворих екземплярів, можуть підсушувати, щоб знизити ризик загнивання.

#### 6. Сховище

Коренеплоди зберігають у спеціальних овочесховищах:

- Ямах або траншеях із піском чи торфом — це забезпечує додатковий захист від втрат вологи і механічних пошкоджень.
- Камерах з регульованим кліматом, де підтримують оптимальні умови температури, вологості і вентиляції.

Основні завдання при зберіганні коренеплодів

- Сповільнити дихання і обмінні процеси, щоб зменшити витрати поживних речовин.
- Запобігти висиханню і в'яненню.
- Уникнути розвитку патогенних мікроорганізмів і гнилі.
- Зберегти структуру і смакові якості.

Рекомендації щодо зберігання моркви

Оптимальні умови:

- Температура: +0...+2 °С
- Відносна вологість: 90–95%
- Термін зберігання: до 6–8 місяців
- Підготовка:
  - Сортування: видалити пошкоджені та хворі коренеплоди
  - Очищення: зняти залишки землі, але не мити (щоб не пошкодити шкірку)

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Сушка: перед закладанням в сховище допустима легка просушка для зниження поверхневої вологи
  - Упаковка/укладання:
    - Зберігають у штабелях на піддонах, або в ямах з вологою піщаною або торф'яною підстилкою
    - Можливе використання поліетиленових пакетів із перфорацією для збереження вологості
  - Вентиляція: систематична циркуляція повітря для уникнення конденсату і розвитку грибків
- Технологічна схема зберігання моркви
1. Збір → 2. Сортування → 3. Очищення (зняття землі) → 4. Просушка → 5. Укладання в пакети/ящики або штабелі → 6. Закладка в овочесховище (камера або траншея) → 7. Контроль температури і вологості + вентиляція → 8. Відбір партій для реалізації.

#### Рекомендації щодо зберігання буряку

##### Оптимальні умови:

- Температура: +0...+1 °С
- Вологість: 90–95%
- Термін зберігання: 4–6 місяців
- Підготовка:
  - Сортування: видалити гnilі та пошкоджені коренеплоди
  - Очищення: очищення від ґрунту без мийки
  - Сушка: легка сушка при кімнатній температурі
- Упаковка/укладання:
  - Укладати в ящики або піддони, іноді використовують піщану підстилку
  - Можливе зберігання у ямах із піском або торфом (для підтримання вологості)

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вентиляція: забезпечувати циркуляцію повітря, щоб уникнути накопичення CO<sub>2</sub> та появи грибкових захворювань

Технологічна схема зберігання буряку

1. Збір → 2. Сортування → 3. Очищення від ґрунту → 4. Легка просушка → 5. Укладання в ящики або ями з піском → 6. Поміщення в овочесховище → 7. Контроль клімату і вентиляції → 8. Відбір для реалізації.

Будівельна конструкція овочесховищ

Будівельні конструкції овочесховищ мають забезпечувати:

- ефективну теплоізоляцію,
- захист від атмосферних впливів,
- міцність і довговічність,
- гігієнічність та зручність експлуатації,
- можливість механізації процесів зберігання, завантаження та вивантаження.

1. Типи конструкцій овочесховищ

а) За розташуванням у просторі:

- Наземні (павільйонного типу) — найпоширеніші, зручні для механізації, утеплені, мають вентиляційне обладнання.
- Заглиблені (напівзаглиблені) — використовують ґрунт як додатковий теплоізолюючий шар, що знижує тепловтрати.
- Підземні (бурти, траншеї) — традиційні сезонні варіанти зберігання, використовуються рідше через обмежену керованість умов.

б) За способом будівництва:

- Капітальні будівлі — споруджуються зі збірного залізобетону, металу, цегли або сендвіч-панелей.
- Швидкокомтовані модульні споруди — з легких сталевих конструкцій та сендвіч-панелей (з ППУ або мінеральною ватою).

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. Основні елементи конструкції

### Фундамент

- Монолітний або стрічковий бетонний, гідроізольований.
- Має витримувати навантаження від продуктів, стелажів, обладнання.

### Підлога

- Має бути тепло- і вологоізолюованою, витримувати механічні навантаження (навантажувачі, стелажі).
- Бажано — бетонна з армуванням, з нахилом для відведення води, покрита полімерними смолами або плиткою.

### Стіни

- Конструкція: сендвіч-панелі (з ППУ або PIR, товщина 100–150 мм), або комбіновані цегляно-панельні.
- Мають високий опір теплопередачі та повітронепроникність.
- Обов'язковий волого- і паробар'єр, особливо з внутрішнього боку.

### Покрівля

- Обов'язково утеплена, з подвійним захистом від конденсату.
- Укладається під нахилом для стікання дощових вод.
- Іноді монтується вентильована покрівля з шаром повітря між утепленням і зовнішнім настилом.

### Ворота і двері

- Герметичні, утеплені (наприклад, з ППУ-ущільненням), можуть бути секційними або розпашними.
- Часто обладнуються електроприводом, завісами від тепловтрат (ПВХ-штори, повітряні завіси).

## Основні системи повітророзподілу в овочесховищах

### 1. Примусова (механічна) вентиляція

- Принцип: Повітря примусово подається в овочесховище або видаляється з нього за допомогою вентиляторів.
- Схема:

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вентилятори нагнітають холодне повітря від холодильного агрегату через систему каналів і розподільних решіток.
- Повітря рівномірно розподіляється по камері, забезпечуючи необхідний режим температури та вологості.
- Забруднене і відпрацьоване повітря відводиться через витяжні канали або шахти.
- Переваги:
  - Регулювання інтенсивності повітряного потоку.
  - Рівномірне охолодження продукту.
  - Можливість підтримувати постійний клімат у великих приміщеннях.
- Недоліки:
  - Потребує енергоспоживання для роботи вентиляторів.
  - Необхідність технічного обслуговування системи.

## 2. Природна вентиляція

- Принцип: Використання різниці температур і тиску для руху повітря в овочесховищі без допомоги механічних пристроїв.
- Схема:
  - Холодне повітря поступає в приміщення через нижні вентиляційні отвори (вікна, клапани).
  - Тепле повітря виходить через верхні витяжні отвори або шахти.
  - Рух повітря підтримується природними конвекційними потоками.
- Переваги:
  - Відсутність електроспоживання.
  - Простота конструкції.
- Недоліки:
  - Недостатньо ефективна при великих обсягах і у випадках необхідності точного контролю клімату.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Залежність від погодних умов.

### 3. Канальна повітророзподільна система

- Принцип: Повітря від холодильного обладнання подається через систему повітропроводів, які рівномірно розподіляють потоки по всій камері.
- Особливості:
  - Повітропроводи можуть мати отвори або жалюзі для рівномірного поділу повітря.
  - Забезпечують спрямований потік, що виключає застій повітря.
  - Застосовується разом з примусовою вентиляцією.
- Переваги:
  - Ефективне охолодження та контроль вологості.
  - Можливість зонування камери для різних груп овочів.

### 4. Підлогова система вентиляції (піддувальна)

- Принцип: Повітря подається через отвори або канали в підлозі, піднімається вгору і проходить через штабелі овочів.
- Особливості:
  - Виробляється рівномірний потік повітря через весь об'єм продукції.
  - Відпрацьоване повітря видаляється через вентиляційні отвори в стелі або стінах.
- Переваги:
  - Ефективне охолодження штабелів.
  - Добре підходить для великих камер зі штабельованою продукцією.
- Недоліки:
  - Складність у монтажі та обслуговуванні.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. Комбіновані системи

- Поєднують декілька типів повітророзподілу (наприклад, канална + підлогова) для досягнення найкращого розподілу повітря і точного клімат-контролю.

### Важливі аспекти організації повітророзподілу в овочесховищах

- Рівномірність повітряного потоку: Запобігає локальному перегріву або заморожуванню продукції.
- Регулювання вологості: Повітряне охолодження повинно підтримувати оптимальну вологість, щоб уникнути пересихання або появи конденсату.
- Профілактика розвитку плісняви і мікроорганізмів: Підтримання циркуляції повітря перешкоджає застою вологи і скупченню шкідливих бактерій.
- Можливість зонування: Для овочів різних груп з різними кліматичними вимогами.

### Теплова ізоляція камер зберігання овочів

#### 1. Мета теплоізоляції

- Зменшення тепловтрат через стіни, підлогу та стелю.
- Підтримання стабільної температури в камері з мінімальними витратами енергії.
- Захист продукції від перепадів температур і конденсації вологи на поверхнях.

#### 2. Вимоги до теплоізоляції

- Високий термічний опір — мінімальний коефіцієнт теплопровідності ( $\lambda$ ), зазвичай у межах 0,02–0,04 Вт/(м·К).
- Вологонепроникність і пароізоляція — щоб не пропускати вологу всередину утеплювача та запобігати конденсації.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Механічна міцність — утеплювач повинен витримувати вагу конструкції та вплив експлуатаційних навантажень.
- Хімічна інертність — матеріал не повинен виділяти запахів або токсичних речовин, які можуть впливати на продукт.
- Стійкість до грибка і плісняви.

### 3. Матеріали для теплоізоляції овочесховищ

- Пінополіуретан (ППУ) — один з найпоширеніших матеріалів, має низький коефіцієнт теплопровідності, легко монтується у вигляді панелей або напилення.
- Екструдований пінополістирол (XPS) — вологостійкий, міцний, застосовується у підлогах і стінах.
- Мінеральна вата — екологічна, пожежобезпечна, але вимагає захисту від вологи.
- Пінополістирол (ПСБ) — дешевший матеріал, але менш міцний і стійкий до вологи.
- Вакуумні ізоляційні панелі (VIP) — високоефективні, але дорогі, застосовуються для обмежених площ.

### 4. Конструктивні рішення

- Стіни: Зазвичай утеплюють за допомогою сендвіч-панелей з ППУ або XPS, що мають металеву облицювання з обох сторін.
- Підлога: Утеплювач укладають на бетонну основу або фундамент, щоб уникнути втрат тепла через підлогу. Часто використовують XPS або ППУ.
- Стеля: Використовують теплоізоляційні панелі або нанесення ППУ. Важливо уникнути утворення конденсату.
- Пароізоляція: Обов'язково укладається з внутрішнього боку ізоляції, щоб запобігти проникненню вологи з приміщення до утеплювача.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Гідроізоляція: захищає конструкцію від вологи, особливо важлива у підлогах.

#### 5. Особливості монтажу

- Утеплення має бути суцільним, без щілин і розривів.
- Усі стики панелей герметизуються спеціальними стрічками або мастиками.
- Вентиляційні отвори і дверні прорізи мають додаткове утеплення і ущільнення.
- У камерах з низькою температурою необхідний контроль за утворенням конденсату і застосування антиконденсатних систем.

Тепловтрати через огорожувальні конструкції складають 60–80% від загальних тепловтрат камери. Правильно змонтована теплоізоляція дозволяє знизити витрати холоду на підтримання температурного режиму на 30–50%.

Основні вимоги до холодильної установки овочесховища:

- Температурний режим: для зберігання овочів зазвичай потрібна температура +1...+5 °С (іноді нижче для окремих видів).
- Безпека: холодильний агент має бути нетоксичним і безпечним для людей, особливо при аваріях.
- Екологічність: низький потенціал глобального потепління (GWP) і відсутність руйнування озонового шару (ODP = 0).
- Енергетична ефективність: забезпечення мінімального споживання електроенергії.
- Сумісність із обладнанням: можливість роботи з компресорами, конденсаторами, випарниками, які використовуються в овочесховищах.

Проаналізував вищенаведені матеріали, приймаємо, що холодильник буде одноповерховий, дві великі камери зберігання, конструкція з горищем. Теплоізоляція з ПСБ-С. Система повітророзподілу – безканална, з пристіно-стельовими повітроохолоджувачами. Холодильна установка –

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

централізована, безнасосна, холодильний агент - хладон R404a, система відведення теплоти конденсації – повітряні конденсатори.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер

Дані для розрахунку:

Овочесховище для зберігання коренеплодів ( $G=300$  тон,  $t_k=2$  °С,  $\varphi_k=0.9$ ). Холодильник розташовано в Одесі ( $t_{zn}=32$ °С,  $\varphi_{zn}=0.66$ ).

### 2.1 Розрахунок площ зберігання вантажу

Приймаємо норму завантаження для зберігання коренеплодів в дерев'яних ящиках  $g_w=0.5$  т/м<sup>3</sup>.

Тоді вантажний об'єм складе:

$$V_{гр}=G/g_w=300/0.5=600 \text{ м}^3.$$

При розрахунку вантажної площі камер приймаємо, що висота вантажу складає  $h_{гр}=4$  м при будівельній висоті  $h_{стр}=6$  м.

Тоді вантажна площа:

$$F_{гр}=V_{гр}/h_{гр}=600/4=150 \text{ м}^2.$$

Приймаємо коефіцієнт використання будівельної площі  $\beta_F=0.75$ , тоді будівельна площа камер:

$$F_{стр}=F_{гр}/\beta_F=150/0.75=200 \text{ м}^2.$$

За необхідною площею вибираємо камеру  $9 \times 12$  м для зберігання моркви та камеру  $9 \times 12$  м для зберігання буряку.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

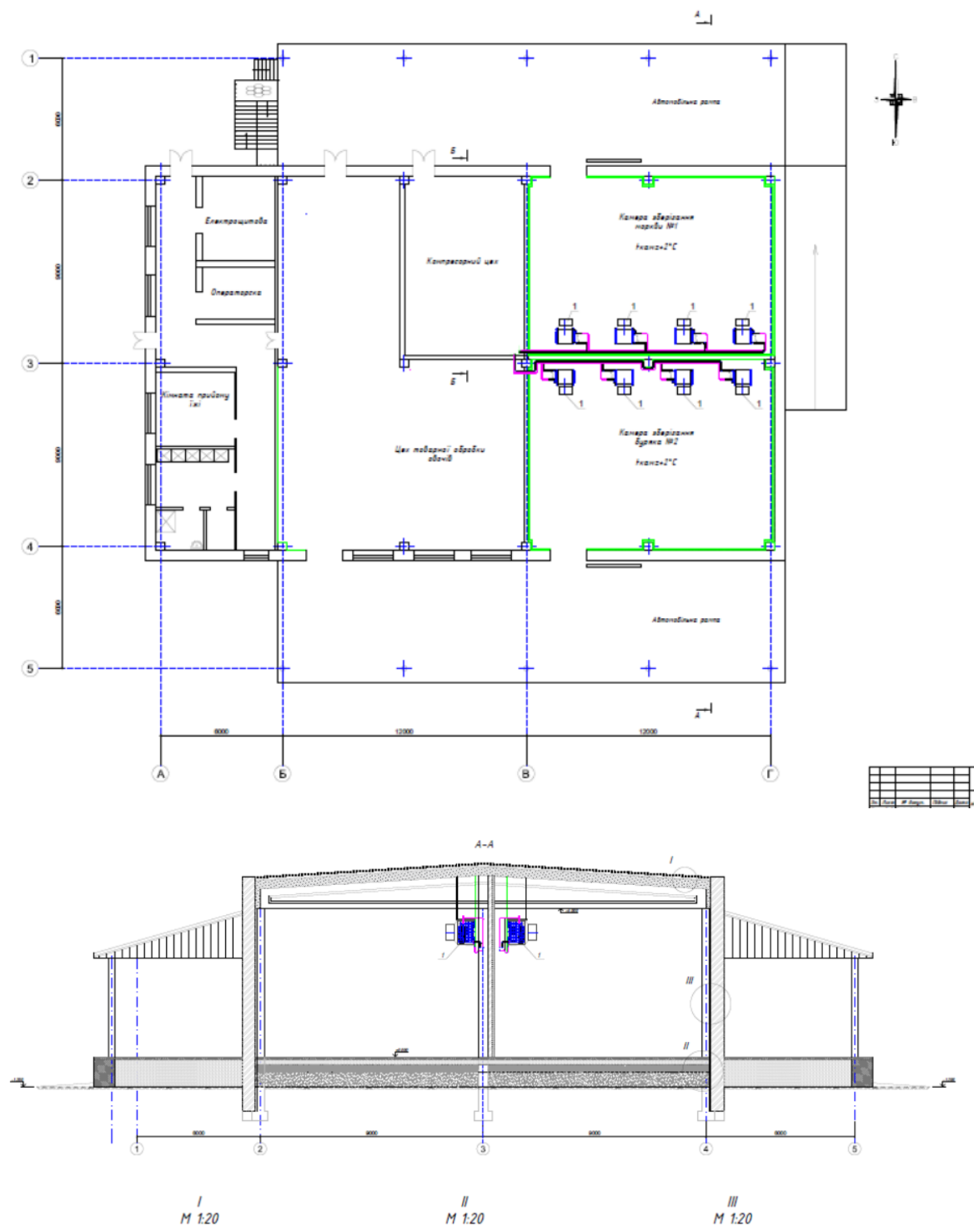


рис. 2.1 – План та розріз овочесховища

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3

## 2.2 Визначення коефіцієнтів теплопередачі огорож

Нормативні коефіцієнти теплопередачі огорож камер схову визначаємо по емпіричних залежностях [3].

