



# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Холодильні техніки та технології  
(назва)

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕХТ

Валентин ПЕТРЕНКО

“   ”     2024 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Макаренко Олександр Вячеславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект холодильної установки та системи кондиціонування розподільчого центру місткістю 10 000 тон в місті Київ

керівник роботи доцент Мирошник Марія Миколаївна,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “05” квітня 2024 року № 256-кв

2. Строк подання здобувачем роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

Холодоагент R717

Тип продукту: Сир, свинина в напівтушах, солодковершкове масло, консерви

Ізоляційний матеріал PU40

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

1. Технологічна схема оброблення продукції

2. Розрахунок холодильної частини проекту

3. Техніко економічні показники

4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу

1. План-схема будівлі розподільчого центру на форматі А1

2. Схема холодильної установки на форматі А1



## Анотація

Розробка розподільчого центру для оптимізації логістичних процесів

У сучасному світі ефективна логістика є критично важливою для успіху будь-якого бізнесу. Зростаючий попит на швидкі та надійні поставки товарів потребує розробки і впровадження високоефективних розподільчих центрів. Відповідна інфраструктура дозволяє компаніям знижувати витрати, покращувати рівень обслуговування клієнтів та збільшувати конкурентоспроможність на ринку.

Метою даного дипломного проекту є розробка концепції та архітектури розподільчого центру, що забезпечить оптимізацію логістичних процесів. Проект спрямований на підвищення ефективності зберігання, обробки та доставки товарів, а також на мінімізацію витрат і часу на виконання операцій.

Для досягнення поставлених цілей буде використано комплексний підхід, що включає теоретичні дослідження, аналіз практичних кейсів, комп'ютерне моделювання та економічний аналіз. Особлива увага приділятиметься використанню сучасних інформаційних технологій для автоматизації логістичних процесів.

Реалізація запропонованих у дипломному проекті рішень сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємств на ринку завдяки оптимізації логістичних процесів. Розробка ефективного розподільчого центру є важливим кроком до створення стійкої та адаптивної логістичної системи, здатної швидко реагувати на змінні умови ринку та вимоги клієнтів.

**Ключеві слова:** розподільчий центр, холодоагент, камери змерігання, охолоджувач, компресор, конденсатор.

					00 ДП.142.008.019.ПЗ			
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата				
Розробив		Макаренко О.В.			Анотація	Літера	Арк	Аркушів
Перевірів		Мирошник М.М.					4	96
Реценз						<b>НУХТ</b>		
Н. Контр.								
Затвердив		Петренко В.П.						

## Abstract.

Development of a distribution center to optimize logistics processes.

In today's world, efficient logistics is critical to the success of any business. The growing demand for fast and reliable supply of goods requires the development and implementation of highly efficient distribution centers.

The corresponding infrastructure allows companies to reduce costs, improve the level of customer service and increase competitiveness in the market. The purpose of this diploma project is to develop the concept and architecture of the distribution center, which will ensure the optimization of logistics processes. The project is aimed at improving the efficiency of storage, processing and delivery of goods, as well as minimizing the cost and time to perform operations.

To achieve these goals, an integrated approach will be used, including theoretical research, analysis of practical cases, computer modeling and economic analysis. Particular attention will be paid to the use of modern information technologies to automate logistics processes.

The implementation of the solutions proposed in the diploma project will increase the competitiveness of enterprises in the market by optimizing logistics processes. The development of an efficient distribution center is an important step towards creating a sustainable and adaptive logistics system capable of responding quickly to changing market conditions and customer demands.

**Keywords: *distribution center, refrigerant, storage chambers, cooler, compressor, condenser.***

					<i>00 ДП.142.008.019.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Abstract</i>	<i>Літера</i>	<i>Арк</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Макаренко О.В.</i>						5	97
<i>Перевірив</i>	<i>Мирошник М.М.</i>							
<i>Реценз</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>	<i>Петренко В.П.</i>					<b>НУХТ</b>		

## Зміст

ВСТУП.....	7
1.Технологічна схема холодильної обробки продукції розподільчого центру.....	9
2.Об'ємно-планувальне рішення розподільчого центру .....	15
3.Розрахунок ізоляційних конструкцій .....	26
4.Розрахунок теплонадходжень .....	43
5.Визначення навантажень обладнання .....	51
6.Вибір розрахункового режиму .....	53
7.Тепломасообмінні апарати: .....	58
8.Допоміжне обладнання холодильної установки .....	65
9.Насоси та трубопроводи .....	68
10.Розрахунок економічних показників .....	76
11.Охорона праці .....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	96

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		6





# 1. Технологічна схема холодильної обробки продукції розподільчого центру

Приміщення розподільчого центру на 10000т. який знаходиться в місті Київ. Місткість камер зберігання відповідно:

1. Солодковершкове масло – 2000т.
2. Тверді сири – 1000т.
3. Свинина у напівтушах – 4000т.
4. Консерви – 3000т.

Холодопостачання забезпечується власним холодильним компресорним цехом, де встановлені аміачні холодильні установки. Вся продукція доставляється до холодильника рефрижераторами, а розвантаження виконується за допомогою електрокарів.

## 1.1) Солодковершкове масло

Солодковершкове масло, фасоване у вигляді брусків, перед зберіганням заморожують при температурі -18 °С протягом 2 діб.

Термін зберігання такого масла при температурі -12 °С не повинен перевищувати 5 діб у пергаменті або 15 діб у кашированій фользі.

Зберігання масла залежить від його виду, способу вироблення, упаковки та умов зберігання. Масло зберігають складськими партіями (марками), кожену партію складають у окремий штабель за видами та сортами.

Відносну вологість повітря в камері зберігання масла на холодильнику підтримують у межах 85–90 % і контролюють один раз на декаду, а температуру повітря в камері вимірюють двічі на добу.

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
						9
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

## 1.2) Тверді сири

Міжнародний інститут холоду рекомендує зберігати тверді сири при температурі 2 °С, а сири типу голландського — при 0-5 °С з відносною вологістю повітря 90 %. За рекомендаціями Руцького А.В., оптимальною є температура зберігання, близька до криоскопічної -3 °С, при якій сповільнюються мікробіологічні та біохімічні процеси, і структура сиру добре зберігається. У таких умовах втрати маси знижуються в 2-3 рази, а термін зберігання збільшується до 5-6 місяців. Сири у тарі (ящиках, барабанах) складають партіями у штабелі, між рядами прокладають рейки або складають у пакети на піддонах. Між штабелями ящиків чи барабанів залишають прохід завширшки 0,5 м.

Технологи ретельно контролюють якість сирів (смак, запах, консистенцію, стан поверхні) з такою періодичністю: при температурі 0-4 °С — кожні 7 діб, при температурі -4...0 °С — кожні 10 діб. Під час зберігання швейцарського сиру в штабелях головки перевертають при температурі 0-4 °С через 8-10 діб, а при -4...0 °С — один раз на місяць.

У процесі зберігання товарознавці холодильника постійно контролюють температурно-вологісний режим: температуру повітря в камері перевіряють не менше двічі на добу, а відносну вологість — один раз на добу. Для контролю температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в камерах зберігання сирів використовують дистанційні автоматичні прилади. Коливання температури допускається лише під час завантаження і вивантаження сирів: при завантаженості камери від 20 до 50 % включно — на 1 °С, понад 50 % — на 2 °С.

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
						10
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		





вміст одного ящика – 26кг, висота одного палет місця складає  
 $(144+150+1257)+(144+150+1257)+(144+1257)=4503\text{мм}$

Сири брусками надходить в ящиках (600x400x250) на євро піддонах при температурі  $-2^{\circ}\text{C}$ , що в свою чергу розташовуються на палетних стелажах декількома поверхами. Кількість ящиків по довжині піддону – 2,2 ящика по ширині піддону та 4 по висоті, в 4 яруси. Вміст одного ящика – 35кг(8 брусів Голандського сиру), висота одного палет місця складає:  
 $(1000+144+100)+(1000+144+100)+(1000+144+100)+(1000+144)=4876\text{мм}$ .

Свинини у напівтушах до проєктованого холодильника надходить у стійкових піддонах при температурі  $-18^{\circ}\text{C}$ , в яких потім і зберігається, розміри піддона 1240x1840x1250 що розташовуються один над одним в 4 поверхи  $1250+1250+1250+1250=5000\text{мм}$ . В одному піддоні поміщається свинини на 2000кг.

Консерви надходять у гофрованих картонних ящиках (380x228x258) при температурі  $0^{\circ}\text{C}$ , на євро піддонах з розташуванням по 3 ящики в довжину піддона, 3 в ширину та по 4 у висоту на палетних стелажах у 4 яруси,  
 $(144+100+1032)+(144+100+1032)+(144+100+1032)+(144+1032)=5004\text{м}$   
вміст одного ящика – 25кг

Вид продукту і тари	Зовнішні розміри тари, мм	Маса одного пакету, кг	Кількість ящиків в пакеті, шт	Висота пакету з урахуванням висоти піддону, мм
Солодковершкове масло в картонних ящиках	254x254x419	900	36	1401
Твердий сир в картонних ящиках	600x400x250	560	16	1144
Свинина в напівтушах	1240x1840x1250	2000	–	1250
Консерви в картонних ящиках	380x228x258	936	36	1176

Табл.1.1. Характеристика пакетів та спосіб їх укладання

### 1.6) Параметри холодильних камер:

Продукт	Температура зберігання не вище, °С	Відносна вологість ф, %	Місткість камер, т	Тривалість зберігання
Солодковершкове масло	- 18	85...90	1000	3-12 міс.
Твердий сир	-2	75...78	1000	5-6 міс.
Свинина у напівтушах	- 18	92...98	1500	12 міс.
Консерви	15	<75	1500	6-12 міс.

Таблиця 1.6.

### 1.7) Домороження продукту

У випадку, якщо продукт потрапив до холодильника вище температури зберігання, використовують спеціальні камери домороження з такими параметрами:

Продукт	Температура в камері, °С	Відносна вологість ф, %	Швидкість повітря, м/с
Солодковершкове масло	- 35	85...90	2...5
Свинина у напівтушах	- 35	95...100	2...5

Таблиця 1.7.

В камерах зберігання продукція складається стеляжно, на фронтальних стелажах марки «КиївМЕТсервіс» висота однієї секції стелажу – до 2.1 м, глибина рами 1,1 м., навантаження на ярус до 5т. Вантажна висота 6м, мінімальна відстань між стелажими - 3,2 м.

## 2. Об'ємно-планувальне рішення розподільчого центру

Об'ємно-планувальне рішення розподільчого центру є важливим етапом проектування, який впливає на ефективність роботи всього об'єкта. В цьому розділі розглядаються основні принципи планування, розташування приміщень, зонування та функціональні взаємозв'язки між окремими частинами центру.

### 2.1) Основні принципи планування

При плануванні розподільчого центру враховуються наступні принципи:

- Рациональне використання простору: Максимальне використання доступної площі для зберігання товарів та забезпечення зручного доступу до них.
- Гнучкість і модульність: Забезпечення можливості швидкої реорганізації приміщень та зон у разі зміни обсягів чи типів товарів.
- Ефективність логістики: Оптимізація шляхів переміщення товарів, мінімізація часу на завантаження та розвантаження, а також внутрішньої обробки вантажів.
- Безпека та ергономіка: Забезпечення безпечних умов праці для співробітників, а також зручність і простота в експлуатації.

### 2.2) Зонування розподільчого центру

Розподільчий центр поділяється на кілька функціональних зон, кожна з яких виконує свою роль в логістичному процесі:

- Зона приймання вантажів: Розташовується на в'їзді до центру і призначена для приймання та первинної обробки товарів.

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		15

- Складська зона: Основна площа, призначена для зберігання товарів. Може бути розділена на секції в залежності від типу товарів, умов зберігання, оборотності тощо.
- Експедиційна зона: Призначена для підготовки товарів до відправлення, включає зони завантаження та розвантаження транспортних засобів.
- Службові приміщення: Офіси, кімнати відпочинку, санвузли та інші приміщення для персоналу.

### **2.3) Взаємозв'язок між зонами**

Розташування зон у розподільчому центрі повинно забезпечувати логічну та ефективну послідовність операцій:

1. Приймання товарів: Товари надходять до зони приймання, де вони перевіряються і сортуються.
2. Переміщення до складської зони: Після обробки товари переміщуються до відповідних складських зон для зберігання.
3. Комплектування замовлень: Зі складської зони товари надходять до зони комплектування замовлень, де вони збираються відповідно до замовлень клієнтів.
4. Підготовка до відправлення: Зібрані замовлення переміщуються до експедиційної зони для пакування і завантаження на транспортні засоби.

### **2.4) Розташування і параметри приміщень**

Для оптимізації роботи розподільчого центру необхідно враховувати розташування і параметри приміщень:

- Висота стелажів і полиць: Має відповідати типу товарів та використовуваній техніці для завантаження і розвантаження.

					<i>00 ДП.142.008.019.ПЗ</i>	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		<b>16</b>

- Ширина проходів: Повинна забезпечувати зручність переміщення персоналу та техніки.
- Вентиляція та освітлення: Всі приміщення повинні мати належне освітлення та вентиляцію для забезпечення комфортних умов праці.
- Температурний режим: Для товарів, що потребують особливих умов зберігання, слід передбачити відповідні температурні зони.

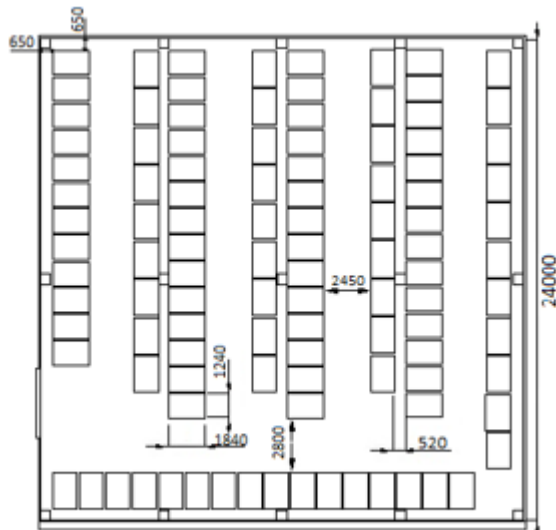
## 2.6) План холодильника

Холодильник проектується за каркасною схемою з самонесучими залізобетонними стінами. Навантаження від покриття та підвісного обладнання передається на каркас, складений зі збірних залізобетонних елементів. Всі охолоджувані приміщення холодильника розташовуються в одному контурі. Сітка колон холодильника становить 6x12 м. Висота одного поверху холодильника складає 6 м (відстань від підлоги до балки).