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін:

$$K_{nc} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+tk)} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (2.1)$$

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

Коефіцієнт теплопередачі стелі з горищем:

$$K_{чп} = 1.05 K_{nc} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (2.2)$$

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

Коефіцієнт теплопередачі внутрішніх стін і перегородок:

$$K_{вс} = 1.18 K_{nc} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (2.3)$$

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

Товщина ізоляційного шару:

$$\delta_{уз} = \left[ \frac{1}{K} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \cdot \lambda_{уз} \quad [\text{м}] \quad (2.4)$$

де  $K$  – відповідний коефіцієнт теплопередачі,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ;

$\alpha_n$ ,  $\alpha_k$  – розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі із зовнішньої і внутрішньої сторін огорожі  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ;

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\delta_i$  и  $\lambda_i$  – товщина і коефіцієнт теплопровідності кожного будівельного шару;

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

Визначаємо дійсний коефіцієнт теплопередачі для зовнішніх стін.

Таблиця 2.1 – Конструкція зовнішніх стін

Найменування і матеріал шару	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/(м·К)
1. Штукатурка складним розчином по металевій стінці	0.02	0.98
2. Теплоізоляція з ПСБ-С	?	0.05
3. Пароізоляція – два шару гідроізола на бітумній основі	0.004	0.3
4. Штукатурка цементно-піщана	0.02	0.93
5. Кладка цегляна на цементному розчині	0.38	0.81
6. Штукатурка складним розчином	0.02	0.93

Приймаємо для відповідних умов  $\alpha_n=23$  Вт/(м<sup>2</sup>К), для камер з примусовою циркуляцією  $\alpha_k=9$  Вт/(м<sup>2</sup>К),  $k_{нс}=0.4$  Вт/(м<sup>2</sup>К)

Орієнтовна товщина ізоляції:

$$\delta_{из}=(1/0.43-(1/23+0.02/0.98+0.004/0.3+0.38/0.81+0.02/0.93+1/9))\cdot 0.05=$$

$$=0.08 \text{ м, приймаємо } \delta_{из}=0.1 \text{ м.}$$

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{нс}^{\prime}=1/(1/23+1/9+(0.02+0.013+0.022+0.469+0.22+0.1/0.05))=$$

$$=0.34 \text{ Вт/(м}^2\text{К).}$$

Товщина зовнішньої стінки:  $\delta=0.544$  м.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення дійсного коефіцієнта теплопередачі для стелі.

Таблиця 2.2 – Конструкція стелі

Найменування і матеріал шару	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/(м·К)
1. 5 шарів гідроізолю на бітумній мастиці	0.012	0.3
2. Стягування з бетону по металевій сітці	0.04	1.86
3. Пароізоляція (шар пергаменту)	0.001	0.15
4. Плиткова теплоізоляція – ПСБ-С	?	0.05
5. Залізобетонна плита покриття	0.035	2.04

Приймаємо для відповідних умов  $\alpha_n=23$  Вт/(м<sup>2</sup>К), для камер з примусовою циркуляцією  $\alpha_k=9$  Вт/(м<sup>2</sup>К),  $k_{чп}=0.42$  Вт/(м<sup>2</sup>К)

Орієнтовна товщина ізоляції:

$$\delta_{из}=(1/0.42-(1/23+0.012/0.3+0.04/1.86+0.001/0.15+0.035/2.04+1/9))\cdot 0.05=$$

$$=0.099 \text{ м, приймаємо } \delta_{из}=0.1 \text{ м.}$$

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{чп}'=1/(1/23+1/9+(0.079+0.1/0.05))=0.42 \text{ Вт/(м}^2\text{К).}$$

Товщина стелі:  $\delta=0.188$  м.

Визначення дійсного коефіцієнта теплопередачі для зовнішніх стін.

Таблиця 2.3 – Конструкція внутрішніх стін

Найменування і матеріал шару	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/м·К
1.Залізобетон плита	0.08	1.86
2.Пароізоляція - два шару гідроізолю на бітумній основі	0.004	0.3
3. Теплоізоляційна плита ПСБ-С	?	0.05
4. Штукатурка складним розчином	0.02	0.98

Приймаємо для відповідних умов  $\alpha_n=8$  Вт/(м<sup>2</sup>К) для коридору, для камер з примусовою циркуляцією  $\alpha_k=9$  Вт/(м<sup>2</sup>К),  $k_n=0.47$  Вт/м<sup>2</sup>·К.

Орієнтовна товщина ізоляції:

$$\delta_{\text{из}} = (1/0.47 - (1/9 + 0.08/1.86 + 0.004/0.3 + 0.02/0.98 + 1/8)) \cdot 0.05 = 0.08 \text{ м,}$$

приймаємо  $\delta_{\text{из}} = 0.1 \text{ м.}$

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{0\text{д}} = 1 / (1/8 + 0.08/1.86 + 0.004/0.3 + 0.02/0.98 + 0.1/0.05 + 1/9) = 0.43 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

Товщина внутрішньої стінки:  $\delta = 0.204 \text{ м.}$

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 Визначення теплового навантаження камер

Загальне теплове навантаження на холодильне устаткування:

$$Q_0=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5, \text{ Вт} \quad (3.1)$$

$Q_1$  – теплопритоки через огорожі;

$Q_2$  – теплопритоки від холодильної обробки вантажів;

$Q_3$  – теплопритоки, пов'язані з вентиляцією приміщень;

$Q_4$  – експлуатаційні теплопритоки;

$Q_5$  – теплопритоки від дихання охолоджених плодів.

#### 3.1 Розрахунок теплопритоків через огорожі

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

$$Q_1 = kF(\Delta t + \Delta t_c), \text{ Вт}, \quad (3.2)$$

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

$F$  – площа огорожі  $\text{м}^2$ ;

$\Delta t$  – різниця між зовнішньою і внутрішньою температурою камери;

$\Delta t_c$  – різниця температур від дії сонячного випромінювання.

$$\Delta t_c = p \cdot (q_c \cdot \varepsilon_c / \alpha_n) \quad (3.3)$$

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

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

$\varepsilon_c$  – коеф. поглинання сон. випромінювання поверхнею огорожі;

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

Із-за навісів теплопритоки від сонячної радіації до зовнішніх стін відсутні. Вибираємо коефіцієнти для стелі з оцинкованого заліза  $\varepsilon=0.65$ , легка конструкція  $p=1$ . Для  $50^\circ$  південної широти для горизонтального плоского даху вибираємо  $q_c=789 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ,  $\alpha_n=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ .

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо різницю температур від сонячного випромінювання для покриття камер:

$$\Delta t_c = 1 \cdot 789 \cdot 0.65 / 23 = 22.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Підлога у камерах схову картоплі не обігривається, тому визначення теплопритоків через ґрунт ведеться позоно:

$$Q_{\Pi} = (t_n - t_k) \sum_{i=1}^4 (k_{yc})_i F_i \quad [\text{Вт}] \quad (3.4)$$

де  $F_i$  – площі відповідних зон,  $\text{м}^2$ ;

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

Розрахунок ведемо для площ тих, що потрапили у відповідну зону. Для обліку компенсації збільшення щільності теплового потоку площу першої зони збільшуємо на  $4 \text{ м}^2$  (один кут).

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

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

Таблиця 3.1 – Розрахунок підлоги по зонах

	1-я зона, $F_1, \text{м}^2$	2-я зона, $F_1, \text{м}^2$	3-я зона, $F_1, \text{м}^2$	4-я зона, $F_1, \text{м}^2$	$\sum_{i=1}^4 (k_{yc})_i F_i, \text{Вт}/\text{К}$
Камера №1	42	30	22	18	31.26
Камера №2	42	30	22	18	31.26

Таблиця 3.2 – Теплопритоки через огорожі

Камера №1		К, Вт/(м²К)	F, м²	tк, °С	tн, °С	Δtc, °С	Q1, Вт
	Північ	0,34	72	2	32	0	734
	Захід	0,47	54	2	18	0	406
	Південь	0,47	72	2	2	0	0
	Схід	0,47	54	2	2	0	0
	Підлога	Кусл	108	2	32	0	938
	Стеля	0,42	108	2	32	22,3	2372
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт						
Камера №2		К, Вт/(м²К)	F, м²	tк, °С	tн, °С	Δtc, °С	Q1, Вт
	Північ	0,34	72	2	32	0	734
	Захід	0,47	54	2	2	0	0
	Південь	0,47	72	2	2	0	0
	Схід	0,34	54	2	32	0	551
	Підлога	Кусл	108	2	32	0	938
	Стеля	0,42	108	2	32	22,3	2372
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт						

Розрахунки решти теплопритоків для камер № 1- 2 ведемо по одній камері. Окрім цього, всі розрахунки проводимо по двох режимах: первинне охолодження вантажу і подальше його тривале зберігання.

### 3.2 Розрахунок теплопритоків від вантажів при їх холодильній обробці

Теплопритоки від холодильної обробки вантажу розраховують по формулі:

$$Q_2 = (Q_{2гр} + Q_{2тари}) \cdot (\tau_{ц} / \tau_p) \quad [\text{Вт}], \quad (3.5)$$

де  $Q_{2гр}$  – теплопритоки від добового надходження овочів, Вт;

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

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

$\tau_p$  – час, в перебігу якого споживається холод, год;

$$Q_{2гр} = E \cdot (h_1 - h_2) \quad [\text{Вт}], \quad (3.6)$$

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $h_1, h_2$  – ентальпія овочів при початковій і кінцевій температурі, відповідно, кДж/кг;

$E$  – ємність камери, кг. Сумарна ємність по коренеплодам 300 т, з розрахунку ємності 2-х камер в кожній розміщується 150 т вантажу.

Овочі поступають на зберігання при температурі навколишнього середовища в період збору урожаю (орієнтовано приймаємо 20 °С). Під час вступу овочів камера завантажується повністю, потім в перебігу декількох тижнів температура вантажу поступово знижується до температури тривалого зберігання. Виходячи з особливостей охолодження, приймаємо максимальне зниження температури вантажу в перебігу доби 1 °С. Тоді максимальний теплоприток від вантажу розраховуватиметься виходячи із зниження температури від 20 °С до 19 °С. Для овочів різниця ентальпії складе  $\Delta h=4$  кДж/кг.

Визначаємо теплоприток при охолодженні вантажу:

$$Q_{2гр}=150000 \cdot 4 / (3.6 \cdot 24) = 6480 \text{ Вт.}$$

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

$$Q_{2тары}=0.1 \cdot G_T \cdot C_T \cdot (t_1 - t_2) \quad [\text{Вт}], \quad (3.7)$$

де  $C_T$  – теплоємність тари, приймаємо для дерева  $C_T=2.5$  кДж/(кг·К);

$G_T$  – маса тари, кг, приймаємо для дерев'яних ящиків в кількості 20% від маси вантажу;

$t_1, t_2$  – температура тари при початковій і кінцевій температурі, відповідно °С.

Визначуваний теплоприток від охолодження тари:

$$Q_{2тары}=0.2 \cdot 150000 \cdot 2.5 \cdot 1 / (3.6 \cdot 24) = 810 \text{ Вт.}$$

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальний теплоприток від обробки вантажу в режимі охолодження:

$$Q_2=(6480+810)\cdot(24/24)=7290 \text{ Вт}$$

У режимі зберігання  $Q_2=0$

### 3.3. Розрахунок теплопритоків при вентиляції камери

Теплопритоки від вентиляції камери визначаються по формулі:

$$Q_3=V_{\text{буд}}\cdot a\cdot\rho_k\cdot(h_n-h_k) \text{ [Вт]}, \quad (3.8)$$

де  $V_{\text{буд}}$  – будівельний об'єм камери  $\text{м}^3$ ,  $V_{\text{стр}}=12\cdot9\cdot6=648 \text{ м}^3$ ;

$a$  – кратність повітрообміну в добу, у режимі охолодження приймаємо  $a=6$ , в режимі зберігання  $a=3$ ;

$\rho_k$  – щільність повітря при температурі і відносній вологості камери,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $\rho_k=1.016 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

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

Теплоприток від вентиляції:

у режимі охолодження:  $Q_3=648\cdot6\cdot1.016\cdot(74-12)/(3.6\cdot24)=2834 \text{ Вт}$

у режимі зберігання:  $Q_3=648\cdot3\cdot1.016\cdot(74-12)/(3.6\cdot24)=1417 \text{ Вт}$ .

### 3.4. Розрахунок експлуатаційних теплопритоків

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

Сумарні експлуатаційні теплопритоки визначаються по формулі:

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_4 = Q_4' + Q_4'' + Q_4''' + Q_4'''' \quad [\text{Вт}], \quad (3.10)$$

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

$Q_4''$  - теплопритоки от електродвигунів, Вт;

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

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

Теплоприток від електричного освітлення визначається по формулі:

$$Q_4' = q_4' \cdot j_{\text{св}} \cdot F_{\text{стр}} \quad [\text{Вт}], \quad (3.11)$$

де  $q_4'$  – норма щільності освітлення, приймаємо 3 Вт/м<sup>2</sup>;

$j_{\text{св}}$  – коефіцієнт одночасності роботи світильників, приймаємо  $j_{\text{св}}=0.5$  в режимі охолодження,  $j_{\text{св}}=0.3$  в режимі зберігання.

Теплоприток від освітлення:

$$Q_4' = 3 \cdot 0.5 \cdot 72 = 108 \text{ Вт}$$

$$\text{у режимі охолодження: } Q_4' = 3 \cdot 0.5 \cdot 108 = 162 \text{ Вт}$$

$$\text{у режимі зберігання: } Q_4' = 3 \cdot 0.3 \cdot 108 = 97 \text{ Вт}$$

Теплоприток від електродвигунів повітроохолоджувачів визначаємо по формулі:

$$Q_4'' = j_{\text{дв}} \cdot \sum N_{\text{дв}} \quad [\text{Вт}], \quad (3.12)$$

де  $j_{\text{дв}}$  – коефіцієнт одночасності роботи, в режимі охолодження приймаємо  $j_{\text{дв}}=0.5$ , в режимі зберігання приймаємо  $j_{\text{дв}}=0.25$ ;

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

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum N_{дв} = 1.2 \cdot m \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3), \text{ Вт} \quad (3.13)$$

де  $m$  – коефіцієнт відношення потужності електродвигуна до його холодопродуктивності, при холодильній обробці приймаємо  $m=0.23$ , У режимі зберігання  $m=0.08$ .

У режимі охолодження:  $\sum N_{дв} = 1.2 \cdot 0.23 \cdot (4600 + 7290 + 2834) = 4064 \text{ Вт}$

У режимі зберігання:  $\sum N_{дв} = 1.2 \cdot 0.08 \cdot (4600 + 1417) = 578 \text{ Вт}$

Визначаємо теплоприток від електродвигунів апаратів:

У режимі охолодження:  $Q_4'' = 0.5 \cdot 4064 = 2032 \text{ Вт}$

У режимі зберігання:  $Q_4'' = 0.3 \cdot 578 = 173 \text{ Вт}$

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

$$Q_4''' = (270 - 6 \cdot t_k) \cdot n \text{ [Вт]}, \quad (3.14)$$

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

Визначуваній теплоприток від людей:

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

Теплопритоки від інфільтрації через двері визначаються по формулі:

$$Q_4'''' = V \cdot F_{буд} \text{ [Вт]}, \quad (3.15)$$

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

Теплоприток від інфільтрації через двері:

$$Q_4'''' = 9 \cdot 108 = 972 \text{ Вт.}$$

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарні експлуатаційні теплопритоки:

У режимі охолодження:  $Q_4=162+2032+516+972=3682$  Вт

У режимі зберігання:  $Q_4=97+173+516+972=1758$  кВт

#### 4.5 Розрахунок теплопритоків від дихання охолоджених плодів

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

$$Q_5=q_5' \cdot G_{\text{п}} + q_5'' \cdot (E-G_{\text{п}}), [\text{Вт}], \quad (3.16)$$

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

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

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

При охолодженні обробляється одночасно весь вантаж, тому розрахунок ведемо по формулі

$$Q_5=q_5' \cdot E, [\text{Вт}], \quad (3.17)$$

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

Тепловиділення коренеплодів визначаються:

$$q_t=q_0 \cdot e^{bt} [\text{Вт/т}], \quad (3.18)$$

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

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для  $t_{\text{п}}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

Для коренеплодів –  $q_5' = 10 \cdot e^{0.0617 \cdot 20} = 34.3\text{ Вт/т}$ .