Основні розміри та місткості камер холодильника визначаються на основі розрахунків з реальних даних.

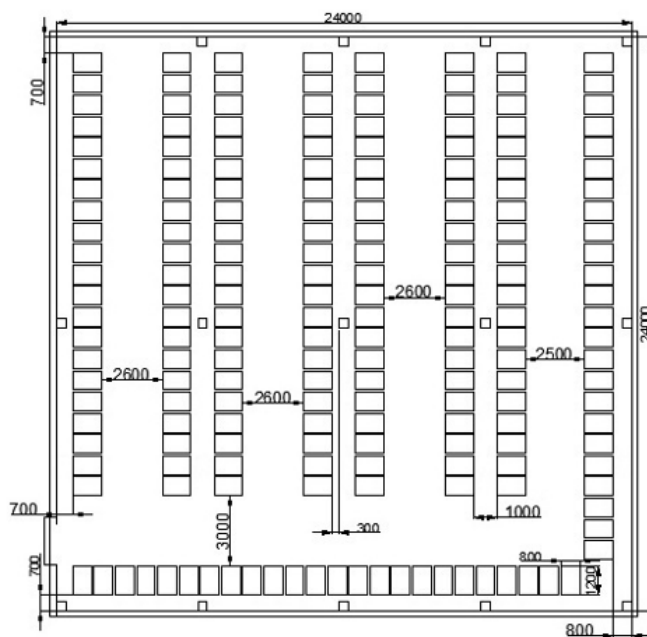
Нанесемо на план холодильника схематичне розміщення стоїчних піддонів у камерах зберігання свинини. Приймаю камеру розміром 24x24. При такому розташуванні, на стелажах 4 яруси, в одну камеру поміститься 432 палет. Відстань між сусідніми піддонами 10 см.

					<i>00 ДП.142.008.019.ПЗ</i>	<i>Арк</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>17</b>



*Рис.2.6. Розміщення піддонів у камерах зберігання свинини 24х24м.*

Нанесемо на план холодильника схематичне розміщення піддонів з ящиками у камерах зберігання сиру, консерв та масла. Камери 24х24м. На камеру припадає 195 місць.



*Рис.2.7. Розміщення піддонів у камерах зберігання сиру та масла 24х24м.*

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

18

На камеру припадає 195 місць, визначаємо кількість камер 24\*24 необхідну для зберігання продукції.

Кількість палет/місць (п/м) для солодковершкового масла

$$(2000 * 10^3)/900 = 2222(\text{п} / \text{м}) / 585 = 8 \text{ камер}$$

Кількість п/м для твердого сиру

$$\frac{1000 * 10^3}{560} = 1785(\text{п/м})/780 = 6 \text{ камер}$$

Кількість п/м для свинини в напівтушах

$$\frac{4000 * 10^3}{2000} = 2000(\text{п/м})/432 = 4 \text{ камери}$$

Кількість п/м для консерв

$$\frac{3000 * 10^3}{936} = 3205(\text{п/м})/780 = 4 \text{ камери}$$

Результати вносимо до таблиці:

Продукт	Маса (т)	Маса 1 палета (кг)	Розмір камери (м)	Кількість камер (шт)
Солодковершкове масло	2000	900	24*24	8
Твердий сир	1000	560		6
Свинина в напівтушах	4000	2000		4
Консерви	3000	936		4

Таблиця 2.6.

Для зберігання потрібно 22 камери розміром 24\*24 м.

Також має бути розміщені камери заморозки для 6% від маси замороженого продукту нехай це буде 2 камери 24\*24м.

## 2.7) План розподільчого центру

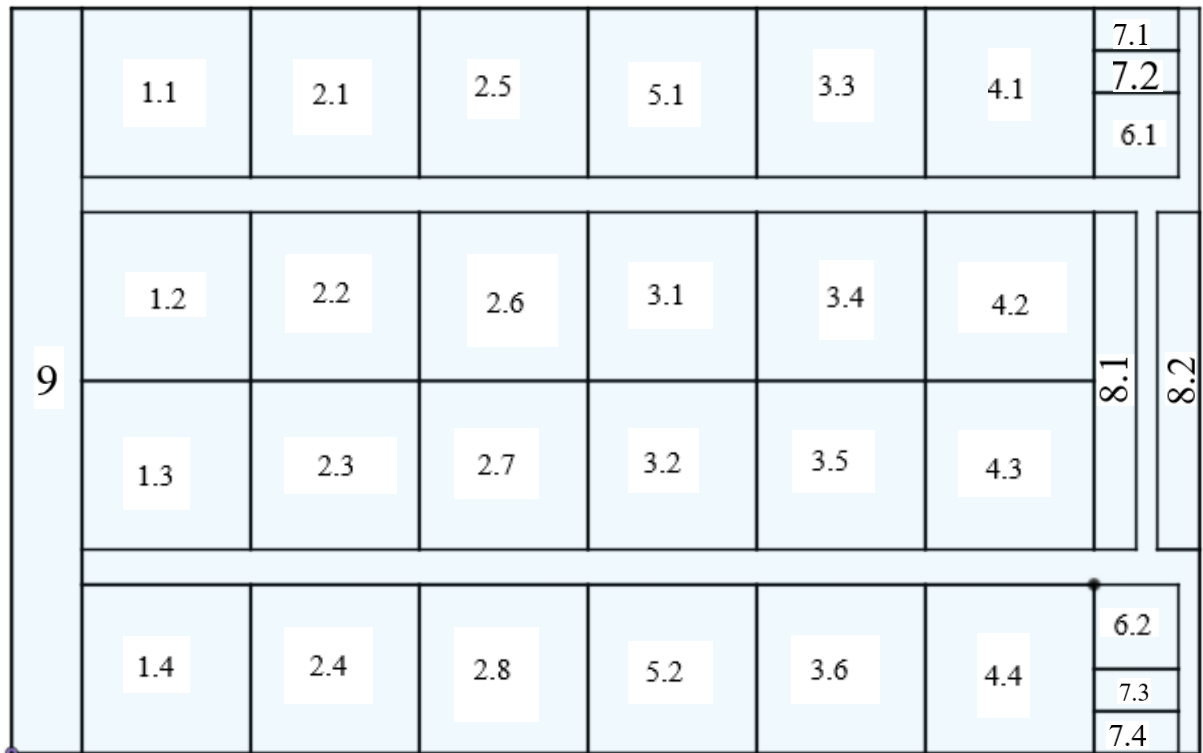


Рис.2.7. План-схема розподільчого центру

- 1.1-1.4 — камери зберігання свинини в напівтушах
- 2.1-2.8 — камери зберігання солодковершкового масла
- 3.1-3.6 — камери зберігання твердого сиру
- 4.1-4.4 — камери зберігання консерв
- 5.1-5.2 — камери доморозки
- 6.1-6.2 — камери дефектних товарів
- 7.1-7.4 — службові приміщення
- 8.1-8.2 — офісні приміщення
- 9 — автомобільна платформа

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

20

## 2.8) Розрахунок площі розподільчого центру

Площа холодильної камери 24\*24м дорівнює 576 м<sup>2</sup>

В нас 24 такі камери, а це означає що загальна площа холодильних камер дорівнює 13824 м<sup>2</sup>

Площа всіх зон пересування персоналу дорівнює 1878 м<sup>2</sup>

Площа камер дефектних товарів дорівнює 288 м<sup>2</sup>

Площа службових приміщень дорівнює 288 м<sup>2</sup>

Площа зайнята офісними приміщеннями дорівнює 1152 м<sup>2</sup>

Площа автомобільної платформи дорівнює 1060 м<sup>2</sup>

Загальна площа розподільчого центру дорівнює 17914 м<sup>2</sup>

## 2.9) Опис будівельних конструкцій

Конструкції будівель холодильних приміщень повинні забезпечувати підтримку стабільного температурно-вологісного режиму в камерах, відповідати санітарним стандартам і гарантувати необхідну довговічність та вогнестійкість споруди. Несучі елементи холодильника складаються із залізобетонних колон висотою 7,5 метрів (до нижньої частини несучої конструкції) і сталевих кроквяних ферм з прольотом 24 метри. Стіни та стеля споруди виготовлені з «сендвіч»-панелей, які мають утеплювач з пінополіуретану.

Фундамент під залізобетонні колони виготовляють із монолітного залізобетону. Він включає підколінник зі спеціальним отвором (стаканом), що забезпечує надійну установку колон.

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		21

Фундамент під залізобетонні колони виготовляється з монолітного залізобетону і має підколінник із отвором (стаканом) для установки колон. Після установки колон ці отвори заливають бетоном класу В20. Для виготовлення самих фундаментів використовують бетони класів В10 і В15. Під монолітні фундаменти укладається бетонна підготовка товщиною 100 мм з бетону класу В7.5, а для збірних фундаментів застосовується піщана підготовка тієї ж товщини.

Стіни промислової будівлі спираються на фундаментні балки, які встановлюються на підколонні фундаменти. Товщина фундаментних балок складає 450 мм для кроку колон до 6 метрів та 600 мм для кроку до 12 метрів. Після монтажу збірних балок на своє місце, зазори між ними заповнюють бетонним розчином. Фундаментні балки можуть мати різні перерізи: таврові, трапецієвидні або прямокутні.

Фундаментні балки поділяються на зовнішні та внутрішні, які встановлюються на спеціальні бетонні стовпчики на обрізі фундаменту або безпосередньо на фундамент. В умовах ґрунтів, що піддаються деформаціям від морозного пучення, можуть виникати значні деформації фундаментних балок. Для запобігання цьому і для попередження промерзання, балки з боків і знизу засипають шлаком. Поверх балок укладається гідроізоляція з цементно-піщаного розчину або двох шарів рулонного матеріалу на мастиці. По поверхні землі уздовж фундаментних балок облаштовують вимощення або тротуар.

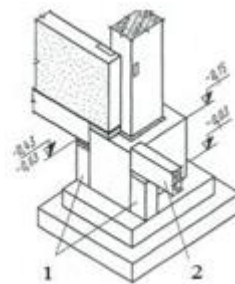


Рис.2.9. Фундаментна балка

						00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата			22

Колона є вертикальною стержневою несучою конструкцією (опорою), яка приймає на себе навантаження від перекриттів і покриттів та передає їх на фундамент. Колони мають постійний перетин розміром 400×400 мм.

Крайні колони завжди обладнані односторонньою консоллю, тоді як середні колони мають двосторонні консолі. Якщо відстань між колонами основного каркасу перевищує граничну довжину стінових панелей, по лінії зовнішніх поздовжніх стін встановлюються додаткові фахверкові колони. Ці колони підтримують лише стінові панелі та сприймають вітрове навантаження; навантаження від конструкцій покриттів і кранів на них не передається.

Для з'єднання колон між собою у вертикальному напрямку, а також для їх зв'язку з горизонтальними елементами каркасу (оболонками, фермами, балками, ригелями, прогонами, перемичками), у колонах передбачені спеціальні кріпильні елементи. У залізобетонних колонах ці елементи відомі як закладні деталі. Основний спосіб кріплення до цих деталей — електрозварювання, хоча також можливі роз'ємні болтові з'єднання.

При монтажі колон їх встановлюють в спеціальні гнізда за допомогою підкладок, клинків або кондуктора. Після цього проводиться вирівнювання колон, а зазори заповнюються бетоном марки 200 на дрібному заповнювачі. Колони закріплюються у гніздах фундаменту таким чином, щоб глибина замурування була не менше, ніж найбільший розмір поперечного січення колони плюс 5 см, і не менше 20 діаметрів повздовжньої робочої арматури колони. Під торцем колони виконується бетонна заливка товщиною 50 мм.

Зазори між стінками гнізда і гранями колони повинні бути 75 мм у верхній частині і 50 мм у нижній. Товщина стінок гнізда приймається не менше 200 мм.

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		23

Несучі конструкції покриття складаються зі сталевих ферм з паралельними поясами, довжиною 24 метри, з'єднаних з колонами болтами.

Зовнішні стіни, перегородки та стеля холодильних камер виготовлені з «сендвіч»-панелей з пінополіуретановим утеплювачем.

Підлога холодильника повинна мати достатню міцність, мале пилевиділення, не слизьку поверхню, добре митися, витримувати навантаження від вантажів і транспортних засобів

Промислові наливні підлоги є незамінними для виробничих підприємств, які потребують високої точності та якості збірки, працюють з хімічно активними речовинами та мають підвищені вимоги до чистоти приміщень. Такі підлоги забезпечують безпильну поверхню, легко очищуються, стійкі до дії розчинників, лугів та кислот, мають діелектричні властивості і можуть бути виконані практично в будь-якій кольоровій гамі. Ці підлоги відмінно зарекомендували себе на найбільш інтенсивних виробничих ділянках.

Монолітне покриття наливних підлог може мати гладку або шорстку поверхню і може бути виготовлене як в діелектричному, так і в антистатичному варіанті, з можливістю зниження поверхневого опору до  $10^6$  Ом. Композиція підлоги затвердіває приблизно за 60 хвилин, що дозволяє пересування людей, а повна полімеризація відбувається протягом 3 діб, після чого покриття готове до повноцінної експлуатації.

Для огороження машинного відділення використовується матеріал з вогнетривкістю II за стандартом СНиП 2.11.02-87 "Холодильники", аналогом якого є цегла товщиною 380 мм. У проекті машинного відділення передбачено каркасну схему з самонесучими стінами, де навантаження передається від покриття на каркас, складений зі збірних елементів, таких як колони та балки. Самонесучі стіни каркасних будівель опираються на фундаментні балки, які, в свою чергу, спираються на фундаменти під колони.

										Арк
										24
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	00 ДП.142.008.019.ПЗ					

Сітка колон має розмір 6x12 м і висоту 6 м. Фундамент будівлі машинного залу призначений для сприйняття всіх навантажень від будівельних конструкцій та обладнання та передачі їх на ґрунт. Самонесучі зовнішні стіни виконані з цегли глиняної повнотілої товщиною 380 мм і встановлені на фундаменті балки. Фундамент закладається на глибині нижче рівня промерзання ґрунту. Для забезпечення стійкості конструкцій у випадку високої імовірності вибуху аміаку передбачено встановлення вікон. Двері відкриваються у бік виходу.

Підлога даного відділення є рівною, неслизькою і виконана з вогнетривкого матеріалу. Непрохідні канали та люки зачиняються під рівнем з підлогою з'ємними металевими рифленими листами. Стіни машинного відділення, холодильне обладнання та трубопроводи фарбуються в відповідності з діючими нормативами щодо раціонального фарбування поверхонь виробничих приміщень та технологічного обладнання промислових підприємств.

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		25

### 3. Розрахунок ізоляційних конструкцій

Теплоізоляція — це комплекс заходів та матеріалів, що використовуються для зменшення теплового потоку між об'єктами з різними температурами. Основна мета теплоізоляції — знизити втрати або прирости тепла, що дозволяє підтримувати бажану температуру в будівлях, обладнанні чи транспортних засобах, зменшуючи енергоспоживання і підвищуючи ефективність використання енергії.

Теплоізоляція є критично важливою складовою в будівництві, промисловості та багатьох інших галузях, де важливо знизити втрати тепла та забезпечити ефективне використання енергії. Використання ефективних теплоізоляційних матеріалів та систем дозволяє зменшити витрати на енергію, підвищити комфорт і безпеку, а також зберегти ресурси для майбутніх поколінь.

Теплоізоляція камер і службових приміщень забезпечується використанням сендвіч-панелей з пінополіуретановим утеплювачем. Аналогічно, стеля також виконана з таких панелей. Для визначення оптимальної товщини теплоізоляції зовнішніх стін необхідно врахувати кліматичні умови місцевості, де проводиться будівництво.

Місто	Розрахункова температура (°C)			Відносна вологість повітря (%)	
	літня	зимова	середня	літня	зимова
Київ	35	-24	9	42	82

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

26

### 3.1) Стіни

Ізоляція виконана з сендвіч-панелей.

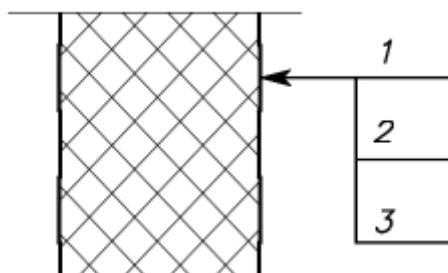


Рис.3.1. Ізоляційна сендвіч-панель

1) Оцинкован сталевая жесьть:

$$\delta_{жес} = 0,00063 \text{ (м)}$$

$$\lambda_{жес} = 0,55 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}$$

$$R_{жес} = 0,00001 \text{ ((м}^2 \cdot \text{К)/Вт)}$$

2) Теплоізоляція з вспіненого поліуретану:

$$\lambda_{із} = 0,025 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}$$

3) Оцинкован сталевая жесьть:

$$\delta_{жес} = 0,00063 \text{ (м)}$$

$$\lambda_{жес} = 0,55 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}$$

$$R_{жес} = 0,00001 \text{ ((м}^2 \cdot \text{К)/Вт)}$$

Сумарний термічний опір:

$$\sum R_{сум.мор.} = 2 \cdot R_{жесті} = 2 \cdot 0,00001 = 0,00002 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Потрібна товщина теплоізоляції:

$$\delta_{із.}^{мп.} = \lambda_{із.} \times \left[ \frac{1}{K_0^{мп.}} - \left( \frac{1}{\alpha_{зов.}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн.}} \right) \right]$$

### 3.2) Стеля

Розрахунок і конструкція аналогічно стінам:

$$K_0^{mp} = 0,20 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{зов.} = 23 \frac{Вт}{м^2 \times К}; \alpha_{вн.мор.} = 11 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\delta_{із.}^{mp} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,20} - \left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{11} \right) \right] = 0,119 м$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 120мм як панель PU120:

$$K_0^d = \frac{1}{\left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{11} \right) + \frac{0,12}{0,025}} = 0,203 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

### 3.3) Підлога

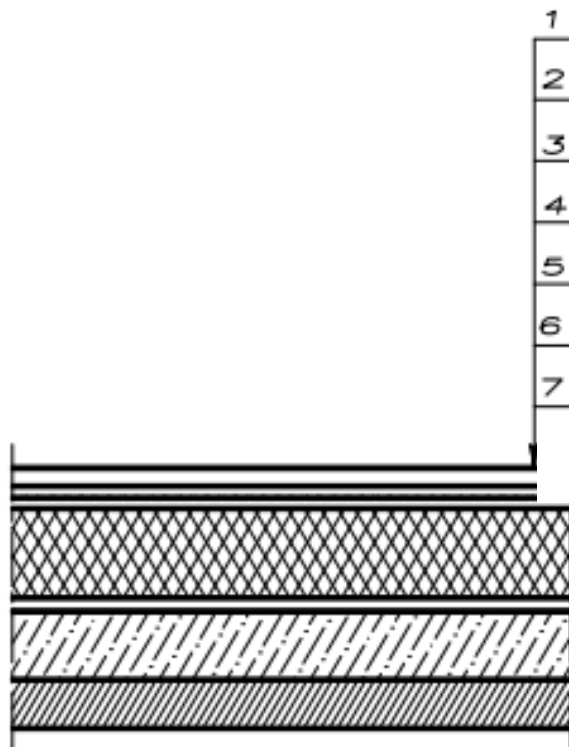


Рис.3.3. Ізоляційна підлога

1) Монолітне бетонне покриття з важкого бетону:

$$\delta_1 = 0,04 \text{ (м)}$$

$$\lambda_1 = 1,86 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}$$

$$R_1 = 0,022 \text{ ((м}^2 \cdot \text{К)/Вт)}$$

2) Стяжка армобетонна:

$$\delta_2 = 0,08 \text{ (м)}$$

$$\lambda_2 = 1,86 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}$$

$$R_2 = 0,043 \text{ ((м}^2 \cdot \text{К)/Вт)}$$

3) Пароізоляційний 1 шар пергаміна:

$$\delta_3 = 0,001 \text{ (м)}$$

$$\lambda_3 = 0,15 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}$$

$R$  – не враховуємо

4) ПСБ-С – теплоізоляція:

$$\lambda_4 = 0,05 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}$$

5) Цементно-пісчаний розчин:

$$\delta_5 = 0,025 \text{ (м)}$$

$$\lambda_5 = 0,98 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}$$

$$R_5 = 0,026 \text{ ((м}^2 \cdot \text{К)/Вт)}$$

б) Пісок ущільнений:

$$\delta_2 = 1,35 \text{ (м)}$$

$$\lambda_2 = 0,58 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}$$

$$R_2 = 2,338 \text{ ((м}^2 \cdot \text{К)/Вт)}$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Сумарний термічний опір:

$$\sum R = 2,43 \frac{m^2 \times K}{Вт}$$

$$K_0^{mp.} = 0,21 \frac{Вт}{m^2 \times K}$$

$$\alpha_{вн.} = 7 \frac{Вт}{m^2 \times K}$$

Потрібна товщина теплоізоляції:

$$\delta_{із.}^{mp.} = \lambda_{із.} \times \left[ \frac{1}{K_0^{mp.}} - \left( \frac{1}{\alpha_{зов.}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \right]$$

$$\delta_{із.}^{mp.} = 0,05 \times \left[ \frac{1}{0,21} - \left( \frac{1}{7} + 2,43 \right) \right] = 0,109 м$$

Приймаємо товщину шару теплоізоляції за 120мм:

$$K_0^д = \frac{1}{\left( \frac{1}{7} + 2,43 \right) + \frac{0,12}{0,05}} = 0,2 \frac{Вт}{m^2 \times K}$$

### 3.4) Камери зберігання солодковершкового масла

Температура в камері  $t_{кам} = -12^{\circ}C$ ; Безпосереднє охолодження.

Зовнішня стінка камери зберігання солодковершкового масла:

$$K_0^{mp.} = 0,23 \frac{Вт}{m^2 \times K}$$

$$\alpha_{зов.} = 23 \frac{Вт}{m^2 \times K}$$

$$\alpha_{вн.мор.} = 9 \frac{Вт}{m^2 \times K}$$

$$\delta_{із.}^{mp.} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,23} - \left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,105 м$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

30

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 120мм як панель PU120:

$$K_0^D = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9}\right) + \frac{0,120}{0,025}} = 0,203 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Стінка між камерою і камерою зберігання солодковершкового масла  
де  $t_{\text{кам}} = -12^{\circ}\text{C}$ ;

$$K_0^{mp} = 0,58 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{\text{зов.}} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{\text{вн.мор.}} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\delta_{\text{із.}}^{mp} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,58} - \left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,038 м$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 40мм як панель PU40:

$$K_0^D = \frac{1}{\left(\frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9}\right) + \frac{0,040}{0,025}} = 0,54 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Стіна між камерою та коридором:

$$K_0^{mp} = 0,22 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{\text{зов.}} = 23 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{\text{вн.мор.}} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\delta_{\text{із.}}^{mp} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,22} - \left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,11 м$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 120мм як PU120

$$K_0^D = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9}\right) + \frac{0,12}{0,025}} = 0,202 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

### 3.5) Камера зберігання твердих сирів

Температура в камері  $t_{кам} = -2^{\circ}C$ ;

Зовнішня стінка камери зберігання твердих сирів:

$$K_0^{mp} = 0,33 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{зов.} = 23 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{вн.мор.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\delta_{із.}^{mp.} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,33} - \left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,072 м$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 80мм як панель PU80:

$$K_0^D = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9}\right) + \frac{0,08}{0,025}} = 0,256 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Стінка між камерою та камерою зберігання консерв:

$$K_0^{mp} = 0,58 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{зов.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{вн.мор.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

$$\delta_{із.}^{mp.} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,58} - \left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,038 м$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 40мм як панель PU40:

$$K_0^D = \frac{1}{\left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,040}{0,025}} = 0,548 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Стінка між камерою та коридором:

$$K_0^{mp} = 0,28 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{зов.} = 23 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{вн.мор.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\delta_{із.}^{mp.} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,28} - \left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,085 м$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 100мм як PU100

$$K_0^D = \frac{1}{\left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,1}{0,025}} = 0,241 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Стінка між камерою та камерою зберігання солодковершкового масла

$t_{кам} = -12^{\circ}C$ ;

$$K_0^{mp} = 0,41 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{зов.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{вн.мор.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

33

$$\delta_{із.}^{mp.} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,41} - \left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,055 м$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 60мм як PU60

$$K_0^Д = \frac{1}{\left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,060}{0,025}} = 0,381 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

### 3.6) Камера зберігання свинини в напівтушах

Температура в камері  $t_{кам} = -18^{\circ}C$ ; Безпосереднє охолодження.

Зовнішня стінка камери зберігання свинини в напівтушах:

$$K_0^{mp} = 0,21 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{зов.} = 23 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{вн.мор.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\delta_{із.}^{mp.} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,21} - \left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,115 м$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 120мм як PU120:

$$K_0^Д = \frac{1}{\left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,120}{0,025}} = 0,203 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Стінка між камерою та камерою зберігання свинини в напівтушах

$t_{кам} = -18^{\circ}C$ :

$$K_0^{mp} = 0,58 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{зов.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

$$\alpha_{\text{вн.мор.}} = 9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

$$\delta_{\text{із.}}^{\text{мп.}} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,58} - \left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,038 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 40мм як панель PU40:

$$K_0^{\text{Д}} = \frac{1}{\left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,040}{0,025}} = 0,54 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Стінка між камерою та коридором:

$$K_0^{\text{мп}} = 0,22 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

$$\alpha_{\text{зов.}} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

$$\alpha_{\text{вн.мор.}} = 9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

$$\delta_{\text{із.}}^{\text{мп.}} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,22} - \left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,11 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 120мм як PU120:

$$K_0^{\text{Д}} = \frac{1}{\left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,12}{0,025}} = 0,202 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

### 3.7) Камера зберігання консерв

Температура в камері зберігання консерв  $t_{\text{кам}} = 0^\circ\text{C}$ ;

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

35

Зовнішня стінка камери зберігання:

$$K_0^{mp} = 0,29 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{зоб.} = 23 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{вн.мор.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\delta_{із.}^{mp} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,29} - \left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,082 м$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 100мм як PU100:

$$K_0^A = \frac{1}{\left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,1}{0,025}} = 0,241 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Стінка між камерою та камерою дефектних товарів:

$$K_0^{mp} = 0,33 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{зоб.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{вн.мор.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\delta_{із.}^{mp} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,33} - \left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,07 м$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 80мм як PU80:

$$K_0^A = \frac{1}{\left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,08}{0,025}} = 0,292 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Стінка між камерою та камерою зберігання твердих сирів

$$t_{кам} = -2^{\circ}C;$$

$$K_0^{mp} = 0,58 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		36

$$\alpha_{\text{зов.}} = 9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

$$\alpha_{\text{ен.мор.}} = 9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

$$\delta_{\text{із.}}^{\text{мп.}} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,58} - \left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,038 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 40мм як PU40:

$$K_0^{\text{П}} = \frac{1}{\left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,040}{0,025}} = 0,548 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Стінка між камерою та коридором:

$$K_0^{\text{мп}} = 0,28 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

$$\alpha_{\text{зов.}} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

$$\alpha_{\text{ен.мор.}} = 9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

$$\delta_{\text{із.}}^{\text{мп.}} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,28} - \left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,085 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 100мм як PU100:

$$K_0^{\text{П}} = \frac{1}{\left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,1}{0,025}} = 0,241 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Стінка між камерою та камерою зберігання консерв  $t_{\text{кам}} = 0^\circ\text{C}$ :

$$K_0^{\text{мп}} = 0,58 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

$$\alpha_{\text{зов.}} = 9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

$$\alpha_{\text{ен.мор.}} = 9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

$$\delta_{із.}^{мп.} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,58} - \left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,038,1$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 40мм як PU40:

$$K_0^Д = \frac{1}{\left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,040}{0,025}} = 0,548 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

### 3.8) Камера зберігання дефектних товарів

Температура в камері зберігання дефектних товарів  $t_{кам} = -18^{\circ}C$ ;