Визначаємо теплопритоки від дихання овочів в режимі охолодження:

$Q_5 = 34.3 \cdot 150 = 4802\text{ Вт}$ .

У режимі зберігання теплоприток розраховується від дихання всього вантажу при температурі зберігання.

Для коренеплодів при  $t_{\text{п}}=2\text{ }^{\circ}\text{C}$ :  $q_5' = 10 \cdot e^{0.0617 \cdot 2} = 11.3\text{ Вт/т}$ .

Визначаємо теплопритоки від дихання овочів в режимі зберігання:

Для картоплі –  $Q_5 = 11.3 \cdot 150 = 1582\text{ Вт}$ .

Таблиця 3.3 – Звідна таблиця теплопритоків

		$Q_1, \text{Вт}$	$Q_2, \text{Вт}$	$Q_3, \text{Вт}$	$Q_4, \text{Вт}$	$Q_5, \text{Вт}$	$\Sigma Q_{\text{кам}}, \text{Вт}$
Камера №1	Охолодження	4450	7290	2834	3682	4802	23058
	Зберігання	4450	0	1417	1758	1582	9207
Камера №2	Охолодження	4595	7290	2834	3682	4802	23203
	Зберігання	4595	0	1417	1758	1582	9352

Таким чином, сумарне навантаження на прилади в режимі охолодження в кожній камері складає  $Q_0 = 23 \div 24\text{ кВт}$ . Для уніфікації устаткування прилади охолодження для всіх камер підбираємо по максимальному навантаженню. У камерах, як прилади, що охолоджують, будуть використані повітроохолоджувачі з безпосереднім кипінням хладону усередині труб, в кількості 4 штук в кожній камері, які забезпечать

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівномірне температурно-вологісне поле в процесі охолодження.

Відповідно, навантаження на один апарат  $Q_{по} = 24/4 = 6$  кВт.

Сумарне навантаження на компресора системи в режимі охолодження вантажу:  $\Sigma Q_0 = 23058 + 23203 = 46261$  Вт

Сумарне навантаження на компресора системи в режимі зберігання вантажу:  $\Sigma Q_0 = 9207 + 9352 = 18557$  Вт.

Таким чином, встановлюємо паралельно 3 компресори з холодопродуктивністю 19 кВт, що мають загальну лінію всмоктування і нагнітання. У режимі охолодження вони забезпечать повний технологічний режим, а в режимі зберігання одночасно працюватиме один з них, з перемиканням по виробленню моторесурсу.

Теплове навантаження на один компресор, визначається з урахуванням втрат в системі при безпосередньому охолодженні у розмірі 6 %,  $k = 1.06$ , і коефіцієнта робочого часу  $b = 0.85$ :

$$Q_{0 \text{ комп}} = k \cdot Q_0 / b = 1.06 \cdot 19 / 0.85 = 23.7 \text{ кВт} \quad (3.19)$$

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4 Тепловий розрахунок холодильної системи

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

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

Як прилади охолодження в камерах будуть використані підвісні повітроохолоджувачі. Температура кипіння агента в таких апаратах приймається на 7-10  $^\circ\text{C}$  нижче за розрахункову температуру повітря в камері.

Компресора будуть використані напівгерметичні, тому сумарний перегрів на всмоктуванні приймаємо з урахуванням підігріву на обмотках компресора  $\Theta = 20 \text{ K}$ .

При роботі на хладоні R404a, який буде використовуватися як холодильний агент, немає необхідності в додатковому перегріві на всмоктуванні, для забезпечення безпечної роботи компресорів, тому регенеративний теплообмінник в системі відсутній.

Тепловий розрахунок буде проводитися за наступними даними:

- температура кипіння R404a  $t_0 = -6 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- потрібна холодопродуктивність  $Q_{0 \text{ комп}} = 23.7 \text{ кВт}$ ;
- температура конденсації агента  $t_k = 42 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- сумарний перегрів на всмоктуванні  $\Theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- переохолодження після конденсатора  $\Delta t_{\text{по}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

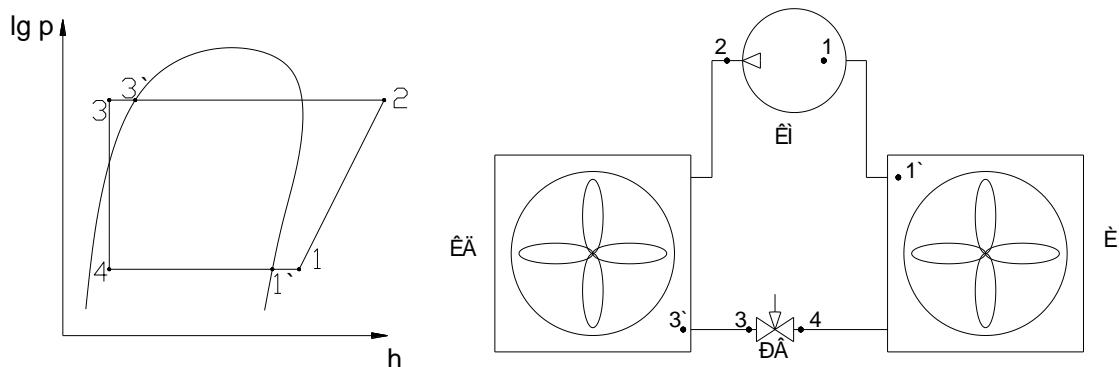


рис. 4.1 – Термодинамічний цикл і умовна схема холодильної машини

Процеси, відбиті в циклі:

- 1-2 – стискування в компресорі;
- 2-3 – конденсація;
- 3-4 – дроселювання агенту;
- 4-5 – кипіння у випарнику;
- 1'-1 – перегрівши на всмоктуванні;
- 3'-3 – переохолодження після конденсатора.

Таблиця 4.1 – Розрахункові дані циклу холодильної машини

	1'	1	2	3	4
t, °C	-6	14	80	38	-6.3
P, бар	5	5	19	19	5
h, кДж/кг	366	384	413	258	258
v, м <sup>3</sup> /кг	-	0.045	-	-	

Питомі характеристики циклу:

- питома масова продуктивність:

$$q_0 = h_{1'} - h_4 = 366 - 258 = 108 \text{ кДж/кг} \quad (4.1)$$

- питома об'ємна продуктивність

$$q_v = q_0 / v_1 = 108 / 0.045 = 2400 \text{ кДж/м}^3 \quad (4.2)$$

- питома адіабатна робота стискування

$$l = h_2 - h_1 = 413 - 384 = 29 \text{ кДж/кг} \quad (4.3)$$

Масова витрата агента:

$$M_a = Q_0 / q_0 = 23.7 / 108 = 0.22 \text{ кг/с} \quad (4.4)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_d = M_a \cdot v_1 = 0.22 \cdot 0.045 = 0.01 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.5)$$

Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda_c = 1 - 0.03 \cdot [(P_k / P_0)^{1/m} - 1] = 1 - 0.03 \cdot [(19/5) - 1] = 0.916 \quad (4.6)$$

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

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

Об'єм, описаний поршнями компресора:

$$V_h = V_d / \lambda = 0.01 / 0.72 = 0.015 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.7)$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = M_a \cdot l = 0.22 \cdot 29 = 6.4 \text{ кВт} \quad (4.8)$$

Індикаторний ККД компресора:

$$\eta_i = \lambda'_w + b \cdot t_0 = 0.79 - 6 \cdot 0.001 = 0.784 \quad (4.9)$$

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = N_a / \eta_i = 6.4 / 0.784 = 8.2 \text{ кВт} \quad (4.10)$$

Потужність тертя:

$$N_{тр} = V_h \cdot P_{тр} = 0.015 \cdot 40 = 0.6 \text{ кВт}, \quad (4.11)$$

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Ефективна потужність компресора:

$$N_e = N_i + N_{тр} = 8.2 + 0.6 = 8.8 \text{ кВт} \quad (4.12)$$

Електрична потужність компресора:

$$N_{ел} = N_e / \eta_{ел} = 8.8 / 0.9 = 9.8 \text{ кВт}, \quad (4.13)$$

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

Таблиця 4.2 – Результати теплового розрахунку

Параметри	
Холодопродуктивність, кВт	23.7
Температура кипіння, °С	-6
Температура конденсації, °С	42
Перегрів, °С	20
Переохолодження в конденсаторі, °С	5
Тиск кипіння/конденсації, бар	5/19
Теор. об'єм, описаний поршнями, м <sup>3</sup> /с	0.033
Ефективна потужність компресора, кВт	8.8
Електрична потужність компресора, кВт	9.8

## 5 Розрахунок повітряного конденсатора

За результатами теплового розрахунку:

$$\sum Q_k = 3 \cdot (Q_{0 \text{ комп}} + N_e) = 3 \cdot (23.7 + 8.8) = 97.5 \text{ кВт}$$

Дані для розрахунку:

Теплове навантаження:  $Q_k = 97.5 \text{ кВт}$

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

Відносна вологість зовнішнього повітря:  $\varphi_n = 0.6$

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

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

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

Крок ребер:  $u = 0.008 \text{ м}$

Ширина ребра:  $B = 0.044 \text{ м}$

Матеріал труб/ребер: мідь/алюміній

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

Розташування труб в пучку: шахове

Форма ребра: пластинчасте

Агент: R404a

### 5.1 Тепловий розрахунок конденсатора

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

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

Температура конденсації для повітряних конденсаторів приймається на 10-12 К вище за розрахункову температуру зовнішнього повітря:

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Задаємося швидкістю повітря в живому перетині апарату –  $w=8$  м/с.

Розраховуємо геометричні характеристики ребра:

- зовнішня поверхня ребра:

$$f_p = B^2 - 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 + 4 \cdot B \cdot \delta = 0.044^2 - 0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.022^2 + 4 \cdot 0.044 \cdot 0.0008 = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

- зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

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

- внутрішня поверхня труби ребристого елемента:

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

- повна зовнішня поверхня ребристого елемента:

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

- коефіцієнт обребрення  $\beta$  и ступінь обребрення  $\varphi_n$ :

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

$$\varphi_n = f_{п} / f_{тр} = 2.2 / 0.5 = 4.4$$

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

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

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

$$d_3 = 2 \cdot (S_1 - d) \cdot (u - \delta) / (S_1 - d + u - \delta), \text{ м} \quad (5.1)$$

$$d_3 = 2 \cdot (0.044 - 0.022) \cdot (0.008 - 0.0008) / (0.044 - 0.022 + 0.008 - 0.0008) = 0.011 \text{ м}$$

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Критерій Рейнольдса визначаємо по формулі:

$$Re=w \cdot d_3 / \nu \quad (5.2)$$

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

Критерій Нуссельта для пластинчастого ребра визначаємо по формулі:

$$Nu=0.178 \cdot [(S_1-d)/d_3]^{-0.14} \cdot Re^{0.6} \quad (5.3)$$

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

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ребра до повітря визначаємо по формулі:

$$\alpha_k = Nu \cdot \lambda / d_3 \quad (5.4)$$

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

Умовна висота ребра для пластинчастих ребер визначаємо по формулі:

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

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

Для мідних труб коефіцієнт теплопровідності стінки  $\lambda_{\text{тр}}=400 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , для алюмінієвих ребер  $\lambda_p=200 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

Коефіцієнт ефективності ребра визначаємо по формулі:

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

$$E = \tanh[(2 \cdot 69.1 / (0.0008 \cdot 200))^{0.5} \cdot (0.018 + 0.5 \cdot 0.0008)] /$$

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$/[2 \cdot 69.1 / (0.0008 \cdot 200)]^{0.5} \cdot (0.018 + 0.5 \cdot 0.0008)] = 0.91$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі визначаємо по формулі:

$$\alpha_{\text{пр}} = \alpha_{\text{к}} \cdot (f_{\text{р}} \cdot E / f_{\text{п}} + 1 / \varphi_{\text{н}}), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (5.7)$$

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

Розрахункові дані для визначення термічного опору шару мастила:

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

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

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

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

$$K = [(1/64.2 + 8 \cdot 2.2 \cdot 10^{-3} / (\pi \cdot (0.022^2 + 0.002^2))) \cdot (0.5 \cdot (0.022 - 0.02) / 400 + 0.0008 / 200 + 0.0005 / 0.12)]^{-1} = 23.8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Властивості агента (R404a) визначаємо за довідковими даними [2] при визначальній температурі конденсації  $t_{\text{к}}$ :

- щільність конденсату  $\rho_{\text{к}} = 1120 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- коефіцієнт теплопровідності конденсату  $\lambda_{\text{к}} = 0.0756 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;
- коефіцієнт динамічної в'язкості конденсату  $\mu_{\text{к}} = 2.2 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;
- теплота паротворення  $r = 165 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$ .

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

$$q = \beta^{-1} \cdot 0.72 \cdot [9.81 \cdot r \cdot \rho_{\text{к}}^2 \cdot \lambda_{\text{к}}^3 \cdot (\mu_{\text{к}} \cdot d_{\text{вн}})^{-1}]^{0.25} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{ст}})^{-0.75}, \text{ Вт}/\text{м}^2 \quad (5.9)$$

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$=678 \cdot (42 - t_{ст})^{-0.75}$$

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

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

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

Вирішуючи спільно систему рівнянь 5.9 і 5.10, визначимо шукану щільність теплового потоку через стінку:  $q = 210 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ .

Повну обребрену поверхню апарату визначаємо по формулі:

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

$$F = 97.5 \cdot 10^3 / 210 = 464 \text{ м}^2$$

## 5.2 Конструктивний розрахунок апарату

Об'ємна витрата повітря через апарат визначається по формулі:

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

$$V = 78 \cdot 10^3 / (1.16 \cdot 1.005 \cdot 5) = 13.4 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площа «живого» перетину конденсатора:  $F_{ж} = V/w = 13.4/8 = 1.7 \text{ м}^2$

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

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

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

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Сумарна довжина труб у фронтальному перетині пучка:

$$\sum L_{\phi} = u \cdot n_{pz} = 0.008 \cdot 11604 = 92.8 \text{ м}$$

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

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

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

Орієнтовні геометричні розміри конденсатора:

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

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

Число труб у фронтальному перетині апарату з округленням до цілого:

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

Дійсні геометричні розміри конденсатора:

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

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

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

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

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 Розрахунок повітроохолоджувача

У розрахунку використовуються наступні дані:

- холодопродуктивність апарату  $Q_0=6000$  Вт;
- температура повітря камери  $t_k=2$  °С;
- відносна вологість повітря камери  $\phi_k=0.9$ ;
- швидкість повітря в живому перетині  $V_B=3$  м/с;
- форма ребра – кругле;
- матеріал труб сталь  $\lambda_{тр}=50$  Вт/(м·К),  $d_H=0.02$  м,  $d_{вн}=0.016$  м;
- матеріал ребер алюміній  $\lambda_p=150$  Вт/(м·К),
- крок ребер  $u=0.008$  м, висота ребра  $h_p=0.02$  м, товщина ребра у підстави  $\delta_{op}=0.002$  м, у вершини  $\delta_{вр}=0.0006$  м діаметр ребра  $D_p=0.063$  м;
- температура кипіння агента (R 404a)  $t_0=-6$  °С;
- товщина інею, що осів  $\delta_i=0.0015$  м,  $\lambda_i=0.2$  Вт/(м·К).