Стінка між камерою та камерою зберігання консерв  $t_{кам} = 0^{\circ}C$ :

$$K_0^{мп.} = 0,33 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{зов.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{вн.мор.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\delta_{із.}^{мп.} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,58} - \left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,038,1$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 40мм як PU40:

$$K_0^Д = \frac{1}{\left( \frac{1}{9} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,04}{0,025}} = 0,54 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Зовнішня стінка камери зберігання:

$$K_0^{мп.} = 0,3 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{зов.} = 23 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{вн.мор.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\delta_{із.}^{мп.} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,3} - \left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,079,1$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 80мм як PU80:

$$K_0^A = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9}\right) + \frac{0,08}{0,025}} = 0,256 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

Стінка між камерою та коридором:

$$K_0^{mp} = 0,22 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{зов.} = 23 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\alpha_{вн.мор.} = 9 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

$$\delta_{із.}^{mp} = 0,025 \times \left[ \frac{1}{0,22} - \left( \frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,11 м$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару 120мм як PU120:

$$K_0^A = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + 0,00002 + \frac{1}{9}\right) + \frac{0,12}{0,025}} = 0,202 \frac{Вт}{м^2 \times К}$$

										00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата							39

Огородження	$t_{в},$ °C	$\alpha_{з},$ $\frac{Вт}{м^2 * К}$	$\alpha_{в},$ $\frac{Вт}{м^2 * К}$	Товщина теплоізоляційного шару, мм		Коефіцієнт теплопередачі, $\frac{Вт}{м^2 * К}$	
				$\delta_{із}^{тр}$	$\delta_{із}^д$	$K_0$	$K_0^д$
Зов. Стінка камери зберігання	-2,0	23	9	72	80	0,33	0,256
Зов. Стінка камери зберігання	-18	23	9	115	120	0,21	0,203
Зов. Стінка камери зберігання	-12	23	9	105	120	0,23	0,203
Зов. Стінка камери зберігання	0	23	9	82	100	0,29	0,241
Вн. Стінка камери зберігання	-18	23	9	80	80	0,21	0,21
Вн. Стінка камери зберігання	-2	23	9	85	100	0,28	0,24
Вн. Перегородка -2°C/2°C	-2	9	9	38	40	0,58	0,54
Вн. Перегородка -18°C/-18°C	-18	9	9	38	40	0,58	0,54
Вн. Перегородка -18°C/18°C	-18	8	9	113	120	0,21	0,203
Вн. Перегородка -18°C/-2°C	-18	9	9	38	40	0,33	0,54
Вн. Перегородка -18°C/-12°C	-18	9	9	55	60	0,41	0,38
Вн. Перегородка -12°C/-2°C	-12	9	9	55	60	0,41	0,381
Вн. Перегородка -12°C/-12°C	-12	9	9	38	40	0,58	0,54
Покриття	-35	23	11	119	120	0,2	0,203
Підлога	-35		7	109	120	0,21	0,2

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

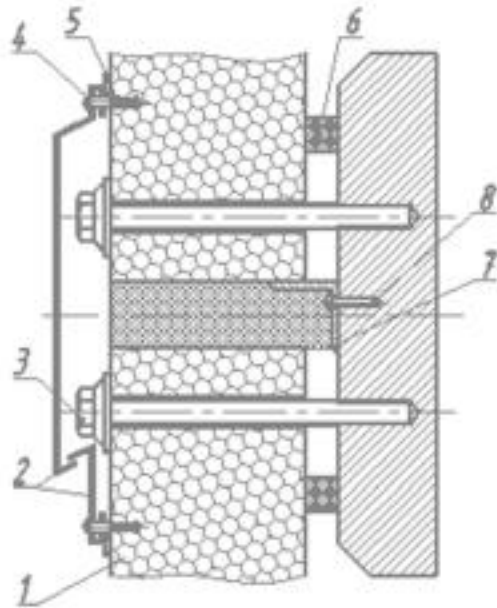
00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

40

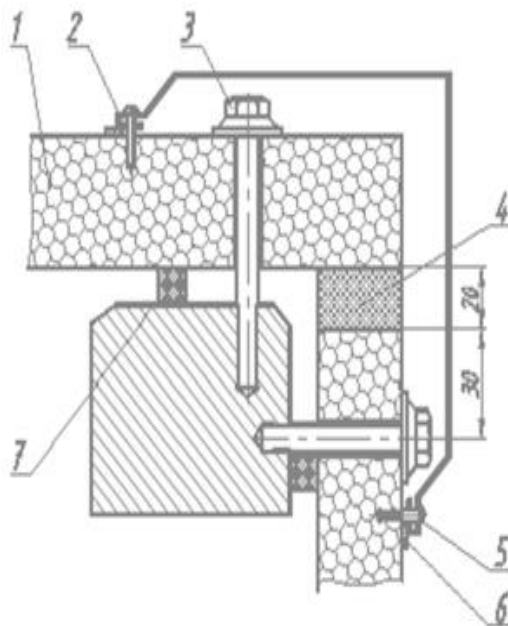


Кріплення панелей до залізобетонної конструкції:



- 1) Стінова панель
- 2) Нащільник
- 3) Самонарізний болт
- 4) Саморіз
- 5) Ізоляція силіконова
- 6) Ущільнювач
- 7) Підтримуючий кутник

Кутовий варіант кріплення панелей:



- 1) Стінова панель
- 2) Нащільник
- 3) Самонарізний болт
- 4) Теплоізоляція
- 5) Саморіз
- 6) Герметик силіконовий
- 7) Ущільнювач

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

42

#### 4. Розрахунок теплонадходжень – до охолоджуваних приміщень

Загальна кількість теплоти, що надходить до охолоджувальних приміщень холодильника вираховується за формулою:

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

де  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5$  – надходження теплоти відповідно через огорожувальні конструкції (будівельні), продуктів при холодильному обробленні, вентиляції приміщень, експлуатації камери, продуктами під час виділення.

##### 4.1) Загороджуючі конструкції

Теплонадходження через загороджуючі будівельні конструкції:

$$Q = Q_{1т} + Q_{1с} \text{ (Вт)}$$

де  $Q_{1т}, Q_{1с}$  – відповідно надходження теплоти через стіни / простінки / перекриття / підлогу / стелю / покрівлю та сонячної радіації, Вт.

$$Q_{1т} = K_{\delta} * F * (t_з - t_в) * 10^{-3} \text{ (Вт)}$$

Визначення надходження теплоти через зовнішні стіни в камері зберігання твердого сиру

Зовнішня стінка:

$$t_{к.зб.} = -2^{\circ}\text{C};$$

$$K_{\delta} = 0,256 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}};$$

$$t_{зов.} = 34^{\circ}\text{C};$$

$$F = 18 \times 6 = 108 \text{ м}^2;$$

$$Q_{1т} = 0,25 \times 144 \times (34 - (-2)) \times 10^{-3} = 1,1 \text{ кВт};$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

43

Теплонадходження від сонячної радіації:

$$Q_{1c} = K_{\delta} \times F \times \Delta t_c \times 10^{-3} \text{кВт};$$

Теплонадходження від сендвіч панелі:

$$\Delta t_c = 3,9^{\circ}\text{C};$$

$$Q_{1c} = 0,256 \times 144 \times 3,9 \times 10^{-3} = 0,13 \text{кВт};$$

$$\theta = 0,7 \times (t_{\text{зоє.}} - t_{\text{єн.}}) = 0,7 \times (34 - (-2)) = 25,2^{\circ}\text{C};$$

Теплонадходження від підлоги:

$$Q_{1m} = 0,2 \times 432 \times (1 - (-2)) \times 10^{-3} = 0,25 \text{кВт};$$

$$\theta = 0,7 \times (t_{\text{зоє.}} - t_{\text{єн.}}) = 0,7 \times (1 - (-2)) = 2,1^{\circ}\text{C};$$

Теплонадходження від Покрівлі:

$$Q_{1m} = 0,256 \times 432 \times (34 - (-2)) \times 10^{-3} = 3,1 \text{кВт};$$

$$\theta = 0,7 \times (t_{\text{зоє.}} - t_{\text{єн.}}) = 0,7 \times (34 - (-2)) = 25,2^{\circ}\text{C};$$

$$Q_{1c} = 0,203 \times 432 \times 14,9 \times 10^{-3} = 1,2 \text{кВт};$$

Теплонадходження від стінки суміжної з камерою домороження:

$$Q_{1m} = 0,238 \times 144 \times (-35 - (-2)) \times 10^{-3} = 0 \text{кВт};$$

$$\theta = 0,6 \times (t_{\text{зоє.}} - t_{\text{єн.}}) = 0,6 \times (34 - (-2)) = -19^{\circ}\text{C};$$

Теплонадходження від стінки спільної з камерою зберігання консерв:

$$Q_{1m} = 0,54 \times 108 \times (0 - (-2)) \times 10^{-3} = 0,11 \text{кВт};$$

Розрахунки робимо аналогічно для всіх камер та записуємо в таб.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Загорожа	$\frac{\text{Вт}}{\text{К}^0, \text{М}^2 * \text{К}}$	F, М <sup>2</sup>	t <sub>з</sub> , °C	θ, °C	Q <sub>тг</sub> , кВт	Δtс, °C	Q <sub>тс</sub> , кВт	Q <sub>тоб</sub> , кВт

Таб.4

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата
-----	-----	---------	--------	------

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

44

Камери зберігання солодковершкового масла -12°C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Стінка спільна з коридором	0,26	288	5	10,8	1,01	0		1,2
Двері в коридор	0,4	6		10,8	0,04	0		0,04
Покрівля	0,2	576	34	27,6	5,2	14,9	1,7	6,9
Підлога	0,2	576	1	7,8	2,1	0		1,4
Стінка спільна з к.з. -2°C	0,38	108	-2	6	0,4	0		0,4
Стінка спільна з к.з. -18°C	0,38	144	-18	0	0	0		0
Стінка спільна з к.з. -12°C	0,54	144	-12	0	0	0		0

Камери зберігання твердого сиру -2°C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Стінка спільна з коридором	0,45	144	5	4,2	0,45	0	0	0,45
Двері в коридор	0,4	6		4,2	0,08	0		0,08
Покрівля	0,2	432	34	25,2	3,1	14,9	1,2	4,3
Підлога	0,2	432	1	2,1	0,25	0		0,2
Стінка спільна з к.з. -35°C	0,24	144	-35	-19	0	0		0
Стінка спільна з к.з. -12°C	0,38	108	-12	-7		0		
Стінка спільна з к.з. 0°C	0,54	108	0	1,2	0,11	0	0	0,11

Камери зберігання свинини в напівтушах -18°C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Стінка спільна з коридором	0,23	72	5	4,2	0,38	0		0,38
Двері в коридор	0,4	6		4,2	0,08	0		0,08
Покрівля	0,2	576	34	31,2	5,9	14,9	1,7	7,6
Підлога	0,2	576	1	11,4	2,1	0		2,1
Стінка спільна з к.з. -18°C	0,54	144	-18	0	0	0		0
Стінка спільна з к.з. -12°C	0,38	36	-12	3,6	0,07	0		0,07

Камери зберігання консерв 0°C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Стінка спільна з коридором	0,45	144	5	3	0,3	0		0,3
Двері в коридор	0,4	6		3	0,01	0		0,01
Покрівля	0,2	576	34	20,4	3,9	14,9	1,7	5,6
Підлога	0,2	576	1	0,6	0,11	0		0,11
Стінка спільна з к.з. -2°C	0,54	108	-2	-1,2	0	0		0
Стінка спільна з к.з. 0°C	0,54	144	0	0	0	0		0
Стінка спільна з к.з. -18°C	0,54	72	-18	-11	0	0	0	0

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

45

Камери доморозки -35°C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Стінка спільна з коридором	0,23	144	5	24	1,2	0		1,2
Двері в коридор	0,4	6		24	0,09	0		0,09
Покрівля	0,2	144	34	48	0,9	14,9	0,21	1,11
Підлога	0,2	144	1	21	0,5	0		0,5
Стінка спільна з к.з. -12°C	0,29	36	-12	0	0,16	0		0,16
Стінка спільна з к.з. -2°C	0,24	144	-2	19,8	1,1	0		1,1

Камери дефектних товарів -18°C								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Стінка спільна з коридором	0,23	36	5	4,2	0,16	0		0,16
Двері в коридор	0,4	6		4,2	0,05	0		0,05
Покрівля	0,2	36	34	31,2	0,37	14,9	0,1	0,47
Підлога	0,2	36	1	11,4	0,13	0		0,13
Стінка спільна з к.з. -12°C	0,38	36	-12	3,6	0,07	0		0,07

Коридори								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Покрівля	0,2	360	34	20	2,01	14,9	1	3,01
Підлога	0,2	360	1	0	0	0		0

#### 4.2) Теплонадходження від товарів при холодильній обробці

Камери зберігання солодковершкового масла:

Початкова температура товару  $t = -6 \text{ }^\circ\text{C}$

Кінцева температура товару  $t = -12 \text{ }^\circ\text{C}$

$$M_{\text{пр}} = 30 \text{ т/добу}$$

$$M_{\text{т}} = 0,2 * 30 = 6 \text{ т/добу}$$

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

$$i_1 = 40,6 \text{ КДж/кг}; i_2 = 40,6 \text{ КДж/кг}; \Delta i = 23 \text{ КДж/кг}$$

$$Q_{2\text{пр}} = 30 * 23 * (10^3/24 * 3600) = 7,9 \text{ кВт}$$

$$Q_{2\text{т}} \text{ (від тари)} \quad c_{\text{т}} = 2,3 \text{ кДж/(кг * К)};$$

$$Q_{2\text{т}} = 6 * 23 * (-6 - (-12)) * (10^3/24 * 3600) = 0,9 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = 7,9 + 0,9 = 8,8 \text{ кВт}$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата
-----	-----	---------	--------	------

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

46

Камери зберігання твердого сиру:

Початкова температура товару  $t = +10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Кінцева температура товару  $t = -2\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned}M_{\text{пр}} &= 30 \text{ т/добу} \\M_{\text{т}} &= 0,2 * 30 = 6 \text{ т/добу} \\t_1 &= +10\text{ }^{\circ}\text{C} ; t_2 = -2\text{ }^{\circ}\text{C} \\i_1 &= 47 \text{ КДж/кг}; i_2 = 14,3 \text{ КДж/кг}; \Delta i = 32,7 \text{ КДж/кг} \\Q_{2\text{пр}} &= 30 * 32,7 * (10^3/24 * 3600) = 11,2 \text{ кВт} \\Q_{2\text{т}} \text{ (від тари)} & \quad c_{\text{т}} = 2,3 \text{ кДж/(кг * К)} ; \\Q_{2\text{т}} &= 6 * 2,3 * (10 - (-2)) * (10^3/24 * 3600) = 1,9 \text{ кВт} \\Q_2 &= 11,2 + 1,96 = 13,1 \text{ кВт}\end{aligned}$$

Камери зберігання свинини в напівтушах:

Початкова температура товару  $t = -14\text{ }^{\circ}\text{C}$

Кінцева температура товару  $t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned}M_{\text{пр}} &= 45 \text{ т/добу} \\M_{\text{т}} &= 0,2 * 45 = 9 \text{ т/добу} \\t_1 &= -15\text{ }^{\circ}\text{C} ; t_2 = -18\text{ }^{\circ}\text{C} \\i_1 &= 13 \text{ КДж/кг}; i_2 = 4,6 \text{ КДж/кг}; \Delta i = 8,4 \text{ КДж/кг} \\Q_{2\text{пр}} &= 45 * 8,4 * (10^3/24 * 3600) = 4,3 \text{ кВт} \\Q_{2\text{т}} \text{ (від тари)} & \quad c_{\text{т}} = 0,5 \text{ кДж/(кг * К)} ; \\Q_{2\text{т}} &= 9 * 0,5 * (-14 - (-18)) * (10^3/24 * 3600) = 0,156 \text{ кВт} \\Q_2 &= 4,3 + 0,156 = 4,45 \text{ кВт}\end{aligned}$$

Камери зберігання консерв:

Початкова температура товару  $t = +11\text{ }^{\circ}\text{C}$

Кінцева температура товару  $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned}M_{\text{пр}} &= 30 \text{ т/добу} \\M_{\text{т}} &= 0,2 * 30 = 6 \text{ т/добу} \\t_1 &= +10\text{ }^{\circ}\text{C} ; t_2 = -2\text{ }^{\circ}\text{C} \\i_1 &= 47 \text{ КДж/кг}; i_2 = 14,3 \text{ КДж/кг}; \Delta i = 32,7 \text{ КДж/кг} \\Q_{2\text{пр}} &= 30 * 32,7 * (10^3/24 * 3600) = 11,2 \text{ кВт} \\Q_{2\text{т}} \text{ (від тари)} & \quad c_{\text{т}} = 2,3 \text{ кДж/(кг * К)} ; \\Q_{2\text{т}} &= 6 * 2,3 * (10 - (-2)) * (10^3/24 * 3600) = 1,9 \text{ кВт} \\Q_2 &= 7,9 + 0,9 = 13,1 \text{ кВт}\end{aligned}$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

47



Обрахунок теплонадходжень в камеру зберігання солодковершкового масла:

Теплонадходження від систем освітлення:  $q_1 = A * F * 10^{-3}$  (кВт)

$F = 576 \text{ м}^2$ ;  $A = 2,3 \text{ Вт/м}^2$ ;  $q_1 = 2,3 * 576 * 10^{-3} = 1,33$  (кВт)

Теплонадходження від перебування людей:  $q_2 = 0,35 * n$  (кВт)

$n = 3$  людини;  $q_2 = 0,35 * 3 = 1,05$  (кВт)

Теплонадходження від роботи електро-двигунів:  $q_3 = \eta_{\epsilon} * N_{\epsilon,д.}$  (кВт)

$q_3 = 2 * 0,8 = 1,6$  (кВт)

Теплонадходження від відкривання дверей:  $q_4 = K * F * 10^{-3}$  (кВт)

$K=12(\text{Вт/м}^2)$ ;  $F = 576 \text{ м}^2$ ;  $q_4 = 12 * 576 * 10^{-3} = 6,9$  (кВт)

Загальне теплонадходження до камери:  $Q_3 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$

$Q_3 = 1,33 + 1,05 + 1,6 + 6,9 = 10,88$  (кВт)

Робимо розрахунки таким самим способом для всіх інших камер та заносимо в таб.4.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Назва камери	$F_{д}$ м <sup>2</sup>	A Вт/м <sup>2</sup>	$q_1$ Вт	n людей	$q_2$ Вт	$N_{\epsilon,д.}$ кВт	$q_3$ Вт	K (Вт/м <sup>2</sup> );	$q_4$ Вт	$Q_3$ Вт	Кількість камер	$Q_{заг}$ Вт

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Солодко- вершкове масло	576	2,3	1330	3	1050	2	1600	12	6900	10880	8	87040
Тверді сири	432	2,3	990	3	1050	2	1600	12	5100	8740	6	52440
Свинина в напівтушах	576	2,3	1330	3	1050	2	1600	12	6900	10880	4	43520
Консерви	576	2,3	1330	3	1050	2	1600	12	6900	10880	4	43520
Заморозка	144	4,7	670	2	700	8	6400	15	2160	9900	2	19800
Дефектні товари	36	2,3	80	2	700	2	1600	15	280	2660	2	5320

Таб.4.1.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

50

## 5. Визначення навантажень обладнання камер та компресорів

Навантаження на компресор  $Q_{\text{км}}$  включає в себе всі види теплопритоків. Однак, у певних ситуаціях їх враховують не повністю, а частково, в залежності від типу та призначення холодильного обладнання. Для холодильників з великою кількістю камер (споживачів холоду) навантаження на компресор визначають за наближеним методом, рекомендованим для таких систем.

### 5.1) Навантаження на компресор

Навантаження на компресор, що працює на температурі кипіння

$$t_1 = -10 \text{ }^\circ\text{C:}$$

$$\Sigma Q_{-10} = \Sigma Q_{106} + 0,6 * Q_{206} + 0,7 * Q_{406} = (6,02 + 5,37 + 6,1 + 7,38 + 8,75 + 8,9 + 3,01 + 3,01) + 0,6 * (16,5 + 16,5 + 13,1 + 13,1 + 13,1) + 0,7 * (10,8 + 10,8 + 8,7 + 8,7 + 8,7 + 12,3) = 133 \text{ (кВт)}$$

Холодопродуктивність компресора:

$$Q_0 = (k * \Sigma Q_{-10})/b$$

Де  $k$  – коефіцієнт що враховує втрати в апаратах та трубопроводах холодильної установки;  $k = 1,05$ ;  $b$  – коефіцієнт робочого часу;  $b = 0,9$

$$Q_0 = (1,05 * 133)/0,9 = 140 \text{ (кВт)}$$

### 5.2) Навантаження на компресор

Навантаження на компресор, що працює на температурі кипіння

$$t_1 = -25 \text{ }^\circ\text{C:}$$

						00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата			51

$$\Sigma Q_{-10} = \Sigma Q_{106} + 0,6 * Q_{206} + 0,7 * Q_{406} = (11,41 + 12,35 + 9,94 + 9,3 + 2,65 + 1,28 + 1,62) + 0,6 * (4,45 + 4,45 + 8,8 + 8,8 + 1,36) + 0,7 * (10,8 + 10,8 + 10,8 + 10,8 + 8,3 + 2,66 + 2,66) = 105,4 \text{ (кВт)}$$

Холодопродуктивність компресора:

$$Q_0 = (k * \Sigma Q_{-25})/b$$

Де  $k$  – коефіцієнт що враховує втрати в апаратах та трубопроводах холодильної установки;  $k = 1,07$ ;  $b$  – коефіцієнт робочого часу;  $b = 0,9$

$$Q_0 = (1,07 * 105,4)/0,9 = 123 \text{ (кВт)}$$

### 5.3) Навантаження на компресор

Навантаження на компресор, що працює на температурі кипіння

$$t_1 = -40 \text{ }^\circ\text{C:}$$

$$\Sigma Q_{-40} = \Sigma Q_{106} + 0,6 * Q_{206} + 0,7 * Q_{406} = (4,46 + 5,04) + 0,6 * (13,2 + 16,3) + 0,7 * (9,9 + 9,9) = 42 \text{ (кВт)}$$

Холодопродуктивність компресора:

$$Q_0 = (k * \Sigma Q_{-45})/b$$

Де  $k$  – коефіцієнт що враховує втрати в апаратах та трубопроводах холодильної установки;  $k = 1,1$ ;  $b$  – коефіцієнт робочого часу;  $b = 0,9$

$$Q_0 = (1,1 * 42)/0,9 = 50 \text{ (кВт)}$$

## 6. Вибір розрахункового режиму, побудова циклу, розрахунок холодильної машини

Робочий режим холодильної установки визначається кількома ключовими температурними параметрами: температурою кипіння  $t_0$ , температурою конденсації  $t_k$  і температурою всмоктування  $t_{всм}$  (пари на вході в компресор). Ці параметри вибирають, враховуючи призначення холодильного обладнання та розрахункові зовнішні умови.

Температура кипіння холодоагенту зазвичай встановлюється на 5–10°C нижчою, ніж температура в охолоджувальних камерах. Температура конденсації залежить від температури та кількості води, що подається. Для установок з водяним охолодженням конденсатора температура конденсації приймається на 2–4°C вище температури води, що виходить з конденсатора.

$$t_k = t_{w2} + (2/4)^\circ\text{C} = t_{wl} + \Delta t_w + (2/4)^\circ\text{C}$$

В оборотній системі водопостачання температура води  $t_{w2}$  і  $t_{wl}$  залежить від розрахункових параметрів навколишнього середовища та ефективності охолоджувача оборотної води.

$$\eta = \frac{(t_{w2} - t_{wl})}{(t_{w2} - t_{мт})}$$

Де коефіцієнт ефективності холодильника залежить від його типу і може бути визначиним за такими даними: для брискального басейна приймаємо  $\eta = 0,5$

$$\Delta t_w = t_{w2} - t_{w1} = 4^\circ\text{C}$$

Для м.Київ температура мокрого термометра при

$$t_c = 34^\circ\text{C}; \varphi = 42\%; t_{м.т.} = 23,5^\circ\text{C}$$

Визначаємо за формолою:

$$t_{w2} = \left(\frac{\Delta t_w}{\eta}\right) + t_{мт} = \left(\frac{4}{0,5}\right) + 23,5 = 31,5^\circ\text{C}$$

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		53

Визначаємо за формулою:

$$t_k = t_{w2} + (2/4)^\circ\text{C} = 31,5 + 2,5 = 34^\circ\text{C}$$

Будуємо цикл в діаграмі для R717. Параметри зазначені в х.а. у вузлових точках заносимо в таб.6.

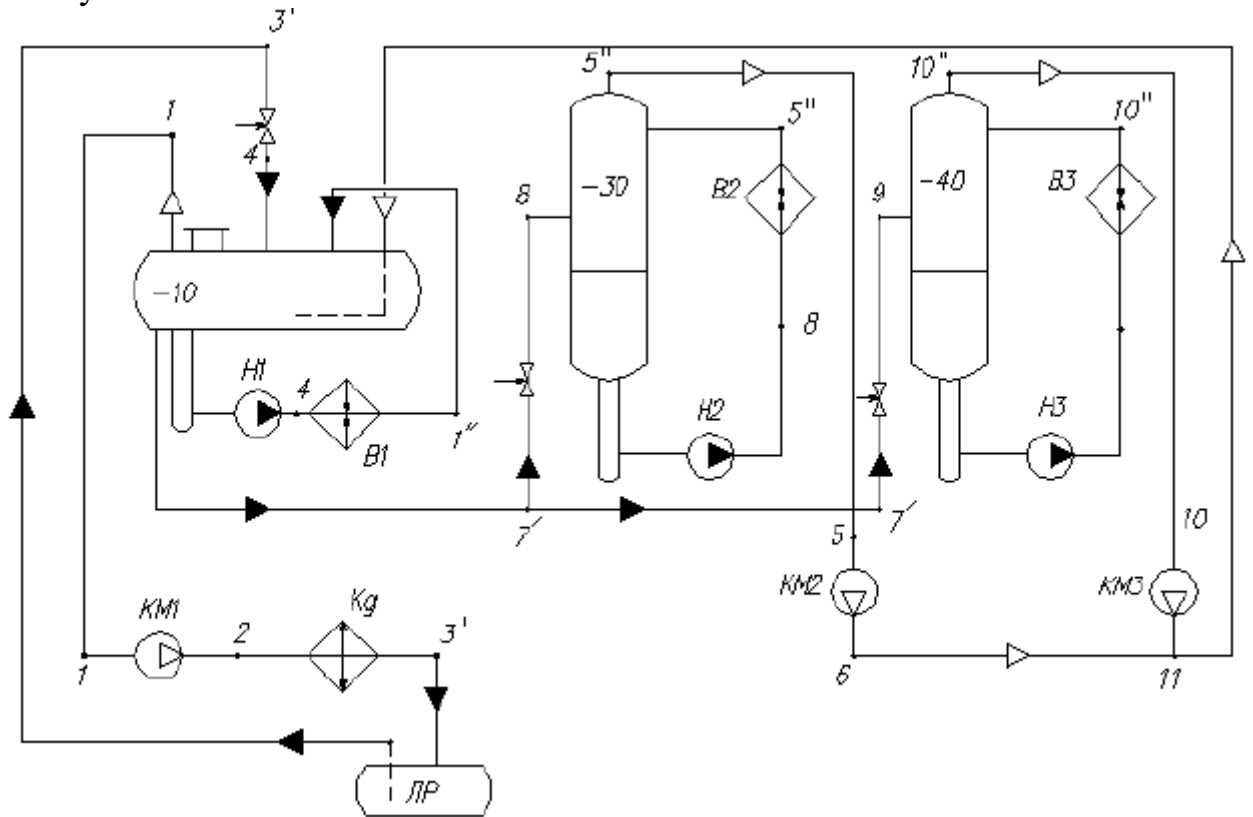


Рис.6 .