### Розрахунок

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

Температура на виході з апарату:

$$t_b=t_k-\Delta t=2-2=0 \text{ °С}$$

Середня температура повітря:

$$t_c=0.5 \cdot (t_k+t_b)=0.5 \cdot (2+0)=1 \text{ °С}$$

Задаємося середньою температурою поверхні ПО, покритою інеєм:

$$t_n=-2.9 \text{ °С.}$$

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По таблицях визначаємо вологовміст насиченого повітря при:  
 $t_k - d_k'' = 0.0044$  кг/кг;  $t_p - d_p'' = 0.003$  кг/кг;  $t_b - d_b'' = 0.0038$  кг/кг.  
 Вологовміст повітря в камері при  $t_k$  по таблиці  $d_k = 0.0039$  кг/кг

Вологовміст на виході з повітроохолоджувача:

$$d_b = d_k - (d_k - d_p'') \cdot (t_k - t_b) / (t_k - t_p) \quad [\text{кг/кг}] \quad (6.1)$$

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

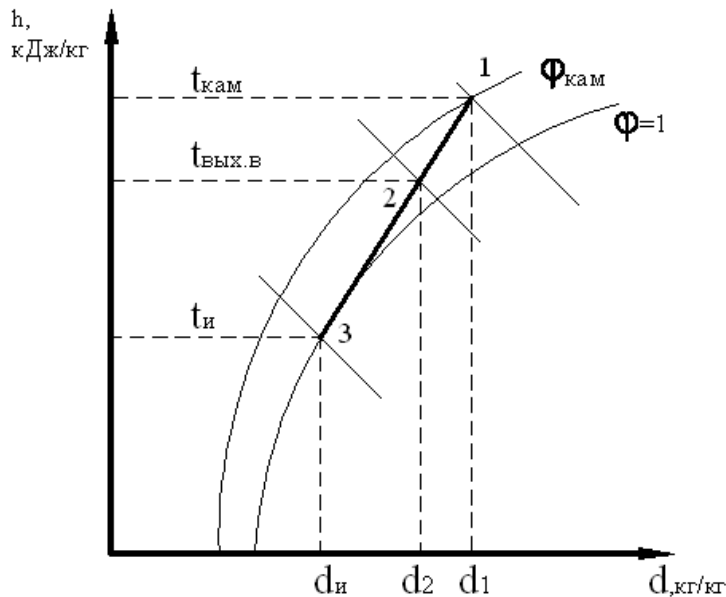


рис. 6.1 – Процес обробки повітря у повітроохолоджувачі в h-d діаграмі.

Відносна вологість на виході з апарату:

$$\phi_b = d_b / d_b'' = 0.0035 / 0.0038 = 0.93$$

Ентальпія повітря визначається по формулі:

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

Поперечний і подовжній крок труб при коридорній компоновці:

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

Геометричні параметри прийнятого ребристого елемента.

Зовнішня поверхня ребра:

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

Зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

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

Внутрішня поверхня труби ребристого елемента:

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

Повна зовнішня поверхня ребристого елемента:

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

Коефіцієнт обребрення:

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

Ступінь обребрення:

$$\phi = f_n / (\pi \cdot d_n \cdot u) = 6.1 / (\pi \cdot 0.02 \cdot 0.008) = 12.14$$

Умовний ступінь обребрення:

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\beta_H = f_H / f_{TP} = 6.1 / 0.38 = 16.19$$

Геометричні характеристики поверхні інею.

Зовнішня поверхня інею на ребрі:

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

Внутрішня поверхня інею на трубі між двома суміжними ребрами:

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

Повна зовнішня поверхня інею на ребристому елементі:

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

Коефіцієнт обребрення поверхні, покритої інеєм:

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

Площа `живого` перетину одного ребристого елемента з інеєм:

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

Теплообмін з боку повітря.

Теплофізичні властивості повітря при  $t_c$ :

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт вологовипадіння визначається по формулі:

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

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

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

Визначальний розмір:

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

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

Число Рейнольдса:

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

$$Re_B = 3 \cdot 0.051 / (13.28 \cdot 10^{-6}) = 11498$$

Число Нуссельта:

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

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

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні повітряохолоджувача до повітря:

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

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

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

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

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

Умовна висота ребра:

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

Безрозмірний комплекс

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

Коефіцієнт ефективності ребра:

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

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

Коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддачі по висоті ребра:

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елемента:

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

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

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби:

$$q_{в} = \alpha_{в} \cdot \xi \cdot \beta_i \cdot (t_c - t_{п}) \quad [Вт/м^2] \quad (6.11)$$

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

Коефіцієнт тепловіддачі в трубах апарату:

$$\alpha_0 = 32 \cdot \omega\rho^{0.47} \cdot q_{в}^{0.15} \quad [Вт/(м^2 \cdot К)] \quad (6.12)$$

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

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

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні інею:

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

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні сухої поверхні:

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

Перевіряємо раніше прийняту температуру поверхні апарату:

- щільність теплового потоку, віднесена до зовнішньої поверхні інею:

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

- розрахункова різниця температур:

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

- відносна погрішність прийнятої і розрахункової різниці температур:

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

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

$$F_H = Q_0 / [K_H \cdot (t_c - t_0)] = 6000 / (10.67 \cdot 7) = 80 \text{ м}^2$$

Компонувальний розрахунок повітроохолоджувача.

Об'ємна витрата повітря через повітроохолоджувач:

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

$$V_B = 6 / [1.29 \cdot (13.08 - 9.99)] = 1.5 \text{ м}^3/\text{с}$$

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По графіках характеристик вентиляторів вибираємо вентилятор марки ВО-12-303-6.3 при орієнтовному натиску  $H=120$  Па з діаметром вентилятора  $D_B=0.63$  м.

Мінімальний `живий` перетин повітроохолоджувача:

$$F_{ж} = V_B / w_B = 1.5 / 3 = 0.5 \text{ м}^2$$

Площа фронтального перетину повітроохолоджувача:

$$F_{\phi} = F_{ж} \cdot S_1 \cdot u / f_{ж} = 0.5 \cdot 0.069 \cdot 0.008 / 0.00044 = 0.67 \text{ м}^2$$

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

$$e = F_{\phi} / (0.25 \cdot \pi \cdot D_B^2) = 0.67 / (0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.63^2) = 2.15$$

Орієнтовні геометричні розміри теплообмінної секції повітроохолоджувача у фронтальному перетині:

- ширина і довжина  $H' = L' = F_{\phi}^{0.5} = 0.67^{0.5} = 0.82$  м;

Число труб у фронтальному перетині пучка з округленням до парного цілого:  $z_1 = H' / S_1 = 0.82 / 0.069 = 11.7$

Приймаємо дійсне число труб  $z_1 = 12$  шт

Дійсна ширина і довжина секції:

$$H = z_1 \cdot S_1 = 12 \cdot 0.069 = 0.828 \text{ м}$$

$$L = F_{\phi} / H = 0.67 / 0.69 = 0.81 \text{ м}$$

Кількість труб по ходу повітря з округленням до найближчого більшого цілого:  $z_2 = F_n / [f_n \cdot (F_{ж} / f_{ж})] = 80 / [0.0061 \cdot (0.582 / 0.00044)] = 10$  шт

Розрахункові параметри теплообмінної поверхні:

- сумарна довжина труб апарату:

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- площа зовнішньої поверхні:

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

- глибина секції:

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

Перевірка по аеродинамічному опору.

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

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

$$\begin{aligned} \text{Еквівалентний діаметр: } d_3 &= 2 \cdot [u \cdot (S_1 - d_H) - 2 \cdot \delta_p \cdot h_p] / (2 \cdot h_p + u) = \\ &= 2 \cdot [0.008 \cdot (0.069 - 0.02) - 2 \cdot 0.0013 \cdot 0.02] / (2 \cdot 0.02 + 0.008) = 0.014 \text{ м} \end{aligned}$$

Коефіцієнт, що враховує лінійні розміри ребер:

$$C_L = L_0^{0.22} / d_3^{0.3} = 0.051^{0.22} / 0.014^{0.3} = 1.87$$

Коефіцієнт, що враховує фізичні властивості повітря:

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

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

Т.ч.

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

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

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7 Підбір компресорів та конденсаторів, розрахунок магістральних трубопроводів

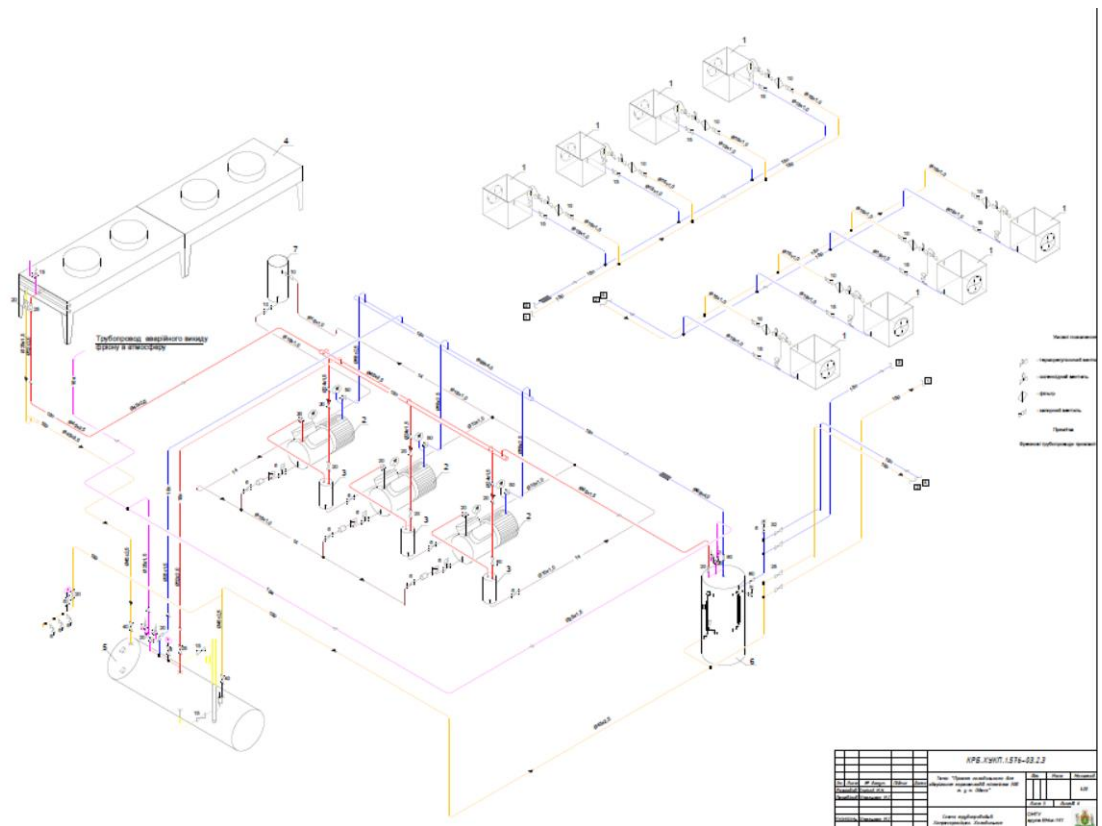


рис. 7.1 – Схема холодильної установки

### 7.1 Підбір компресорів та конденсаторів

Підбір компресорів здійснимо по потрібній холодопродуктивності на один компресор в режимі зберігання  $Q_0=19$  кВт з параметрами роботи, представленими при тепловому розрахунку. Вибираємо три поршневі компресори фірми Bitzer марки 4G-20/2Y-25P з холодопродуктивністю за даних умов  $Q_0=24.5$  кВт і споживаною електричною потужністю  $N_{ел}=9.6$  кВт.

Для відведення теплоти конденсації в даній холодильній системі використовуємо повітряні конденсатори. Вибираємо повітряний конденсатор фірми Alfa-Laval марки ACS504-C 4 потужністю 98 кВт при розрахунковій температурі конденсації  $t_k=42$  °С.

					КРБ.ХУТаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7.2 Розрахунок магістральних трубопроводів

Об'ємна витрата агента:

$$V_a = M_a / \rho, \text{ [м}^3\text{/с]}, \quad (7.1)$$

де  $\rho$  – щільність агента за відповідних умов,  $\text{кг/м}^3$ .

Діаметр трубопроводу, що розраховується:

$$d = 1.13 \cdot (V_a / w)^{0.5}, \text{ [м]}, \quad (7.2)$$

де  $w$  – орієнтовна швидкість агента, що приймається виходячи з умов роботи трубопроводу  $\text{м/с}$ .

Нагнітальний трубопровід для одного компресора:

При  $t_2 = 80^\circ\text{C}$  и  $P_k = 19$  бар – щільність агенту  $\rho_2 = 86.6 \text{ кг/м}^3$ .

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

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

Приймаємо на нагнітанні мідну трубу  $24 \times 1.5$ .

Всмоктуючий трубопровід для одного компресора:

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

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

$$d_n = 1.13 \cdot (0.022 / 12)^{0.5} = 0.048 \text{ м}.$$

Приймаємо на всмоктуванні мідну трубу  $55 \times 2.5$ .

Трубопровід на сливі від конденсаторів до ресівера:

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$$d_n=1.13 \cdot (0.0012/1)^{0.5}=0.046\text{ м.}$$

Приймаємо на рідинному зливі мідну трубу 45×2.5.

### 7.3 Підбір допоміжного устаткування

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

Лінійний ресивер для даної холодильної системи безпосереднього охолодження підбирається з розрахунку, що його об'єм складає не менше 60% об'єму повітроохолоджувачів. При цьому робоче заповнення ресивера складає 50%. Загальний внутрішній об'єм повітроохолоджувачів можна визначуваний виходячи їх конструктивних характеристик і числа повітроохолоджувачів:  $V_{\text{исп}}=8 \cdot 0.25 \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot \Sigma L=8 \cdot 0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.016^2 \cdot 97.2=0.156\text{ м}^3$ .

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

$$V_{\text{л}}=(0.6 \cdot V_{\text{исп}}/0.5) \cdot 1.2=(0.6 \cdot 0.156/0.5) \cdot 1.2=0.23\text{ м}^3$$

Як лінійні ресивери використовують горизонтальні або вертикальні циліндрові судини. По місткості підбираємо горизонтальний ресивер 0.5PB, який може використовуватися при робочому тиску до 1.8 мПа в діапазоні температур від -15 до +47 °С. Обичайки ресивера зварні, запобіжні клапани мають умовний прохід  $D_y$  15мм.

Віддільники рідини включають в систему для захисту компресора від попадання в них рідкого холодоагенту. Віддільник рідини повинен бути забезпечений автоматичними приладами, що вимикають компресор при небезпечній зміні рівня рідини в судині. У системах безпосереднього кипіння,

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при регулюванні заповнення приладів охолодження по перегріву пари при нормальній експлуатації, в судині не повинно бути рідини.

Рідина відділяється від пари унаслідок різкої зміни швидкості і напрямку руху холодильного агента. Швидкість пари в судині не повинна перевищувати 0.5 м/с. Він є зварною вертикальною циліндровою судиною, що має патрубки і штуцера для приєднання рідинної і парових ліній, зрівняльної лінії, автоматичних приладів і манометра. Судина розрахована на робочий тиск не більше 1,5 МПа в робочому діапазоні температур от -50 до +40 °С. Підбираємо віддільник рідини фірми Sanrong марки SR-208.

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

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

Для захисту віддільника рідини від переповнювання, а так само зберігання агента при тривалій зупинці холодильної машини, в системі передбачений захисний дренажний ресивер. Підбір апарату здійснюється аналогічно лінійному ресиверу, т.ч. як дренажний вибираємо горизонтальний ресивер 0.5РВ.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 8 Цивільний захист

Тема: Захист приладів, апаратури і систем енергоживлення компресорів від дії електромагнітного імпульсу.

Електромагнітне випромінювання (ЕМІ) у вигляді потужного короткочасного імпульсу, що переважно уражає електричне та електронне обладнання, може виникнути внаслідок ядерного вибуху або дії спеціального генератора ЕМІ.

У загальному вигляді ЕМІ можна порівняти з електромагнітним полем, яке створює блискавка поблизу – воно викликає перешкоди у роботі радіоприймачів. Основною причиною виникнення ЕМІ є взаємодія гамма-випромінювання, яке утворюється під час вибуху, з атомами навколишнього середовища.

Під час такої взаємодії атоми отримують імпульс енергії: частина її витрачається на іонізацію, а більша частина — на прискорення електронів і іонів, які з'явилися внаслідок цієї іонізації. Оскільки електрони мають значно меншу масу, ніж іони, їм передається більше енергії, і вони рухаються набагато швидше — майже зі швидкістю світла — в радіальному напрямку від епіцентру вибуху. Іони при цьому залишаються практично на місці. Це призводить до тимчасового розділення позитивних і негативних зарядів у просторі.

Основні характеристики ЕМІ, що визначають його вражаючу дію, — це форма імпульсу та амплітуда змін електричного і магнітного полів у часі.

При наземному ядерному вибуху ЕМІ в радіусі кількох кілометрів проявляється як одиничний імпульс з різким фронтом наростання тривалістю до кількох мілісекунд. Його енергія охоплює широкий частотний діапазон — від десятків герц до кількох мегагерц. Однак основна енергетична складова

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

припадає на частоти до 30 кГц; високочастотна частина несе незначну частку загальної енергії.

Вражаючий ефект ЕМІ зумовлений появою напруг і струмів у провідниках — як надземних, так і підземних, а також у різноманітному обладнанні.

Хоча на створення ЕМІ витрачається невелика частина енергії ядерного вибуху, його вплив здатен викликати потужні імпульси напруги і струму в лініях зв'язку, управління, сигналізації та електропередачі — як повітряних, так і підземних. Це може призводити до виходу з ладу чутливих компонентів, особливо тих, що пов'язані з антенами або відкритими провідниками, а також до серйозних збоїв у роботі цифрових і контрольних пристроїв, хоча не завжди з незворотними наслідками.

З огляду на це, вплив ЕМІ необхідно враховувати під час проєктування всіх електронних систем. Для найважливішого обладнання слід впроваджувати спеціальні захисні заходи та підвищувати його стійкість до дії ЕМІ.

Особливістю ЕМІ як вражаючого чинника є його здатність розповсюджуватися на великі відстані — десятки і навіть сотні кілометрів — через повітря та різні інфраструктурні мережі (електропостачання, водопостачання, дротовий зв'язок). Завдяки цьому ЕМІ може уражати об'єкти там, де інші вражаючі фактори ядерного вибуху (ударна хвиля, світлове випромінювання, радіація) вже не є ефективними.

Найбільш вразливими до ЕМІ є системи зв'язку, управління і сигналізації. Кабелі та апаратура в цих системах зазвичай мають обмежену електричну міцність — не більше 10 кВ імпульсної напруги.

Основна мета захисних засобів від електромагнітного імпульсу (ЕМІ) — запобігти проникненню наведених струмів до чутливих компонентів обладнання. Захист ускладнюється тим, що імпульс ЕМІ має значно вищу швидкість — приблизно у 50 разів швидше, ніж блискавичний розряд, — тому звичайні газорозрядники виявляються неефективними.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із найбільш поширених способів захисту радіоелектронної апаратури є використання металевих екранів, які відбивають електромагнітні хвилі та поглинають енергію високочастотних складових. Екрановані шафи і корпуси спрямовують наведений імпульс струму в землю через заземлювальну систему, запобігаючи пошкодженню пристроїв, що перебувають усередині. Товщина екрану і рівень ослаблення залежать від потужності та щільності потоку випромінювання, електропровідності, магнітної проникності матеріалу та частотного спектра ЕМІ.

Особливу увагу слід приділяти якісному електричному контакту між частинами екрану. Для цього застосовуються з'єднання на болтах або зварюванні. Болтові з'єднання забезпечують екранування на рівні 60–80 дБ, яке може зберігатися довгий час. Найнадійнішим вважається зварне з'єднання.

Напруга, що наводиться в кабелях під впливом ЕМІ, залежить від багатьох чинників: конструкції кабелів, типу навантаження, якості роз'ємів і монтажу, а також умов експлуатації. Для зменшення впливу ЕМІ кабелі слід прокладати у заземлених металевих конструкціях — наприклад, у траншеях під бетонованою підлогою або у сталевих коробах. При відкритій прокладці — використовують швелери, які заземлюються і зварюються по довжині для забезпечення надійного електричного контакту. У складних умовах кабелі рекомендується прокладати у металевому рукаві, також заземленому, що додатково забезпечує механічний захист.

Раціональніше використовувати кабелі з високим коефіцієнтом екранування, достатньою електричною та механічною міцністю, оскільки прокладання довгих відрізків у сталевих трубах є технічно складним.

Ще один елемент системи захисту — це розрядники, що встановлюються на вході та виході апаратури або на лініях електроживлення. Їх завдання — або миттєво розірвати ланцюг, або відвести енергію імпульсу, запобігаючи пошкодженню пристроїв.

Виділяють два основні типи розрядників:

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- «М'які» обмежувачі — це нелінійні резистори, які змінюють опір залежно від напруги.
- «Жорсткі» обмежувачі — пристрої з електричним пробоем, які спрацювують при досягненні певного порогу.

Розрядники мають відповідати терміну служби обладнання і забезпечувати нормальну напругу в ланцюгах, маючи при цьому високу ізоляційну стійкість. Їхня робота не повинна залежати від полярності імпульсів.

Газові розрядники ефективні при перевантаженнях, але мають довгий час спрацювання і значний стрибок напруги. Напівпровідникові прилади діють швидше, але менш стійкі до високих напруг.

Як додаткові захисні засоби застосовуються:

- плавкі запобіжники,
- вхідні захисні пристрої (релейні або електронні),
- дренажні котушки, що замикають,
- схеми автоматичного відключення обладнання від мережі.

Висновок: реалізація перерахованих заходів дозволяє суттєво знизити ризик ушкодження обладнання від електромагнітного імпульсу і забезпечити надійний захист електронних систем.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 9 Охорона праці

### Охорона праці при експлуатації холодильного обладнання

Охорона праці — це система законодавчих, соціально-економічних, організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на забезпечення безпеки, збереження здоров'я і працездатності працівників у процесі трудової діяльності.

Адміністрація підприємства зобов'язана забезпечити холодильне обладнання достатньою кількістю кваліфікованого обслуговуючого персоналу. До роботи на холодильних установках допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд і мають відповідну професійну підготовку. Для цього вони повинні мати свідоцтво про закінчення спеціалізованого навчального закладу або курсів за напрямками:

- машиніст — експлуатація холодильних установок;
- слюсар — автоматизація холодильних установок;
- електромеханік — контрольно-вимірювальні прилади, автоматика та електрообладнання холодильних систем.

До самостійного обслуговування допускаються лише ті працівники, які пройшли стажування тривалістю не менше одного місяця та склали іспит з перевірки знань. Офіційний допуск оформлюється розпорядженням по підприємству.

На кожному підприємстві має бути розроблена та затверджена головним інженером інструкція з охорони праці під час експлуатації холодильного устаткування. Ці інструкції також затверджуються профспілковим комітетом і доводяться до відома персоналу під підпис.

Наказом по підприємству призначаються:

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- відповідальна особа за технічно справний стан і безпечну експлуатацію холодильних установок;
- відповідальна особа за реєстрацію, нагляд і технічне обслуговування холодильних апаратів (у тому числі посудин під тиском).

Підприємство зобов'язане організувати навчання працівників з питань охорони праці відповідно до вимог чинних нормативних документів (зокрема, ГОСТ). Загальне керівництво навчальним процесом здійснює керівник підприємства, а в окремих підрозділах — їх керівники.

#### Токсикологічна оцінка хладагента R-404A

На даному підприємстві холодильна установка працює на хладагенті R-404A. Згідно з прийнятою класифікацією шкідливих речовин, речовини поділяються на чотири класи небезпеки залежно від їх токсичної дії, яка визначається за сімома показниками, включаючи середню смертельну дозу та гранично допустиму концентрацію (ГДК) в повітрі робочої зони.

Основний шлях впливу хладагента на організм людини — інгаляційний, тобто через вдихання його парів. У випадку розгерметизації холодильного обладнання вміст хладагента в повітрі залежить від тиску насичених парів і їх щільності. Чим вищі ці показники, тим швидше хладагент потрапляє в повітря робочої зони і становить більшу небезпеку.

Для оцінки потенційної небезпеки в умовах експлуатації застосовується коефіцієнт токсичної небезпеки (КТН) — безрозмірна величина, що визначається як відношення щільності насичених парів хладагента при температурі 20 °С до його ГДК: для хладагента R 404A  $\text{ГДК}=3000 \text{ мгм/м}^3$ .

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## 9.1 Електробезпека

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги і електромагнітного поля.

До основних технічних засобів, що забезпечують безпеку робіт в електроустановках, відносять: захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів, захисне відключення, електричне розділення мережі, застосування малої напруги, огорожі і блокування, ізоляцію струмоведучих частин, застосування підвищеної частоти, електрозахисті засоби.

Використання цих засобів в різних поєднаннях дозволяє забезпечити захист людей від дотику до струмоведучих частин, від небезпечного переходу напруги на струмоведучі частині, від крокової напруги і тому подібне.

Найчастіше використовують захисне заземлення. Захисним заземленням називають навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою. Воно призначене для усунення поразки електричним струмом у разі дотику до неструмоведучим металевим частинам електроустановки, що опинилися під напругою.

Розрахунок заземлення.

Граничний допустимий опір заземлення в електроустановках з напругою до 1000 В не повинен перевищувати 4 Ом у будь-який час ( $R=4$  Ом). При цьому струм, що проходить через тіло людини  $< 0.05$  А.

Вибираємо тип і геометричні розміри заземлень: контурне  $l=2$ м;  
 $d = 40$  мм. Відстань між вертикальними заземленнями вибираємо рівним  $L = 1$  м.

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_{расч.} = \rho_{физ.} \cdot \psi , \quad (9.1)$$

де  $\rho_{физ.} = 30$  Ом – питомий опір ґрунту;

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\psi = 1.1$  - кліматичний коефіцієнт [5].

$$\rho_{расч.} = \rho_{физ.} \cdot \psi = 30 \cdot 1.1 = 33 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Опір одного вертикального заземлювача з урахуванням опору ґрунту.

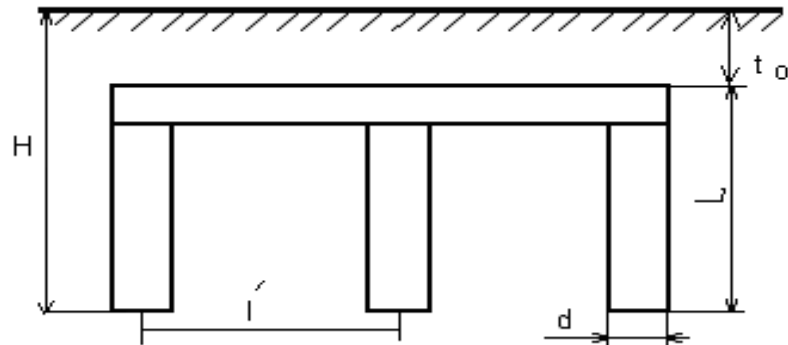


Рис. 9.1 – Схема заземлення

$$R_{ср.} = \frac{\rho_{расч.}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left( \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + l}{4H - l} \right), \text{ Ом} \quad (9.2)$$

$$d = 40 \text{ мм}, \quad l = 2 \text{ м}, \quad t_0 = 1 \text{ м}, \quad H = l/2 + t_0 = 1.5 \text{ м}$$

$$R_{ср.} = \frac{33}{2 \cdot \pi \cdot 1} \left( \ln \frac{2 \cdot 1}{0.04} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,5 + 1}{4 \cdot 1,5 - 1} \right) = 137 \text{ Ом}$$

Визначимо кількість вертикальних заземлювачів

$$n_{расч.} = \frac{R_{ср.}}{R_{расч.}} \quad n_{расч.} = \frac{137}{4} = 34 \text{ шт}$$

Визначаємо опір системи вертикальних заземлювачів

$$R_{CB} = \frac{R_{ср.}}{\eta \cdot n} = \frac{137}{0.55 \cdot 34} = 7.3 \text{ Ом} \quad (9.4)$$

$\eta$  – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів [5].

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довжина сполучної смуги при розміщенні по контуру:

$$l_{пол.} = 60 \cdot 2 = 120 \text{ м}$$

Опір смуги з урахуванням опору ґрунту:

$$R_{пол.} = \frac{\rho_{расч.}}{\eta \cdot 2\pi \cdot l_{пол.}} \ln \frac{l_{пол.}^2}{d \cdot t_0} = \frac{33}{0.27 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 120} \ln \frac{120^2}{0.04 \cdot 1} = 2,1 \text{ Ом} \quad (9.5)$$

Загальний опір всієї системи

$$R_{общ.} = \frac{R_{общ.ст.} \cdot R_{пол.}}{R_{общ.ст.} + R_{пол.}} = \frac{5.7 \cdot 2.1}{5.7 + 2.1} = 1.54 \text{ Ом} \quad (9.6)$$

Оскільки  $R_{общ}$  не перевищує  $R_{треб} < 4 \text{ Ом}$ , розрахунок виконаний вірно.

## 9.2 Вибухово-пожежна безпека приміщень підприємства

Машинне і апаратне відділення фреонових установок відноситься до категорії Д – негорючі речовини і матеріали в холодному стані.

Засоби пожежної автоматичної сигналізації.

Електричну пожежну сигналізацію складає встановлений на ділянках і цехах підприємства датчики, за допомогою яких сигнал передається на пункт зв'язку пожежної частини (команди) і приймальної станції, що забезпечує прийом сигналів. Обрана сигналізаційна димова пожежна установка СДПУ-1.

Протипожежний інвентар.

Для розміщення первинних засобів пожежогасіння в виробничих будівлях і на території підприємств передбачають спеціальні пожежні щити з набором:

пінних вогнегасників - 2, вуглекислотних вогнегасників – 1,

ящиків з піском – 1, щільного полотна (волок, азбест) – 1,

ломів – 2, багрів – 3, сокир – 2.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

При тушінні пожеж піною широко застосовують генератори високо кратної піни (ГВП) і хімічні вогнегасники ВХП-10.

Розрахунок кількості балонів з вуглекислотою для внутрішньої пожежогасінні.

Кількість вогнегасного газового складу:

$$G_{\Gamma}=1.25 \cdot (G_{\text{в}} \cdot V_{\text{п}} \cdot K_{\text{у}}), \text{ кг} \quad (9.8)$$

де  $G_{\text{в}}$  – вогнегасна концентрація газового складу для вуглекислоти,  
 $G_{\Gamma}=0.7 \text{ кг/м}^3$ ;

$V_{\text{п}}$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ ;

$K_{\text{у}}$  – коефіцієнт, який враховує особливості процесу газообміну,

$K_{\text{у}}=1.5$  [5];

$$G_{\Gamma}=1.25 \cdot 0.7 \cdot 72 \cdot 1.5=94.5 \text{ кг}$$

Необхідну кількість робочих балонів з вуглекислотою:

$$N_{\text{в}}=G_{\Gamma}/(V_{\text{б}} \cdot \rho \cdot \alpha_{\text{н}}), \text{ од}, \quad (9.9)$$

де  $V_{\text{б}}=25 \text{ л}$  – об'єм балона;

$\rho=0.625 \text{ кг/л}$  – щільність засобу гасіння;

$\alpha_{\text{н}}=1$  – коефіцієнт заповнення.

$$N_{\text{в}}=94.5/(25 \cdot 0.625 \cdot 1)=6 \text{ од}$$

Визначення об'єму недоторканного запасу води для гасіння пожежі.

Розрахунок пожежних водоймищ зводиться до визначення ємкості водоймищ і їх кількості. Розрахуємо ємкість пожежного резервуару для гасіння пожежі на промисловому підприємстві виходячи з таких даних: об'єм приміщення компресорного цеху  $V=432 \text{ м}^3$ , категорія приміщення – Д.

Ємкість водоймища визначимо з умови забезпечення потрібної по нормам витрати води на зовнішню пожежогасінню в перебігу розрахункового часу.

$$V_{\text{в}} = \frac{k \cdot g \cdot n \cdot \tau}{1000} \cdot 3600, \text{ м}^3, \quad (9.10)$$

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

приймаю  $k = 1,2$  [5];

$g$  – витрата води на зовнішню пожежогасінню,  $g = 15$  л/с [5];

$n$  – кількість пожеж, при території виробництва до 150 гектар  
можливий одна пожеж, понад 150 гектар – дві пожежі, приймаю  $n = 1$ ;

$\tau$  – тривалість гасіння пожежі.

При ступені вогнестійкості I і II з виробництвами категорій Г і Д  
розрахункову тривалість гасіння пожежі слід приймати рівній двом годинам;  
у решті випадків – три години, приймаю  $\tau = 2$  ч.

$$V_B = 1,2 \cdot 15 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3,6 = 129,6 \text{ м}^3, \text{ приймаємо } V_B = 130 \text{ м}^3$$

### 9.3 Виробнича санітарія

Норми по виробничій санітарії і гігієні праці визначають пристрій  
виробничих і побутових приміщень, робочих місць відповідно до фізіології і  
гігієни праці, а також безпечні межі змісту в повітрі виробничих приміщень  
газів, пари і так далі

Правила і норми по техніці безпеки і виробничої санітарії необхідно  
дотримувати як при проектуванні, так і при експлуатації промислових  
об'єктів, устаткування.

Розрахунок освітлення компресорного цеху.

Правильно спроектоване і виконане освітлення на будь-якому  
підприємстві забезпечує можливість правильної виробничої діяльності.  
Перебування нервової системи, збереження зору людини і безпека на  
виробництві значною мірою залежить від умов освітлення. З цієї причини  
необхідно провести розрахунок системи штучного освітлення приміщення, в  
якому знаходяться робочі, що стежать за роботою устаткування в  
машинному відділенні пересувної рефрижераторної установки.

Розрахунок системи штучного освітлення проводимо при наступних  
початкових даних:

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- довжина цеху,  $A = 12,0$  м;
- ширина цеху,  $B = 9,0$  м;
- висота підвісу світильника  $h = 3,2$  м;
- напруга в мережі  $V = 220$  В.