Точка №	t °C	P мПа	v м³/кг	i кДж/кг
1''	-10	0,29	0,417	1449
1	0	0,29	0,437	1474
2''	34	1,3	0,098	1488
2	110	1,3	0,13	1701
3`	34	1,3	0,001	358
4	-10	0,29		358
5''	-25	0,15	0,76	1428
5	-15	0,15	0,79	152
6	27	0,29	0,48	1539
7`	-10	0,29		155
8	-25	0,15	0,03	155
9	-40	0,07	0,15	155
10''	-40	0,07	1,55	1408
10	-30	0,07	1,61	1428
11	62	0,29	0,55	1621

Таб.6.1

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата
-----	-----	---------	--------	------

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

54

Масова витрата Холодильного агенту циркулюючого в системі, який потрібно відводити від циркулюючих ресиверів:

$$M_{(-40)} = Q_{0m(-40)} / (i_{10^*} - i_9) = \frac{50}{(1408 - 155)} = 0,05 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$M_{(-25)} = Q_{0m(-25)} / (i_{5^*} - i_8) = \frac{123}{(1426 - 156)} = 0,1 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$M_{(-10)} = Q_{0m(-10)} / (i_{1^*} - i_4) = \frac{140}{(1449 - 358)} = 0,12 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Масова витрата холодильного агенту в К.М.1:

$$\begin{aligned} M_{\text{км1}} &= M_{(-10)} + M_{(-25)} \times \frac{(i_6 - i_{7^*})}{(i_{1^*} - i_4)} + M_{(-40)} \times \frac{(i_{11} - i_{7^*})}{(i_{1^*} - i_4)} = \\ &= 0,12 + 0,1 \times \frac{(1539 - 155)}{(1449 - 358)} + 0,05 \times \frac{(1621 - 155)}{(1449 - 358)} = 0,31 \frac{\text{кг}}{\text{с}}; \end{aligned}$$

Знайдемо коефіцієнти подачі для визначення продуктивності компресора:

Індикаторний коефіцієнт подачі для К.М.1:

$$\lambda_{п1} = \frac{P_{np} - \Delta P_{ec}}{P_{np}} - c \times \left[ \left( \frac{P_k + \Delta P_n}{P_{np}} \right)^{1/n} - \frac{(P_{np} - \Delta P_{ec})}{P_{np}} \right];$$

Де  $c$  – відносний мертвий простір;  $n$  – показник політропи;

$\Delta P_{вс}$  – депресія на всмоктуванні;  $\Delta P_{нг}$  – депресія на нагнітанні;

$$\lambda_{п1} = \frac{290 - 10}{290} - 0,05 \times \left[ \left( \frac{1300 + 10}{290} \right) - \frac{(290 - 10)}{290} \right] = 0,788;$$

$$\lambda_{w1} = \frac{T_{np}}{T_k} = \frac{(273 + (-10))}{273 + 34} = 0,857;$$



Електрична потужність

$$N_{ел(-10)} = \Sigma N_{e(-10)} / n_{ел} = 119 / 0,9 = 132 \text{ (кВт)}$$

Потужність в 132кВт підібраних компресорів має запас потужності.

Назва	Об'ємна подача	Розміри			Вага; кг
		Д	Ш	В	
GEA Grasso 6210	435	1475	890	815	998
GEA Grasso 3110	217	1125	540	765	590
GEA Grasso SH C	231	888	585	560	313

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

57

## 7. Тепломасообмінні апарати: вибір та розрахунок

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

$$F = Q(k * \Delta t_{cp}) (m^2)$$

### 7.1) Розрахунок конденсатора

У рівнянні теплопередачі в яке входять множники які визначаються під час розрахунку як:

$Q=Q_k$  – теплове навантаження конденсатора (кВт)

Дійсне навантаження конденсатора визначається за формулою:

$$Q_{kd} = Q_{от(-40)} + Q_{от(-25)} + Q_{от(-10)} + N_{i(-40)} + N_{i(-25)} + N_{i(-10)};$$

Дійсну холодопродуктивність кожної ступені компресорів знаходимо з співвідношення:

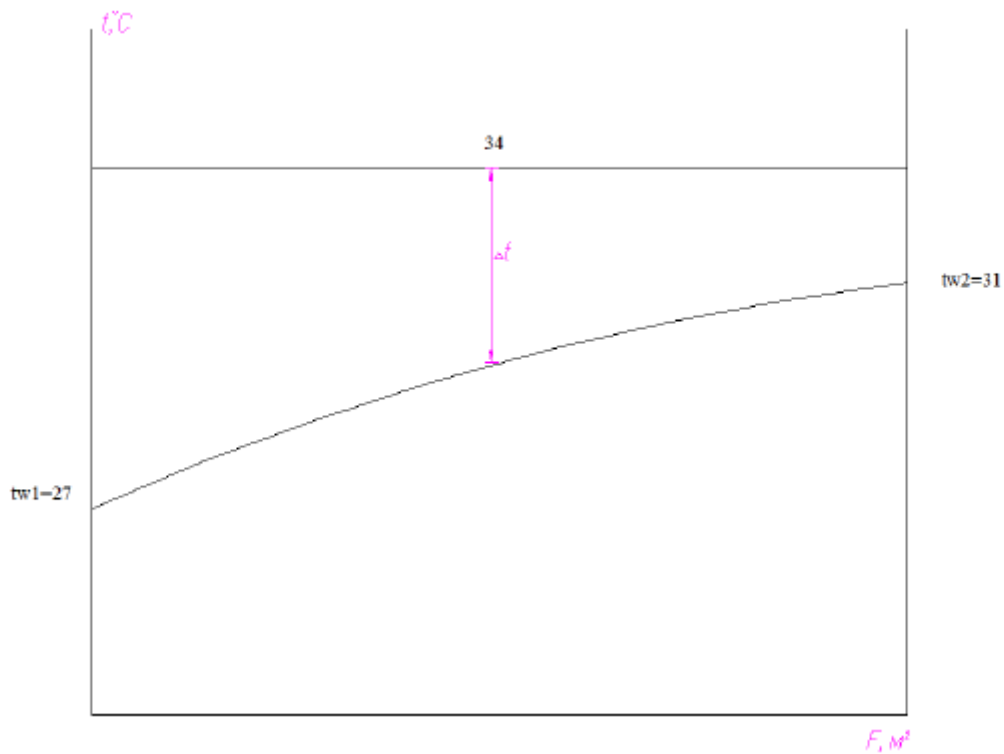
$$Q_0 = \Sigma Q_{от} * (V_{км}/V_T)$$

Звідси вираховуємо:

$$Q_{kd} = 50 * (0,128/0,1) + 123 * (0,12/0,096) + 140 * (0,24/0,19) = 400,3 \text{ (кВт)}$$

$k$  – коефіцієнт теплопередачі конденсатора. Для горизонтального кожухотрубного конденсатора, що встановлюється при оборотній системі водопостачання для аміаку приймаємо 800 (Вт/(м<sup>2</sup>\*к))

На малюнку 7.1 показана умовна схема зміни температур холодоагента та охолоджуючого середовища вздовж усієї поверхні теплопередачі.



мал.7.1

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

Приймаємо два конденсатори марки «63 КТГ» з теплообміною площею поверхні  $F=2*67=134 \text{ (м}^2\text{)}$

Горизонтальний кожухотрубний конденсатор	Площа внутрішньої теплопередаючої поверхні	Габаритні розміри				Кількість труб	Довжина трубопроводів	Діамтр умовного проходу патрубків			Об'єм міжтрубних просторів	Об'єм трубних просторів	Маса
		Діамтр кожуха	Довжина	Ширина	Висога			Вода (вхід/вихід)	Холодоагент (вхід)	Холодоагент (вихід)			
63КТГ	67	600	5520	910	1000	216	5000	100	80	25	0,89	0,4	2023

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата
-----	-----	---------	--------	------

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

59

## 7.2) Розрахунок градирні

Градирню вибирають по необхідній площі поперечного перерізу яку визначають за формолою

$$F_{п.пр} = Q_{гр}/q_f$$

Де  $Q_{гр}$ – теплове навантаження на градирню;  $q_f$ – питоме теплове навантаження на  $1\text{ м}^2$  поперечного перерізу насадки в градирні  
Прймаємо  $q_f = 500$  (кВт/м<sup>2</sup>)

Теплове навантаження на градирню приймаємо за 404 (кВт/ м<sup>2</sup>)

$$Q_{гр} = 1,03 * Q_k = 1,03 * 406,5418,6 \text{ (кВт)}$$

Площа поперечного перерізу визначається за формулою :

$$F_{п.пр} = (Q_{гр}/ q_f) = (418,6/50) = 8,3 \text{ (м}^2\text{)}$$

Прймаємо градирню Dalgakiran Rabial ERRK 73

Назва	Теплова продуктивність	Кількість вентиляторів	V (циркуляції)	V (Резервне)	Витрати води	Суха маса	Маса
ERRK 73	426 (кВт)	3 (шт)	17.8 (л)	1170 (л)	73.3 (л/г)	980 (кг)	2150 (кг)

Таб.7.2. Ізоляційна

## 7.3) Розрахунок повітроохолодників

1) Для камер зберігання солодковершкового масла:

Площу теплопередаючої поверхні повітроохолодника розраховують за формулою, підставивши в неї значення коефіцієнта теплопередачі повітроохолодника.

$$F = \frac{Q_{обт}}{k \times \Delta t_{cp}} = \frac{29,6 \times 10^3}{15 \times 10} = 205 \text{ м}^2;$$

Для установки приймаємо дві системи підвісних повітроохолодників: Guntner 071D/112 з площею загальної теплопередаємої поверхні 216 та загальною подачею повітря 7,6 (м<sup>3</sup>/с)

Температури повітря на вході і виході відповідно:

									Арк
									60
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	00 ДП.142.008.019.ПЗ				

$$t_{\text{вх}} = -10(^{\circ}\text{C}); t_{\text{вих}} = -13(^{\circ}\text{C})$$

$$i_1 = -6 \text{ (кДж/кг)}; i_2 = -12 \text{ (кДж/кг)};$$

Перевіряємо чи об'ємна продуктивність достатня для встановлених вентиляторів:

$$V_{\text{не}} = \frac{29,6}{1,35 \times (-6 + 12)} = 4 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V_{\text{по}} > V_{\text{пв}}$$

2) Для камер зберігання твердого сиру:

$$F = \frac{Q_{\text{обт}}}{k \times \Delta t_{\text{сп}}} = \frac{27,9 \times 10^3}{17 \times 10} = 165 \text{ м}^2;$$

Для установки приймаємо дві системи підвісних повітроохолодників: Guntner 066C/18 з площею загальної теплопередаємої поверхні 172 та загальною подачею повітря 5,12 (м<sup>3</sup>/с)

Температури повітря на вході і виході відповідно:

$$t_{\text{вх}} = 0(^{\circ}\text{C}); t_{\text{вих}} = -3(^{\circ}\text{C})$$

$$i_1 = 9,5 \text{ (кДж/кг)}; i_2 = 5 \text{ (кДж/кг)};$$

Перевіряємо чи об'ємна продуктивність достатня для встановлених вентиляторів:

$$V_{\text{не}} = \frac{27,9}{1,3 \times (9,5 - 5)} = 4,8 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V_{\text{по}} > V_{\text{пв}}$$

3) Для камер зберігання свинини в напівтушах:

$$F = \frac{Q_{\text{обт}}}{k \times \Delta t_{\text{сп}}} = \frac{27,6 \times 10^3}{13 \times 10} = 217 \text{ м}^2;$$

Для установки приймаємо дві системи підвісних повітроохолодників: Guntner 071D/112 з площею загальної теплопередаємої поверхні 216 та загальною подачею повітря 7,6 (м<sup>3</sup>/с)

Температури повітря на вході і виході відповідно:

									00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата						61

$$t_{\text{вх}} = -17(^{\circ}\text{C}); t_{\text{вих}} = -20(^{\circ}\text{C})$$

$$i_1 = -15 \text{ (кДж/кг)}; i_2 = -18 \text{ (кДж/кг)};$$

Перевіряємо чи об'ємна продуктивність достатня для встановлених вентиляторів:

$$V_{\text{не}} = \frac{27,6}{1,39 \times (-15 + 18)} = 6,4 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$V_{\text{по}} > V_{\text{пв}}$$

4) Для камер зберігання консерв:

$$F = \frac{Q_{\text{обл}}}{k \times \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{34,7 \times 10^3}{17 \times 10} = 205 \text{ м}^2;$$

Для установки приймаємо дві системи підвісних повітроохолодників: Guntner 071D/110 з площею загальної теплопередаємої поверхні 254 та загальною подачою повітря 6,8 (м<sup>3</sup>/с)

Температури повітря на вході і виході відповідно:

$$t_{\text{вх}} = +2(^{\circ}\text{C}); t_{\text{вих}} = -3(^{\circ}\text{C})$$

$$i_1 = -6 \text{ (кДж/кг)}; i_2 = -12 \text{ (кДж/кг)};$$

Перевіряємо чи об'ємна продуктивність достатня для встановлених вентиляторів:

$$V_{\text{не}} = \frac{34,7}{1,29 \times (12 - 5)} = 3,9 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$V_{\text{по}} > V_{\text{пв}}$$

5) Для камер домороження продуктів:

$$F = \frac{Q_{\text{обл}}}{k \times \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{27,6 \times 10^3}{12,5 \times 8} = 221 \text{ м}^2;$$

Для установки приймаємо дві системи підвісних повітроохолодників: Guntner 066D/28 з площею загальної теплопередаємої поверхні 233 та загальною подачою повітря 5 (м<sup>3</sup>/с)

Температури повітря на вході і виході відповідно:

						00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата			62



$$t_{\text{вх}} = 6(^{\circ}\text{C}); t_{\text{вих}} = 3(^{\circ}\text{C})$$

$$i_1 = 20 \text{ (кДж/кг)}; i_2 = 14 \text{ (кДж/кг)};$$

Перевіряємо чи об'ємна продуктивність достатня для встановлених вентиляторів:

$$V_{\text{нс}} = \frac{21,2}{1,35 \times (20 - 14)} = 2,6 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$V_{\text{по}} > V_{\text{пв}}$$

8) Для коридорів:

$$F = \frac{Q_{\text{обл}}}{k \times \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{3,01 \times 10^3}{17,5 \times 8} = 22 \text{ м}^2;$$

Для установки приймаємо дві системи підвісних повітроохолодників: Guntner 041C/18 з площею загальної теплопередаємої поверхні 50 та загальною подачею повітря 2,56 (м<sup>3</sup>/с)

Температури повітря на вході і виході відповідно:

$$t_{\text{вх}} = 6(^{\circ}\text{C}); t_{\text{вих}} = 3(^{\circ}\text{C})$$

$$i_1 = 20 \text{ (кДж/кг)}; i_2 = 14 \text{ (кДж/кг)};$$

Перевіряємо чи об'ємна продуктивність достатня для встановлених вентиляторів:

$$V_{\text{нс}} = \frac{3,01}{1,35 \times (20 - 14)} = 0,4 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$V_{\text{по}} > V_{\text{пв}}$$