До початку розрахунку необхідно провести вибір джерел світла, тип світильників, систему освітлення. Вибираємо як джерело світла газорозрядні лампи. Система освітлення - загальна. Вибираємо світильники типу ПВЛП. Далі розподіляємо світильники і визначаємо їх кількість.

Забезпечення рівномірного розподілу джерела досягається в тому випадку, якщо відношення відстані між центрами світильників ( $L$ ) до висоти їх підвісу над робочою поверхнею ( $h_{\text{раб}}$ ) складає певне число для типу світильників.

В даному випадку приймаємо  $\frac{L}{h_{\text{раб}}} = 1,5$  м, приймаємо  $h_{\text{раб}} = 3,2$  м, тоді

$$L = 4,8 \text{ м}$$

Визначаємо кількість необхідних світильників:

$$N = \frac{A \cdot B}{L^2} \quad (9.11)$$

де  $A = 12,0$  м - довжина цеху,  $B = 9,0$  м - ширина цеху;

$$N = \frac{12,0 \cdot 9,0}{4,8^2} = 4,7 \approx 5 \text{ світильників}$$

Визначуваний світловий потік ламп світильника:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot \kappa \cdot z \cdot 100}{N \cdot \eta}, \text{ лм} \quad (9.12)$$

де  $E_n$  – мінімальна нормована освітленість, приймаємо  $E_n = 150$  лк [5];

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

$\kappa$  – коефіцієнт запасу, що враховує старіння ламп,  $\kappa = 1,5$  [5];

$z$  – відношення середньої освітленості до мінімальної

$z = 1,1$  (для люмінесцентних ламп);

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку, який залежить від величини  $i$  – індексу приміщення.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{\text{раб.}} \cdot (A + B)} \quad (9.13)$$

$$i = \frac{12,0 \cdot 9,0}{3,2 \cdot (12,0 + 9,0)} = 1,61$$

$$\Phi = \frac{150 \cdot 108 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100}{5 \cdot 65} = 8224 \text{ лм}$$

Відповідно до виконаного розрахунку вибираємо 5 світильників з двома лампами ( $n=2$ ) ЛД 80 ( $r=40$  Вт) зі світловим потоком 4070 лм.

Погрішність вибору ламп

$$\square = \frac{n \cdot \phi_{\text{л}} - \phi}{n \cdot \phi_{\text{л}}} = \frac{2 \cdot 4070 - 8224}{2 \cdot 4070} \square 100\% = 5\%$$

Потужність електросвітельної установки:

$$R = r \cdot N \cdot n = 80 \cdot 5 \cdot 2 = 800 \text{ Вт.}$$

Розрахунок вентиляції.

Вентиляція призначена для запобігання накопиченню в повітрі приміщення шкідливих речовин, а також для забезпечення заданих метеорологічних умов у виробничому приміщенні. Вона досягається видаленням з приміщення забрудненого повітря (витяжна вентиляція) і подачею в нього свіжого повітря (припливна вентиляція). У загальному випадку ці кількості повітря повинні бути рівні. Можливості вентиляції по відведенню тепла з приміщення обмежені температурою зовнішнього повітря. За способом переміщення повітря розрізняють природну і штучну вентиляцію, а так само змішану. Для проектованого цеху необхідний пристрій аварійної вентиляції, оскільки можливе раптове надходження в повітря великих кількостей шкідливих речовин (при витоку холодоагенту).

Визначимо видатність вентиляції з кратності повітрообміну

$$L = k \cdot V_{\text{пом}} \left[ \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right], \quad (9.14)$$

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $k$  – кратність повітрообміну, приймаємо для робочої вентиляції:  
 а) припливної  $k = 3 \text{ год}^{-1}$ ; б) витяжної  $k = 4 \text{ год}^{-1}$ . Аварійна вентиляція поєднана з витяжною.

$V_{\text{пом}}$  – об’єм приміщення,  $V_{\text{пом}} = 432 \text{ м}^3$ .

$L_{\text{припл}} = 3 \cdot 432 = 1296 \text{ м}^3/\text{год}$ .

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

Визначимо потужність вентилятора

$$N = \frac{k \cdot L \cdot \Delta P_n}{\eta_v \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot 3.6 \cdot 10^6} \text{ [кВт]}, \quad (9.15)$$

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

$\Delta P_n$  – втрати тиску в мережі повітроводів; приймаємо для робочої вентиляції: високонапірні вентилятори ( $2900 < \Delta P_n < 4500$ ) Па;

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

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

Припливна –  $N = \frac{1.2 \cdot 1296 \cdot 2000}{0.7 \cdot 0.95 \cdot 3.6 \cdot 10^6} = 1.32 \text{ кВт}$

Витяжна –  $N = \frac{1.2 \cdot 1278 \cdot 2000}{0.7 \cdot 0.95 \cdot 3.6 \cdot 10^6} = 1.68 \text{ кВт}$

Приймаю для витяжної вентиляції осьовий вентилятор МЦ № 6 при  $n = 960$  об/хв; для припливної вентиляції осьовий вентилятор МЦ № 5 при  $n = 1440$  об/хв.

#### 9.4 Долікарська допомога

Долікарська допомога при отруєнні фреоном.

У всіх випадках отруєння давати вдихати кисень (протягом 30 - 45 хв.) і зігрівати хворого грілками. При цьому потрібно дотримуватися обережності, щоб не викликати опіків, оскільки при глибокому сні можливе зниження

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

больової чутливості. Добре дати міцний солодкий чай або каву. У разі потреби дати вдихати з ватки нашатирний спирт.

При роздратуванні слизистої оболонки рекомендується полоскати горло і промивати ніс 2 % - ним розчином соди або водою. Незалежно від стану потерпілого він повинен бути відправлений до лікаря. При задусі і кашлі хворого слід транспортувати лежачи.

При попаданні фреону в очі їх потрібно промити струменем чистої води і до приходу лікаря надіти темні захисні окуляри. Не можна забинтовувати очі і накладати пов'язку.

У разі попадання фреону на шкіру щоб уникнути обмороження слід обробити уражену ділянку теплою водою (35 - 40 °С), а у разі поразки великої частини тіла зробити загальну ванну. Витираючи тіло після ванни, потрібно прикладати рушник, що добре вбирає воду, а не розтирати її. Після цього на пошкоджену ділянку накладають пов'язку з маззю (Вишневського або Пеніциліном). Можна використовувати несолоне вершкове або соняшникове масло.

Долікарська допомога при поразці електричним струмом.

Перша долікарська допомога при нещасних випадках від електричного струму полягає у виконанні наступних дій:

- звільнення струму, що постраждав від дії (відключити електроустановку, перерубати дріт, скинути з нього дріт за допомогою дерев'яної палиці і т. д.);

- надати першу медичну допомогу (спокій, свіже повітря, при необхідності зробити штучне дихання, зовнішній масаж серця, госпіталізація).

Висновок: в результаті дотримання вищезгаданих норм і правил, а також проведення відповідних заходів на даному холодильному підприємстві буде забезпечена безпечна експлуатація і захист здоров'я людей.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

1. Проаналізовано особливості технології зберігання коренеплодів, зроблено постановку завдання.
2. Розраховано та спроектовано камери зберігання овочів, зроблено розрахунок теплопритоків в камери.
3. Проведено тепловий розрахунок, спроектовано холодильну установку, підібрано основне та допоміжне обладнання.
4. Проведено теплові та конструктивні розрахунки повітроохолоджувача та повітряного конденсатора.
5. Розроблено розділ охорони праці та цивільного захисту, спрямовані на забезпечення безпечної роботи устаткування і персоналу підприємства.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список використаної літератури

1. Лагутін Ю.А. Апарати холодильних установок, в двох томах, том 1. Одеса: видавництво ОДАХ, 2003.
2. Свердлов Г.З., Явнель Б. К. Курсове та дипломне проектування холодильних установок та систем кондиціювання повітря. - 2-е видання, перераб. і доп.- М.: Харчова промисловість, 1978.- У пров.: 90к.
3. Морозюк Т.В. Теорія холодильних машин та теплових насосів. – Одеса: Студія «Негоціант», 2006. – 712 с. (З додатком).
4. Морозюк Т.В. Проектування поршневого компресора холодильних машин та теплових насосів, 2012. - 712 с.
5. Холодильні установки. Проектування: Навч. посібник/І.Г. Чумак, А.Ю. Лагутін, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський та ін; за ред. докт. техн. н. проф. І.Г. Чумака.- 3-тє вид., перераб. та доп.- Одеса: Друк, 2007.- 480 с.
6. Мнацаканов Г.К. Основи проектування холодильників [Текст] : навч. посіб. – Одеса : ОГАХ, 2006. – 58 с.
7. Богданов С.Н., Іванов О.П., Куприянов А.В. Холодильна техніка. Властивості речовин [Текст] : довідник. – 3-е вид., перероб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1985. – 208 с.
8. Холодильна техніка. Кондиціювання повітря. Властивості речовин. Довідник, Під ред. Богданова С. Н. 4-те вид., перероб. та дод. - СПб: СПбДАХПТ, 1999. - 320 с.
9. Іонов А.Г., Ерліхман В.М. Вибір оптимального перепаду температур для повітроохолоджувачів суднових морозильних апаратів // Холодильна техніка, 1973. - №1. - С. 24–28.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Гоголін А.А. Про складання та оптимізацію теплообмінних апаратів холодильних машин // Холодильна техніка, 1981. - №4. - С. 18–21.

11. Желіба Ю.А., Штельмах О.М. Резерви скорочення споживання електроенергії при експлуатації аміачних холодильних установок. Огляд. - Одеса: НДВ "Холод", 1995. - 24 с.

12. Креймер Н.Г. Енергетична ефективність регулювання геометричного ступеня стиснення холодильних гвинтових компресорів // Холодильна техніка, 1992. - №5. - С. 12–16.

13. Абдульманов Х.А., Васильєв В.Я. Порівняння ефективності аміачних холодильних машин з повітряним та водяним охолодженням конденсаторів // Холодильна техніка, 1973. - №8. - С. 4–6.

14. Ерліхман В.М., Іонов А.Г. Зниження енергоспоживання холодильної установки з конденсатор повітряного охолодження // Холодильна техніка, 1983. - №8. - С. 18–22.

15. Іванов. Конденсатори та водоохолоджувальні пристрої. - Л.: Машинобудування, 1980. - 165 с.

16. Гоголін А.А., Данилова Г.М., Азарєков В.М., Меднікова Н.М. Інтенсифікація теплообміну у випарниках холодильних машин. - М.: Легка та харчова промисловість, 1982. - 244 с.

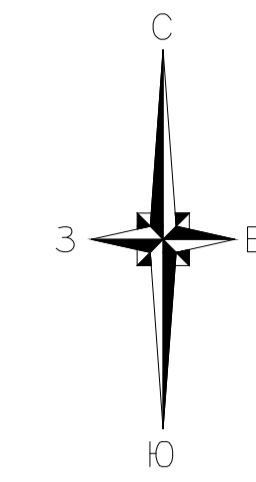
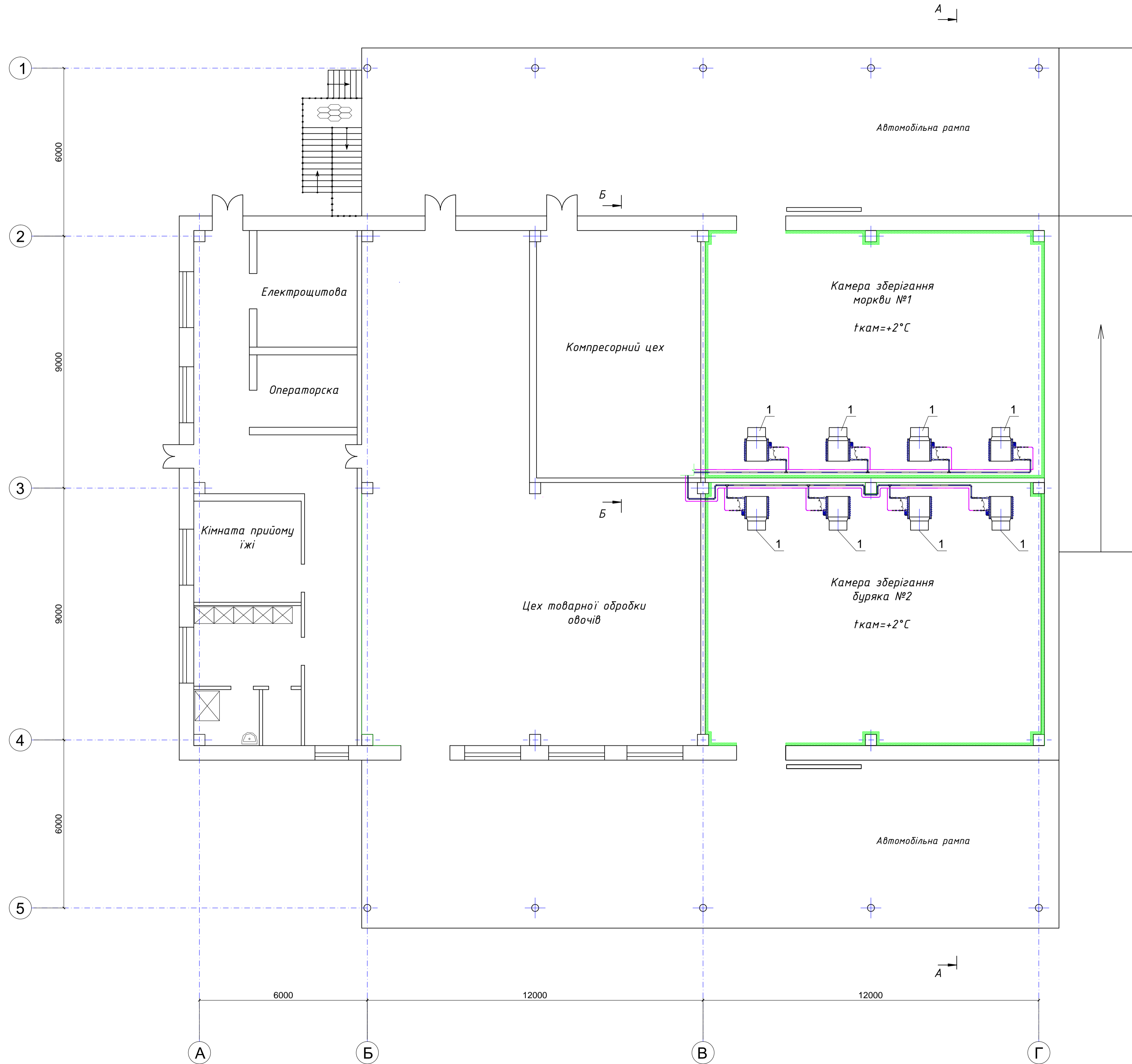
17. Досвіт Рой Дж. Основи холодильної техніки. Пров. з англ. - М.: Легка та харчова промисловість, 1984. - 520 с.

18. Україна: Енергозбереження у будинках. Київ: Енергетичний центр ЄС, 1995. - 274 с.

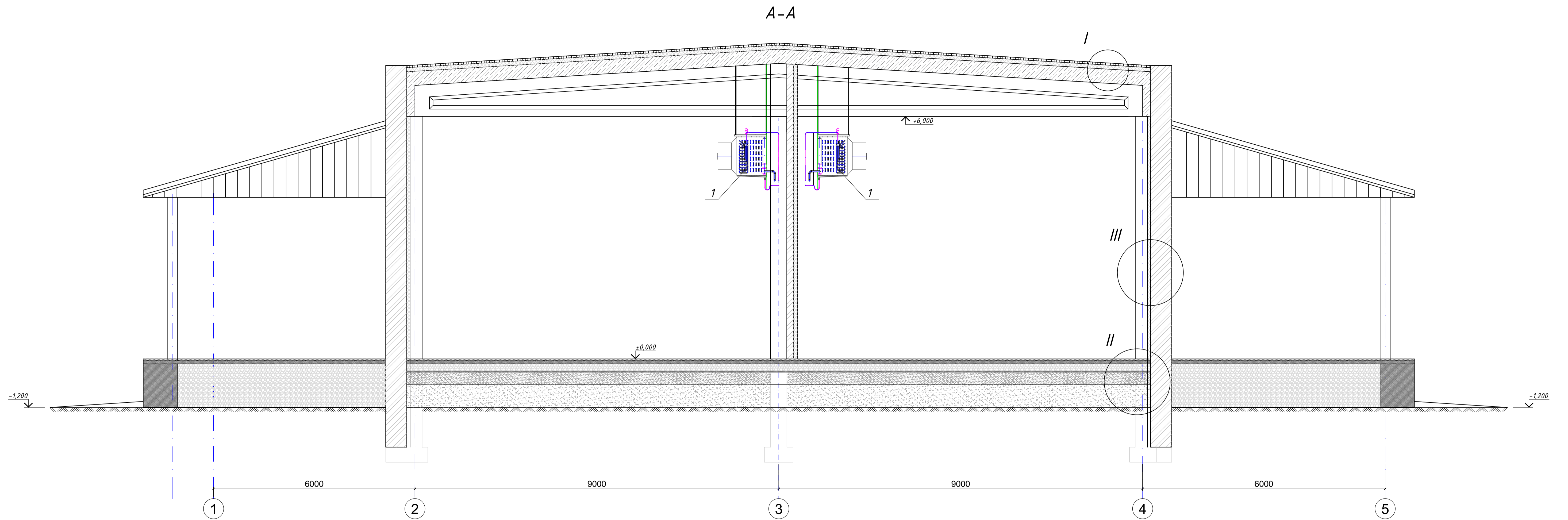
19. Курильов Є.С., Герасимов Н.А. Холодильні установки. Л.: Машинобудування, Ленінградське відділення, 1980. - 622 с.

20. Креймер Н.Г. Енергетична ефективність регулювання геометричного ступеня стиснення холодильних гвинтових компресорів // Холодильна техніка, 1992. - № 5. - с. 12–16.

					КРБ.ХУтаКП.1.576-03.2.3	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



				<b>КРБ.ХУКП.1576-03.2.3</b>				
Зм.	Лист	№ докц.	Підпис	Дата	Тема: "Проект холодильника для зберігання коренеплодів місткістю 300 т. у м. Одеса"	Літ.	Маса	Масштаб
	Розробив	Газарв М.Н.						1:75
	Перевірив	Хмельнюк М.Г.				Лист 1	Листів 6	
	Начальник	Хмельнюк М.Г.			План холодильника	ОНТУ	група ЕНск-141	

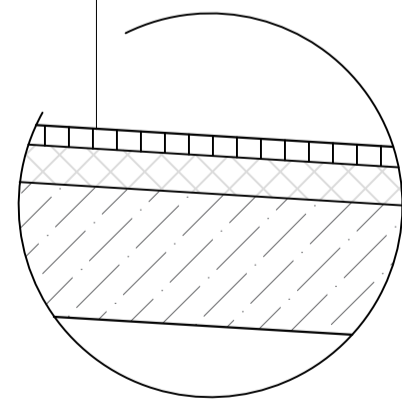


I  
M 1:20

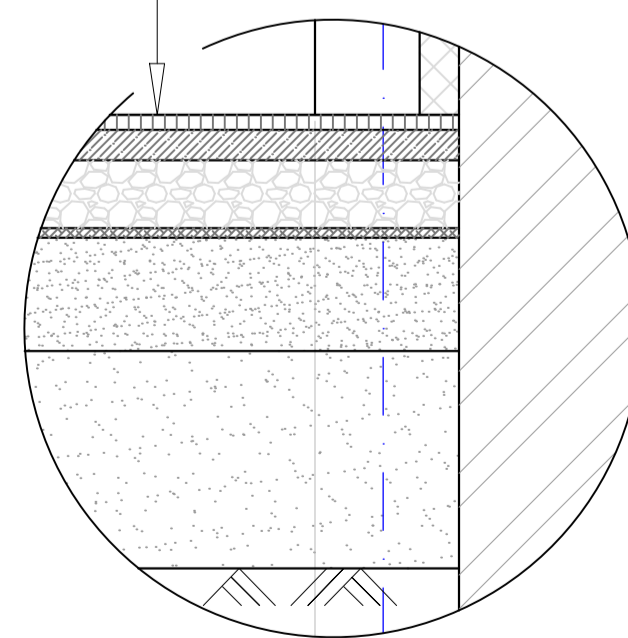
II  
M 1:20

III  
M 1:20

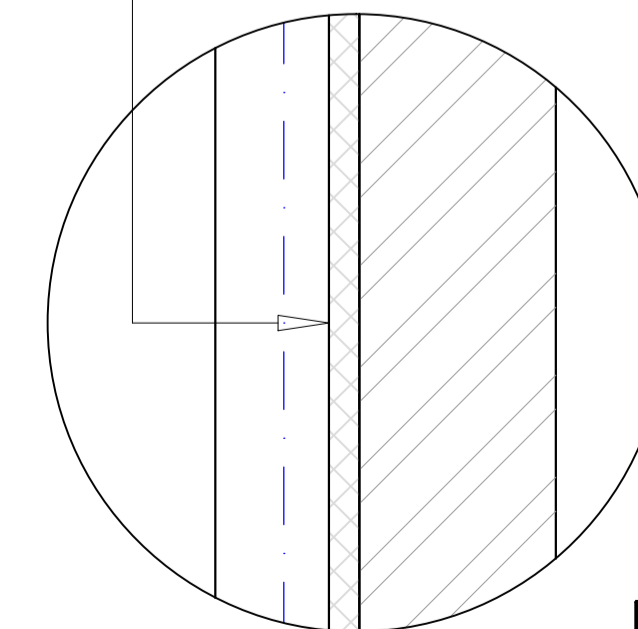
1. П'ять шарів гідроізолю δ=12мм
2. Стяжка з бетону δ=40мм
3. Поліетиленова плівка δ=2мм
4. Пінополістірол ПСБ-С δ=100мм
5. Железобетонна плита δ=350мм



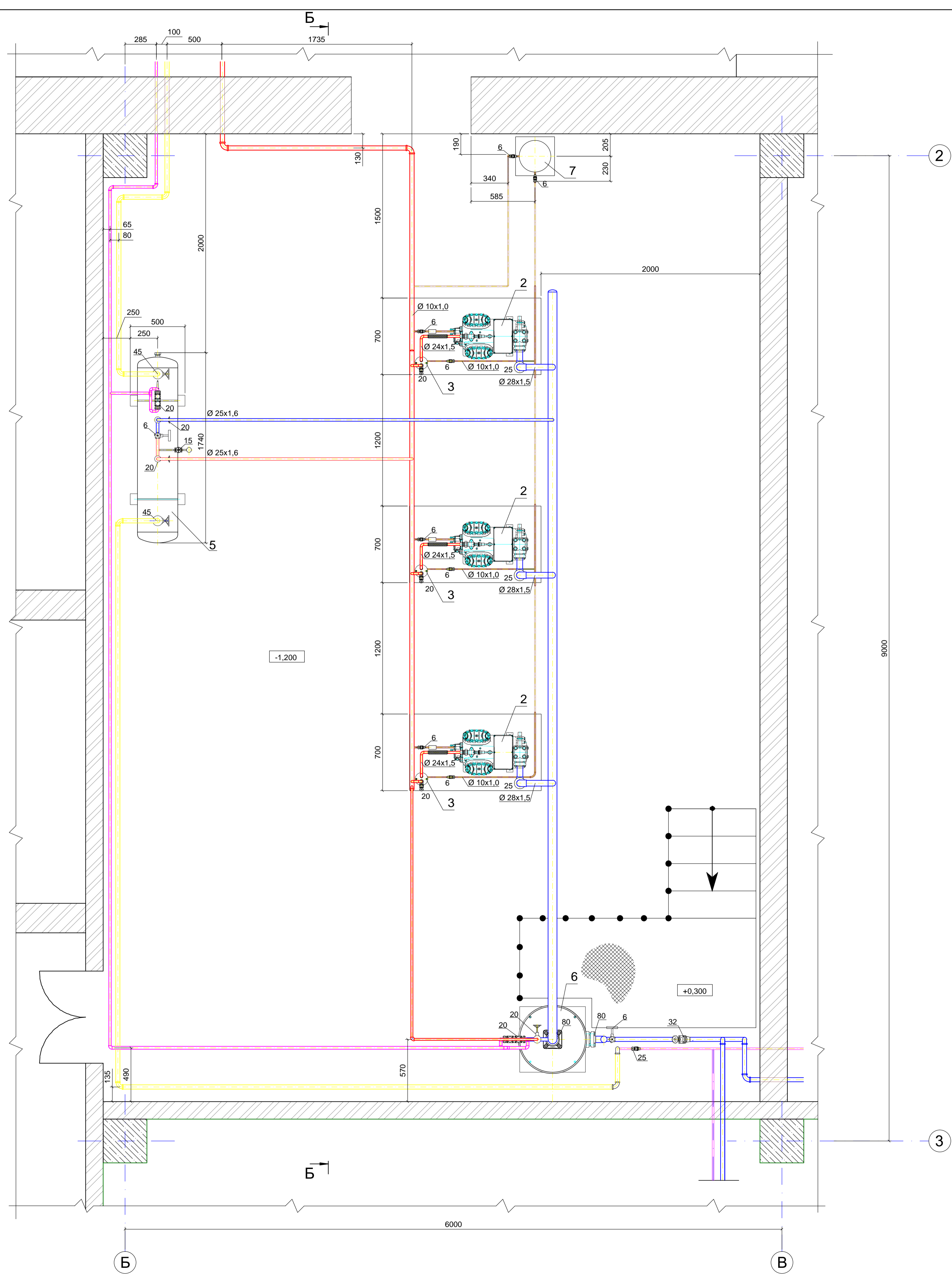
1. Монолитне бетоне покриття δ=40мм
2. Армобетоне стягування δ=80мм
3. Керамзитовий гравій δ=180мм
4. Поліетиленова плівка δ=2мм
5. Цементно-пісцаний розчин δ=25мм
6. Пісок ущільнювач δ=600мм



1. Штукатурка складним розчином по металевій стінці δ=20мм
2. Пінополістірол ПСБ-С δ=100мм
3. Поліетиленова плівка δ=2мм
4. Штукатурка δ=20мм
5. Цегла δ=380мм
6. Штукатурка δ=20мм

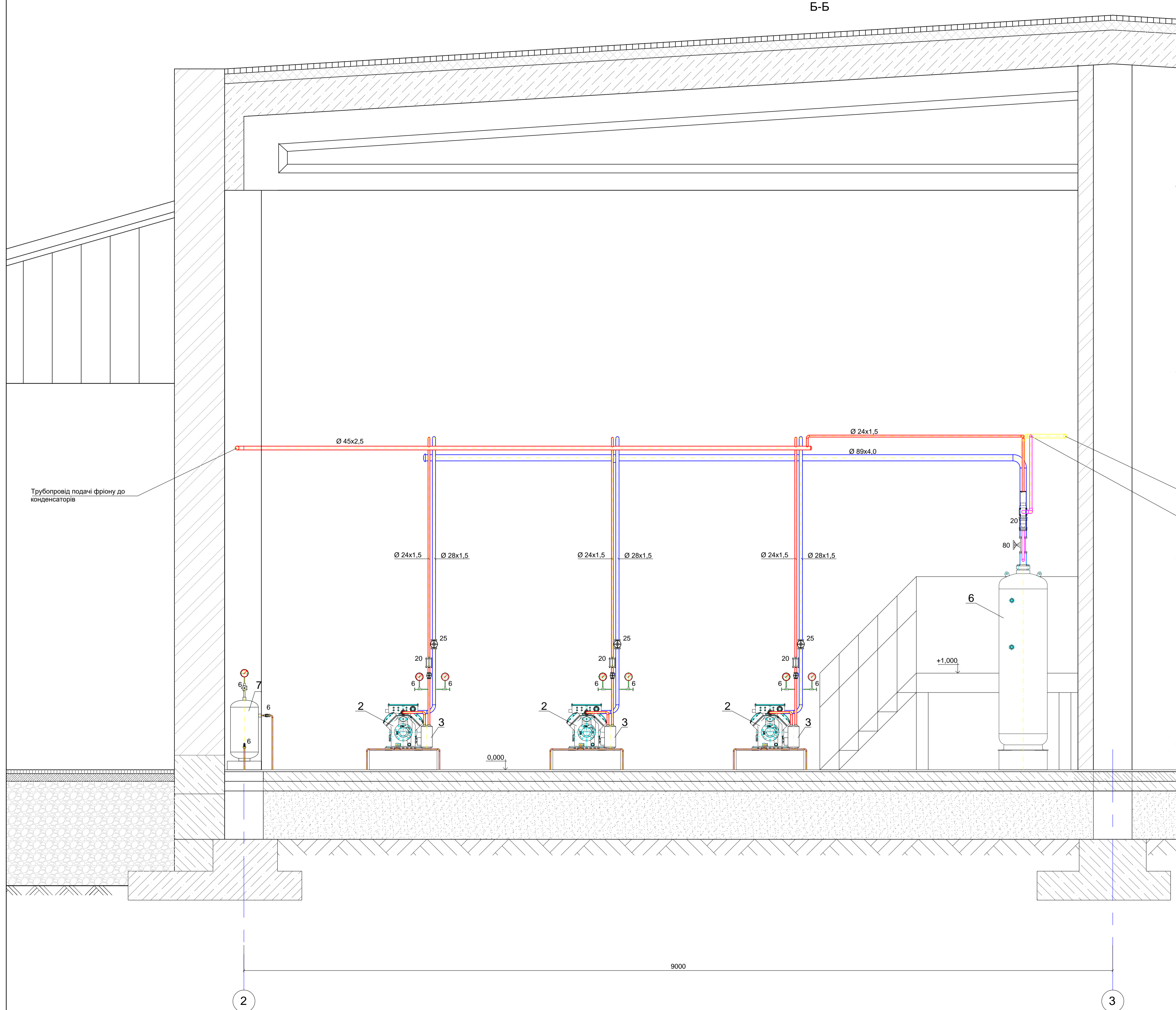


				КРБ.ХУКП.1576-03.2.3				
Зм.	Лист	№ докц.	Підпис	Дата	Тема: "Проект холодильника для зберігання коренеплодів місткістю 300 т. у м. Одеса"	Лит.	Маса	Масштаб
								1:75
						Лист 2	Листів 6	
					Розріз А-А	ОНТУ група ЕНск-141		



				КРБ.ХУКП.1.576-03.2.3		
Эк. Лист	№ докц.	Підпис	Дата	Тема: "Проект холодильника для зберігання коренеплодів місткістю 300 т. у м. Одеса"		
Розробив	Газарів М.Н.			Лит.	Маса	Масштаб
Перевірив	Хмельнюк М.Г.					1:20
				Лист 3	Листів 6	
Ниж контроль	Хмельнюк М.Г.			ОНТУ група ЕНск-141		

Б-Б



Трубопровід подачі фріону до конденсаторів

Трубопровід подачі фріону від ЛР

Трубопровід аварійного викиду фріону

2

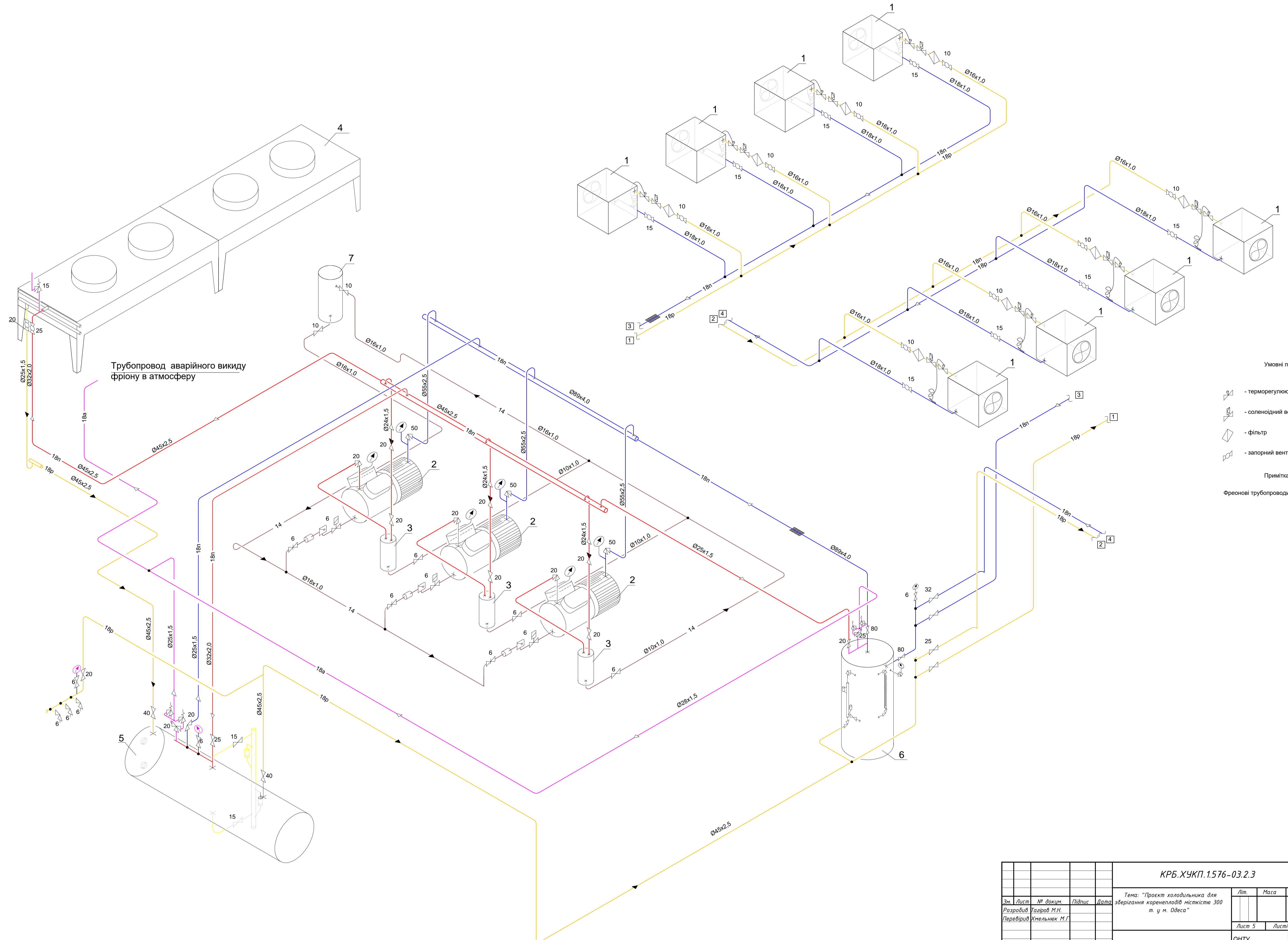
3

9000

0.000

+1.000

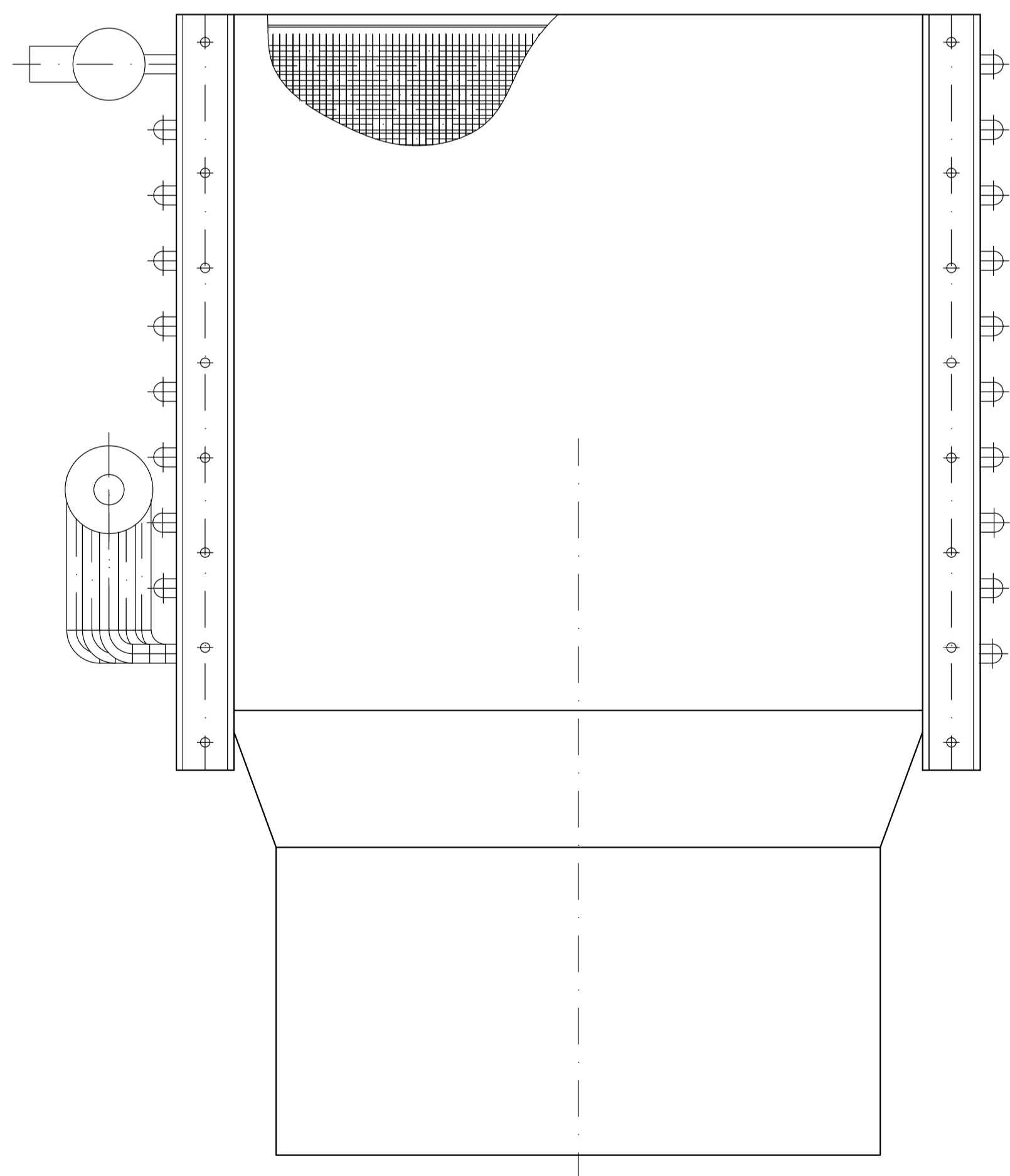
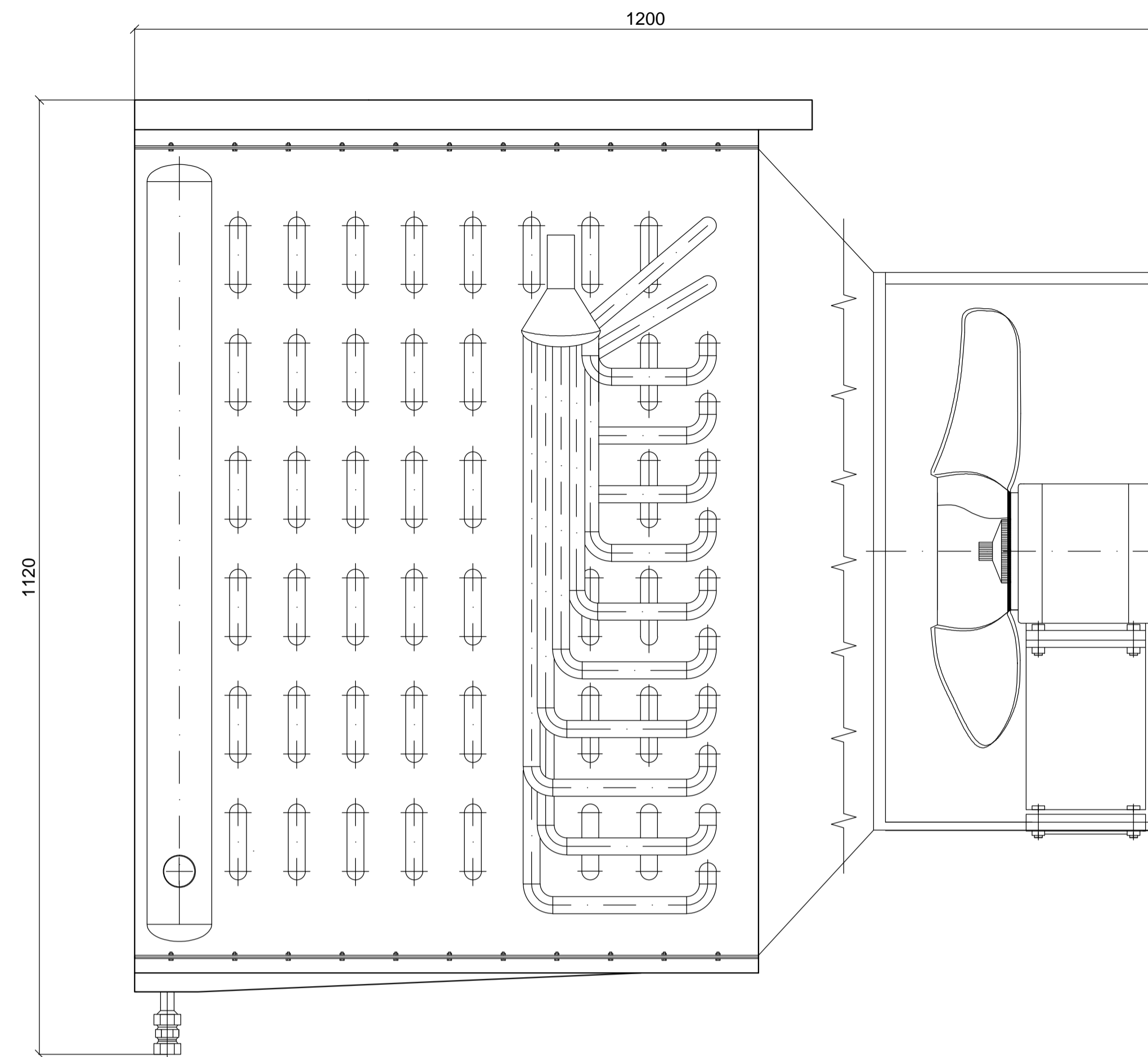
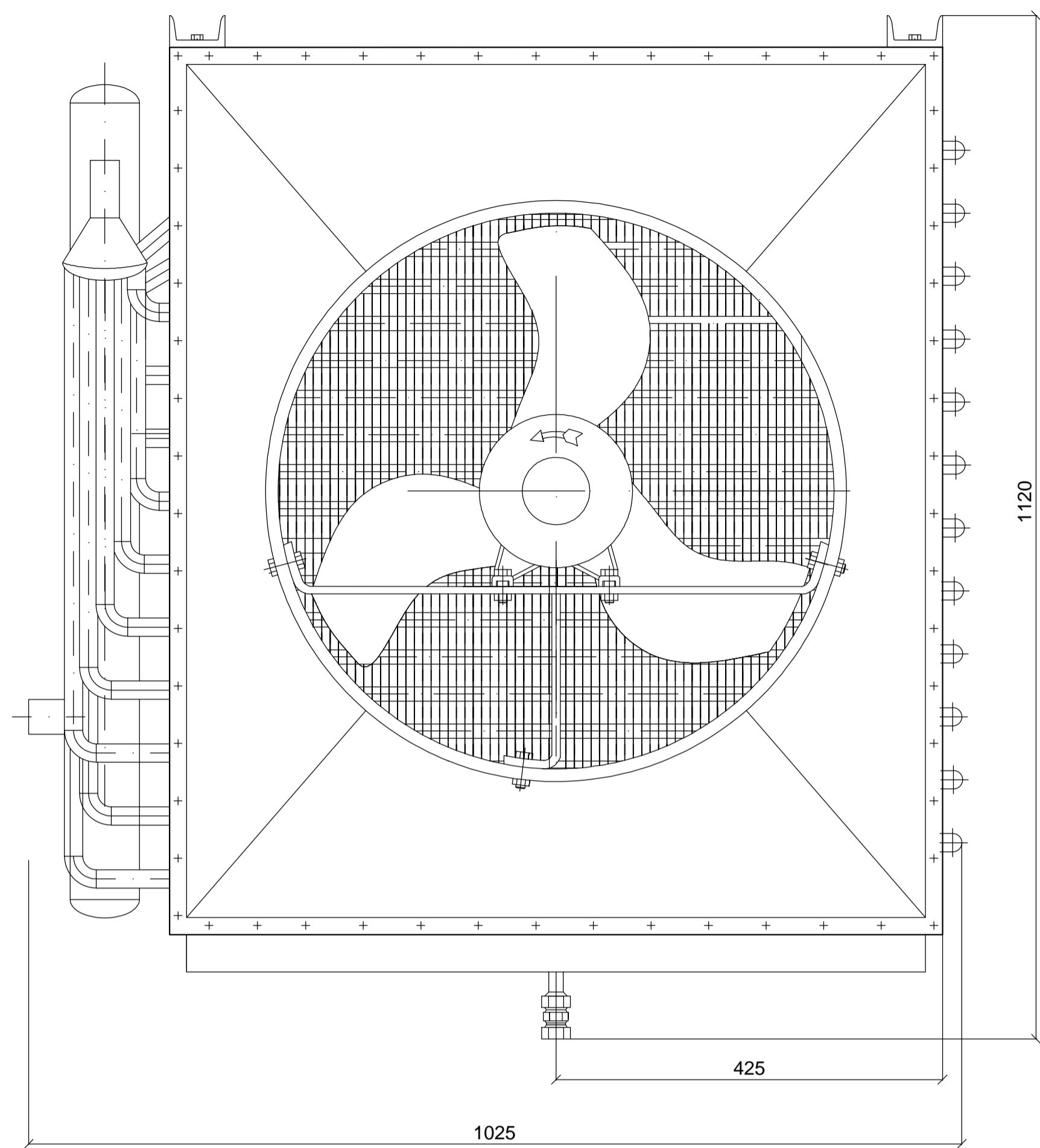
				<b>КРБ.ХУКП.1576-03.2.3</b>				
Зм.	Лист	№ докц.	Підпис	Дата	Тема: "Проект холодильника для зберігання коренеплодів місткістю 300 т. у м. Одеса"	Літ.	Маса	Масштаб
								1:20
Розробив	Газарів М.Н.					Лист 4	Листів 6	
Перевірив	Хмельнюк М.Г.							
Інж. контроль	Хмельнюк М.Г.				Розріз Б-Б	ОНТУ	група ЕНск-141	



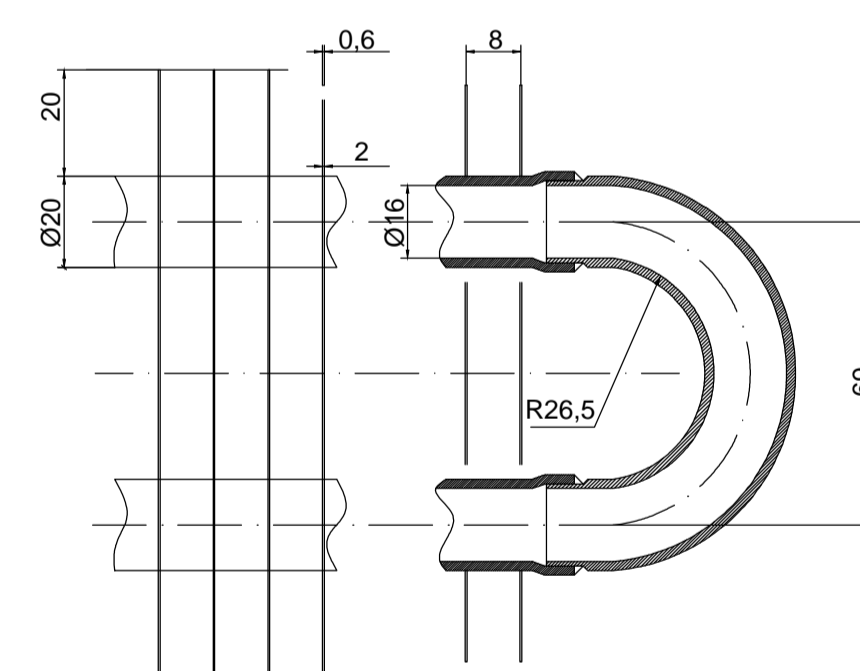
Трубопровід аварійного викиду фріону в атмосферу

- Умовні позначення
- терморегулюючий вентиль
  - соленоїдний вентиль
  - фільтр
  - запорний вентиль
- Примітка
- Фреонові трубопроводи проклад.

				<b>КРБ.ХУКП.1576-03.2.3</b>				
Зм.	Лист	№ док.	Підпис	Дата	Тема: "Проект холодильника для зберігання коренеплодів місткістю 300 т. у м. Одеса"	Літ.	Маса	Масштаб
								1:20
						Лист 5	Листів 6	
Інж. контроль	Хмельнюк М.Г.				Схема трубопроводів. Холдресорний цех. Холодильник	ОНТУ	група ЕНск-141	



A - A  
M 1:1



				КРБ.ХУКП.1576-03.2.3				
Зм.	Лист	№ докц.	Підпис	Дата	Тема: "Проект холодильника для зберігання коренеплодів місткістю 300 т. у м. Одеса"	Літ.	Маса	Масштаб
								1:5
						Лист 6	Листів 6	
					Повітроохолоджувач	ОНТУ	група ЕНск-141	