Назва	N (кВт)	F (м <sup>2</sup> )	Vп (м <sup>3</sup> /Г)	Довжина потоку (м)	Об'єм труб (л)	Вага (кг)
Guntner 071D/112	13,6	108	13700	29	61	463
Guntner 066C/18	9,9	86	9310	25	35	334
Guntner 071C/110	14,6	127	13200	29	61	497
Guntner 066D/28	32,8	233	17960	27	90	784
Guntner 041D/15	5,4	51	2320	11	14	162
Guntner 041C/18	9,4	86	4100	16	23	248

Таб.7. Технічні характеристики повітроохолодників Guntner

									Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата					64

00 ДП.142.008.019.ПЗ

## 8. Допоміжне обладнання холодильної установки: вибір та розрахунок

### 8.1) Ресивери:

Ресивери в холодильному апараті (або холодильній системі) – це компоненти, які використовуються для зберігання та регулювання хладагенту, що циркулює у системі. Вони виконують кілька важливих функцій у холодильному процесі:

#### 1) Лінійні ресивери:

Обираються з урахуванням необхідного геометричного внутрішнього об'єму цих ємностей  $V$  у ( $\text{м}^3$ ). Ємність лінійного ресивера в автоматизованих насосно-циркуляційних системах з верхньою подачею аміаку до охолоджувальних пристроїв:

$$V_{\text{л.р.}} = 0,3 * (V_{\text{б}} + V_{\text{в.о.}}) / 0,8$$

$$V_{\text{б}} = 0 (\text{м}^3); V_{\text{в.о.}} = 0,94 (\text{м}^3)$$

$$V_{\text{л.р.}} = 0,3 * (0 + 0,94) / 0,8 = 0,5 (\text{м}^3)$$

Приймаємо лінійний ресивер до установки такий як 1.5РД який має об'єм  $V = 1,65 (\text{м}^3)$

Лінійний ресивер	Об'єм ( $\text{м}^3$ )	Розміри (мм):		Маса (кг)
		$d_1$	$d_2$	
1.5РД	1,65	50	25	670

*Таб.8.1. дані лінійного ресивера*

#### 2) Циркуляційні ресивери:

Об'єм циркуляційного ресивера в системах з нижньою подачею хладагента до охолоджувальних пристроїв визначається за допомогою наступної формули:

$$V_{\text{цр}} = K * (V_{\text{н.т.}} * 0,3 * V_0 + 0,5 * V_{\text{по}} + 0,3 * V_{\text{в.т.}})$$

Де К – коефіцієнт що залежить від типу ресиверу;  $V_{н.т.}$  – Об'єм внутрішній для нагнітального трубопроводу насосу;  $V_{в.т.}$  – Об'єм внутрішній для трубопроводу змішаної рідини та пару після повітроохолодників;

$$V_{в.о.} = 0,42(\text{м}^3)$$

$$V_{цр} = 2,7 * (0,04 + 0,5 * 0,42 + 0,3 * 0,01) = 0,61(\text{м}^3) \text{ (-10}^\circ\text{C)}$$

Приймаємо циркуляційний ресивер до установки такий як 0,75РД який має об'єм  $V = 0,77(\text{м}^3)$

$$V_{в.о.} = 0,54(\text{м}^3)$$

$$V_{цр} = 2,7 * (0,04 + 0,5 * 0,54 + 0,3 * 0,028) = 0,86(\text{м}^3) \text{ (-25}^\circ\text{C)}$$

Приймаємо циркуляційний ресивер до установки такий як 1.5РДV який має об'єм  $V = 1,4(\text{м}^3)$

$$V_{в.о.} = 0,42(\text{м}^3)$$

$$V_{цр} = 2,7 * (0,06 + 0,5 * 0,38 + 0,3 * 0,014) = 0,5(\text{м}^3) \text{ (-40}^\circ\text{C)}$$

Приймаємо циркуляційний ресивер до установки такий як 0,75РД який має об'єм  $V = 0,77(\text{м}^3)$

### 3) Дренажні ресивери:

Вибираючи дренажний ресивер, необхідно забезпечити, щоб при заповненні не більше ніж на 80% він міг вмістити рідкий аміак з найбільшого циркуляційного ресивера або охолоджувальних пристроїв найбільшої випарної системи. Дренажний ресивер підбираємо відповідно до найбільшої випарної системи яка працює при температурі кипіння  $-10^\circ\text{C}$ , приймаємо коефіцієнт запасу – 1,2

$$V_{д.р.} = V_{в.с.} * 1,2 / 0,8 = 0,28 * 1,2 / 0,8 = 0,42 (\text{м}^3)$$

Приймаємо дренажний ресивер до установки такий як 1,5РДВ який має об'єм  $V = 1,5 (\text{м}^3)$



## 9. Насоси та трубопроводи: розазунок діаметрів

### 9.1) Розрахунок діаметрів трубопроводів

Між собою окремі частини холодильної установки з'єднуються трубопроводами;

Внутрішній діаметр округлої труби розраховується за формулою:

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

1) Всмоктувальний трубопровід компресорів що працюватиме при температурвх в  $-40^{\circ}\text{C}$ :

$$M = 0,05(\text{кг/с}); \rho = 1/1,61=0,62 (\text{кг/м}^3)$$

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,05}{\pi \times 0,62 \times 18}} = 0,078 \text{ м};$$

Приймаємо трубу діаметром 80 (мм)

Нагнітальний трубопровід:

$$M = 0,053(\text{кг/с}); \rho = 1/0,55=1,8 (\text{кг/м}^3)$$

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,05}{\pi \times 1,82 \times 22}} = 0,042 \text{ м};$$

Приймаємо трубу діаметром 50 (мм)

2) Всмоктувальний трубопровід компресорів що працюватиме при температурвх в  $-25^{\circ}\text{C}$ :

$$M = 0,1(\text{кг/с}); \rho = 1/0,79=1,26 (\text{кг/м}^3)$$

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,1}{\pi \times 1,26 \times 18}} = 0,075 \text{ м};$$

Приймаємо трубу діаметром 80 (мм)

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		68

Нагнітальний трубопровід:

$$M = 0,1(\text{кг/с}); \rho = 1/0,48=2,08 (\text{кг/м}^3)$$

$$d_{\text{ен}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,1}{\pi \times 2,08 \times 22}} = 0,053 \text{ м};$$

Приймаємо трубу діаметром 70 (мм)

3) Всмоктувальний трубопровід компресорів що працюватиме при температурвх в  $-10^{\circ}\text{C}$ :

$$M = 0,31(\text{кг/с}); \rho = 1/0,43=2,28 (\text{кг/м}^3)$$

$$d_{\text{ен}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,31}{\pi \times 2,28 \times 18}} = 0,098 \text{ м};$$

Приймаємо трубу діаметром 100 (мм)

Нагнітальний трубопровід:

$$M = 0,31(\text{кг/с}); \rho = 1/0,13=7,6 (\text{кг/м}^3)$$

$$d_{\text{ен}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,31}{\pi \times 7,6 \times 22}} = 0,049 \text{ м};$$

Приймаємо трубу діаметром 50 (мм)

## 9.2) Рідинна лінія

1) Внутрішній діаметр трубопровода на рідинній лінії яка має працювати при  $-40^{\circ}\text{C}$

Приймаємо розрахункову швидкість на напірній лінії за  $\omega = 0,5$  (м/с)

$$d_{\text{ен}} = \sqrt{\frac{4 \times M}{\pi \times \rho \times w}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,05}{3,14 \times 690 \times 0,5}} = 0,014 \text{ м};$$

Приймаємо трубу діаметром 14,8 (мм)

Приймаємо розрахункову швидкість на зворотній лінії за  $\omega = 1,2$  (м/с)

Визначаємо площу поперечного перерізу за формулою:

$$f_{\text{ен}} = \frac{M}{\rho \times w} = \frac{0,05}{0,64 \times 1,2} = 0,074 \times 10^3 \text{ м}^2;$$

Приймаємо трубу діаметром 10,8 (мм)

									Арк
									69
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	00 ДП.142.008.019.ПЗ				

2) Внутрішній діаметр трубопровода на рідинній лінії яка має працювати при  $-25^{\circ}\text{C}$

Приймаємо розрахункову швидкість на напірній лінії за  $\omega = 0,5$  (м/с)

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \times M}{\pi \times \rho \times w}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,1}{3,14 \times 671 \times 0,5}} = 0,0190 \text{ м};$$

Приймаємо трубу діаметром 21,8 (мм)

Приймаємо розрахункову швидкість на зворотній лінії за  $\omega = 1,2$  (м/с)

Визначаємо площу поперечного перерізу за формулою:

$$f_{\text{вн}} = \frac{M}{\rho \times w} = \frac{0,1}{1,39 \times 1,2} = 0,06 \times 10^3 \text{ м}^2;$$

Приймаємо трубу діаметром 28 (мм)

3) Внутрішній діаметр трубопровода на рідинній лінії яка має працювати при  $-10^{\circ}\text{C}$

Приймаємо розрахункову швидкість на напірній лінії за  $\omega = 0,5$  (м/с)

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \times M}{\pi \times \rho \times w}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,31}{3,14 \times 652 \times 0,5}} = 0,035 \text{ м};$$

Приймаємо трубу діаметром 40 (мм)

Приймаємо розрахункову швидкість на зворотній лінії за  $\omega = 1,2$  (м/с)

Визначаємо площу поперечного перерізу за формулою:

$$f_{\text{вн}} = \frac{M}{\rho \times w} = \frac{0,31}{1,557 \times 1,2} = 0,16 \times 10^3 \text{ м}^2;$$

Приймаємо трубу діаметром 14,8 (мм)

### 9.3) Визначення гідравлічних втрат

Метою гідравлічного розрахунку є визначення втрат тиску, зумовлених гідравлічними опорами, що виникають при русі робочого середовища в трубах та теплообмінних апаратах. Значення величини необхідні для визначення потужності насосів,

										Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	00 ДП.142.008.019.ПЗ					70

а також для вибору раціональних конструктивних характеристик апаратів та оптимізації їх режимів роботи. Надмірний гідравлічний опір призводить до зменшення тиску всмоктування і відповідно температури кипіння, що зменшує економічність роботи холодильної машини. Для насосно-циркуляційних систем охолодження розрахунок гідравлічних опорів необхідний для визначення характеристики мережі залежно від витрати холодоагенту та його розподілення, для підбору насоса і розрахунку потужності привода.

Загальні гідравлічні опори при проходженні в трубі або апараті киплячої рідини (тобто двофазного потоку) складаються з втрат тертя місцеві опори, прискорення потоку і на зниження або підвищення тиску через вплив статичного напору стовпа рідини

$$\Delta P_{\text{дф}} = \Delta P_{\text{дф тр}} + \Delta P_{\text{дф м}} + \Delta P_{\text{дф п}} + \Delta P_{\text{дф ст}}$$

Під час розрахунку гідравлічних опорів потрібно враховувати режим руху рідини та пари в трубах апаратів, а також ефективно використовувати доступний тиск як у самопливних, так і у насосно-циркуляційних системах охолодження.

- 1) Враховуємо втрати тиску між циркуляційним насосом та повітроохолоджувачем який розташований в камері з температурою  $-40^{\circ}\text{C}$

Повна втрата тиску на ділянці трубопроводу:

$$\begin{aligned} \Delta P_i &= \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{м.с.}}; \\ \Delta P_{\text{м.с.}} &= Z = \sum \xi_{\text{м}} \times \frac{\rho \times \omega^2}{\gamma}; \\ \sum \xi_{\text{м}} &= \xi_{\text{зв.х.латан}} + \xi_{\text{кол.іно}} + \xi_{\text{сіісіісіісіі}} = 5 + 5 + 1 = 11; \\ \omega &= 0,5 \text{ м/с}; \\ Z &= 11 \times \frac{690 \times 0,5^2}{2} = 948 \text{ кПа}; \\ \text{Re} &= \frac{\omega \times d_{\text{ен}} \times \rho}{\mu} = \frac{0,5 \times 0,0149 \times 690}{27,6 \times 10^{-3}} = 255 \end{aligned}$$

$$Re < 2000$$

$$\lambda_{\text{тпр}} = 0,11 \times \left( \frac{k}{d_{\text{ен}}} + \frac{64}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left( \frac{0,06}{14,8} + \frac{64}{255} \right)^{0,25} = 0,078;$$

Втрати тиску від тертя на ділянці в 1м:

$$\Delta P_{\text{тпр}} = R = \frac{0,078}{0,0148} \times \frac{690 \times 0,5^2}{2} \times 1 = 480 \text{ Па/ м};$$

Втрати тиску від тертя на ділянці в 60м:

$$\Delta P_{\text{тпр}} = R \times l = 480 \times 90 = 43000 \text{ Па};$$

Загальні втрати тиску:

$$\Delta P = 948 + 43000 = 43948 \text{ Па}.$$

2) Вираховуємо втрати тиску між циркуляційним насосом та повітроохолоджувачем який розташований в камері з температурою -25°C

$$\sum \xi_{\text{с.м}} = \xi_{\text{зв.клатан}} + \xi_{\text{кол.іно}} + \xi_{\text{сідєі090°}} = 5 + 5 + 1 = 11;$$

$$\omega = 0,5 \text{ м/ с};$$

$$Z = 11 \times \frac{671 \times 0,5^2}{2} = 922 \text{ Па};$$

$$Re = \frac{\omega \times d_{\text{ен}} \times \rho}{\mu} = \frac{0,5 \times 0,0218 \times 671}{23 \times 10^{-3}} = 320;$$

$$Re < 2000$$

$$\lambda_{\text{тпр}} = 0,11 \times \left( \frac{k}{d_{\text{ен}}} + \frac{64}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left( \frac{0,06}{14,8} + \frac{64}{210,8} \right)^{0,25} = 0,074$$

Втрати тиску від тертя на ділянці в 1м:

$$\Delta P_{\text{тпр}} = R = \frac{0,074}{0,0218} \times \frac{671 \times 0,5^2}{2} \times 1 = 285 \text{ Па/ м};$$

Втрати тиску від тертя на ділянці в 60м:

$$\Delta P_{\text{тпр}} = R \times l = 285 \times 75 = 21375 \text{ Па};$$

Загальні втрати тиску:

$$\Delta P = 21375 + 922 = 22297 \text{ Па}.$$

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

3) Вираховуємо втрати тиску між циркуляційним насосом та повітроохолоджувачем який розташований в камері з температурою  $-10^{\circ}\text{C}$

$$\sum \xi_{\text{м}} = \xi_{\text{зв.клатан}} + \xi_{\text{коліно}} + \xi_{\text{відвідо90}^{\circ}} = 5 + 5 + 1 = 11;$$

$$\omega = 0,5 \text{ м/с};$$

$$Z = 11 \times \frac{652 \times 0,5^2}{2} = 896 \text{ Па};$$

$$\text{Re} = \frac{\omega \times d_{\text{ен}} \times \rho}{\mu} = \frac{0,5 \times 0,04 \times 652}{18,3 \times 10^{-3}} = 712 ;$$

$$\text{Re} < 2000$$

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \times \left( \frac{k}{d_{\text{ен}}} + \frac{64}{\text{Re}} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left( \frac{0,06}{40} + \frac{64}{712} \right)^{0,25} = 0,066;$$

Втрати тиску від тертя на ділянці в 1м:

$$\Delta P_{\text{тр}} = R = \frac{0,063}{0,034} \times \frac{652 \times 0,5^2}{2} \times 1 = 134 \text{ Па/м};$$

Втрати тиску від тертя на ділянці в 36м:

$$\Delta P_{\text{тр}} = R \times l = 134 \times 108 = 14472 \text{ Па};$$

Загальні втрати тиску:

$$\Delta P = 14472 + 896 = 15368 \text{ Па}.$$

#### 9.4) Підбір аміачного насосу

В насосно-циркуляційних системах, які використовуються для перекачування рідкого аміаку, застосовуються герметичні електронасоси. Насос розташовується якомога ближче до циркуляційного ресивера. Для запобігання випаровуванню рідини необхідно забезпечити надлишковий тиск на вході в насос, який перевищує тиск у циркуляційному ресивері.

										Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата						73



Марка	Модель	Подача (м <sup>3</sup> /год)	Напор рідкого аміаку (м)	Частота обертань (хв <sup>-1</sup> )	Потужність (кВт)
Witt	GP41	3,2	4	1200	0,66
Witt	GP42	1,6	3	1200	1,3
Witt	GP51a	10	4	1800	6,6

*Таб.9.4. Аміачні насоси*

Аміачні насоси марки Witt є важливим компонентом в промислових системах охолодження та холодильних установках. Компанія Witt GmbH & Co KG, заснована в Німеччині, спеціалізується на виробництві високоякісного обладнання для холодильної техніки, включаючи аміачні насоси, які використовуються для перекачування аміаку у системах охолодження.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

75



Крім того, будуть розглянуті методи оцінки інвестиційної привабливості проекту, такі як аналіз чистої теперішньої вартості (ЧТВ), внутрішньої норми прибутковості (ВНП) та терміну окупності (ТО).

Обрана тема є надзвичайно актуальною, особливо в контексті стрімкого розвитку логістичної інфраструктури та підвищення вимог до збереження якості продукції. Розподільчі центри у великих містах, таких як Київ, є основними вузлами, через які проходить значна частина товаропотоку. Ефективність їхньої роботи значною мірою залежить від надійності та економічної ефективності холодильних систем, які забезпечують необхідні умови зберігання для широкого спектру продуктів. Відповідно, ретельний економічний аналіз і вибір оптимального варіанту холодильного обладнання є ключовим завданням для забезпечення сталого розвитку таких центрів.

Очікується, що в результаті дослідження будуть розроблені рекомендації щодо вибору найбільш економічно вигідного варіанту холодильного обладнання для розподільчого центру в Києві. Це включатиме комплексний підхід до оцінки як початкових інвестицій, так і довгострокових експлуатаційних витрат, що дозволить прийняти обґрунтоване рішення з урахуванням сучасних тенденцій в області енергозбереження та оптимізації витрат.

## 10.2) Розрахунки

1) Розраховуємо приблизну річну кількість спожитої електроенергії в кВт/год для холодильного обладнання в розподільчому центрі в м.Київ

Заносимо в таблицю назву, кількість обладнання, потужність кВт одиниці обладнання, загальну потужність та кількість спожитої електроенергії за рік:

											Арк
											77
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	00 ДП.142.008.019.ПЗ						

№	Обладнення	К-ть	P <sub>ел</sub> (кВт)	Σ P <sub>ел</sub> (кВт)	Рік тис. (кВт/год)
1	GEA Grasso 6210	2	25	50	225
2	GEA Grasso 3110	2	18	36	162
3	GEA Grasso SH C	2	5	10	45
4	WITT GP 42	2	2.2	4.4	19.8
5	WITT GP 41	2	2	4	18
6	WITT GP 51a	2	5.5	11	49.5
7	Конденсатор 63КГТ	5	0.95	4.75	21.4
8	Guntner 071D/112	2	0.6	1.2	5.4
9	Guntner 066C/18	2	0.45	0.9	4.05
10	Guntner 071C/110	1	0.6	0.6	2.7
11	Guntner 066D/28	1	0.45	0.45	2
12	Guntner 041D/15	1	0.45	0.45	2
13	Guntner 041C/18	1	0.45	0.45	2
14	Grasso 150E	1	15	15	67,5
15	Radial ERRK73	1	20	20	90
Загальна					716,35

Таб.10.2. Споживання електроенергії

Середня ціна за 1 кВт/год в м.Київ для промисловості коштує 4,5грн  
 Вираховуємо що за рік оплата становитиме 3223,58 (тис. грн)

2) Витрати на заповнення систем мастилом:

Незважаючи на те, що після кожного компресора встановлено мастиловіддільники, мастило продовжує потрапляти в систему компресії. З часом частина мастила повертається до компресора, проте певна кількість залишається в трубопроводах. Обсяг мастила, який потрібно додавати до системи, залежить від розміру самої системи. Врахуємо, що щороку проводитиметься заміна мастила у компресорах, і перше поповнення мастила буде рівним об'єму мастила у компресорах. Витрати на поповнення системи мастилом для поршневих компресорів, при ціні на мастило 577 грн/л складатиме:

$$V_{\text{гв.мас}} = (10+5) \cdot 577 = 8,6 \text{ тис. грн.}$$



б) Розраховуємо витрати на заробітню плату

Заробітню платню виробничих робітників розраховують по кожному розряду з врахуванням премії та доплат за роботу у нічний час і святкові дні. Чисельність робочого персоналу компресорного цеху приймається в залежності від ступеня автоматизації установки, кількості компресорів та їх загальної продуктивності. При комплексній автоматизації фреонових холодильної установки, кількості компресорів 6 шт. приймається лише 3 машиніста.

Фонд додаткової заробітної плати:  $\Phi ДЗП = \Phi ОЗП \cdot 0,08$

$\Phi ДЗП = 440 \cdot 0,08 = 35,2$  (тис. грн.)

Повний фонд заробітної плати:  $\Phi ЗП = \Phi ОЗП + \Phi ДЗП$

$\Phi ЗП = 440 + 35,2 = 475,2$  (тис. грн.)

Витрати на оплату праці робітників з нарахуваннями:

$В О П х = 475,2 \cdot 0,3708 + 475,2 = 651,4$  (тис. грн)

7) Розраховуємо витрати на охорону праці

Витрати на охорону праці становлять 0,2% від фонду оплати праці, звідси розраховуємо  $651,4 \cdot 0,002 = 1,3$  (тис. грн)

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		80

## 11. Охорона праці

### 11.1) Вступ

Проект розподільного центру у місті Київ включає в себе впровадження передового обладнання з високим рівнем автоматизації. Це сприятиме зменшенню впливу шкідливих і небезпечних факторів на людину, підвищенню безпеки й ефективності експлуатації та обслуговування об'єкту, а також покращенню умов праці для персоналу. При розробці проекту були ураховані всі вимоги нормативно-технічної документації з охорони праці в галузі, і інші чинні нормативні документи та стандарти з безпеки праці.

### 11.2) Умови праці

В якості прикладу розглядається робоче місце оператора (машиніста) машинного відділення аміачної холодильної установки. На цьому робочому місці існують різні шкідливі і небезпечні виробничі фактори, зокрема:

- параметри мікроклімату;
- наявність у повітрі парів аміаку;
- рівень освітленості;
- шум і вібрація;
- наявність працюючих компресорів;
- посудини, що працюють під тиском;
- рухомі елементи обладнання;
- електробезпека;
- пожежо- та вибухонебезпека.

Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

00 ДП.142.008.019.ПЗ

Арк

81



### 11.3) Санітарні вимоги до виробничих приміщень та розташування обладнень

Приміщення машинного відділення розташоване у окремій будівлі відповідно до вимог нормативно-технічної документації. Розміри приміщення машинного відділення складають 24 метри довжини, 12 метрів ширини і 6 метрів висоти. План компресорного цеху включає розташування основного технологічного обладнання.

Вікна у машинному відділенні дворядні, звичайного скла. Над та під машинним відділенням відсутні побутові та допоміжні приміщення. З машинного відділення є два виходи: один виходить на зовнішню територію, а інший - у побутові та допоміжні приміщення. Двері відчиняються у бік виходу. У машинному відділенні розташований один відкритий прямокутник глибиною 1,6 м для розміщення насосів. Прямокутник має своє огороження висотою 1,1 м і дві сходинки з перилами.

Підлога відділення є рівною, неслизькою і виготовлена з вогнетривкого матеріалу. Непрохідні канали та люки закриваються під рівень підлоги знімними металевими рифленими листами. Стіни машинного відділення, холодильне обладнання та трубопроводи покриті фарбою відповідно до чинних стандартів щодо раціонального фарбування поверхонь виробничих приміщень та технологічного обладнання промислових підприємств.

Для обслуговування обладнання чи арматури на висоті понад 1,8 м від підлоги встановлено металеву платформу, яка простягається по всій довжині машинного відділення із огорожею та сходами з обох кінців. Платформа та сходи мають поручні висотою 1,1 м, і відстань між стійками поручнів не перевищує 1,2 м.

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		83

З метою підвищення безпеки експлуатації холодильної установки, конденсатори та лінійні ресивери розміщені ззовні машинного відділення. В компресорному цеху встановлено: два гвинтові компресори фірми GEA Grasso SH C, два поршневі компресори GEA Grasso 6210 та два компресори GEA Grasso 3110. Ширина основного проходу в цеху становить 3 метри, проміжок між виступаючими частинами компресорів – 2 метри, а відстань між стіною та компресором – 2 метри. Циркуляційні ресивери розміщені в машинному відділенні впритул до стіни.

Поруч з машинним відділенням у спеціально відгородженому приміщенні знаходиться пункт управління (ПУ), де розміщений центральний щит управління (ЦЩУ), стіл машиніста біля оглядового вікна і стілець.

#### 11.4) Мікроклімат та чистота повітря

В компресорному відділенні та приміщенні ПУ необхідно забезпечити відповідність параметрів мікроклімату вимогам ДНС 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень" та ГОСТ 12.1.005-88 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны".

Період року	Приміщення	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Теплий	ПУ	22...24°С	75%	0,3 м/с
	Компресорне відділення	18...20 °С	75%	0,4 м/с
Холодний	ПУ	20...21°С	75%	0,2 м/с
	Компресорне відділення	16...18 °С	75%	0,3 м/с

Таб.11.4. Параметри повітря

В машинному і апаратному відділеннях підтримуються параметри мікроклімату та чистота повітря завдяки загальнообмінній механічній вентиляції, теплоізоляції та герметизації компресорів, циркуляційних ресиверів і трубопроводів, а також опаленню у холодний період року.

Система постійно діючої припливно-витяжної вентиляції машинного та апаратного відділення забезпечує наступну кратність повітрообміну за годину:

- приплив – розрахований, але не менше 2;
- витяжка – розрахована, але не менше 3.

Система опалення, опалювальні прилади, теплоносії та їх граничні показники за температурою відповідають вимогам СНиП 2.04.05-91 "Отопление, вентиляция и кондиционирование".

Для контролю концентрації аміаку в повітрі виробничих приміщень та виявлення його витоку використовують газоаналізатори УГ-2 та лакмусовий папір. Контроль проводиться 3 рази на зміну.

Параметри мікроклімату та чистота повітря в приміщенні ПУ підтримуються за допомогою загальнообмінної змішаної припливно-витяжної вентиляції. Подача свіжого повітря забезпечується механічним вентилятором з підігрівом у холодний період року, а видалення забрудненого повітря здійснюється через вентиляційну решітку у верхній частині ПУ за допомогою неорганізованої природної вентиляції.

### **11.5) Вентиляційне повітря розрахунок кількості**

Інтенсивність виділення парів аміаку в машинному відділенні:  
 $G=30$  г/год (по даним вимірювання хімлабораторії)

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		85



Рівень вібрації на робочих місцях також не перевищує допустимі норми, визначені в ГОСТ 12.1.012-90 "Вібраційна безпека". В машинному відділенні це складає 85-88 дБ, а в ПУ - 75-77 дБ.

Зменшення загальної вібрації від роботи компресорів досягається шляхом відсутності жорсткого кріплення трубопроводів до конструкцій будівлі, встановлення компресорів на спеціальних амортизаційних фундаментах, які ізольовані від несучих конструкцій, а також розташування ПУ в місці найменшої віброакустичної дії від працюючого обладнання.

### 11.7) Виробниче освітлення

Освітлення в машинному відділенні та приміщенні управління (ПУ) відповідає вимогам ДБН В.2.5. – 28 – 2006 "Природне і штучне освітлення". У обох приміщеннях забезпечене як природне, так і штучне освітлення. Природне освітлення здійснюється через односторонні бічні прорізи (КПО у машинному відділенні складає 0,2%, у ПУ – 0,9%). Штучне освітлення виконується за допомогою люмінесцентних ламп. Загальний рівень освітлення в робочих приміщеннях складає 75 лк у машинному відділенні та 150 лк у приміщенні управління. Крім того, поруч з щитом управління передбачено місцеве освітлення (лампа розжарювання), яке забезпечує комбінований рівень освітлення на рівні 500 лк.

Машинне і апаратне відділення, а також існуючі підземні прохідні тунелі з ам'ячними трубопроводами і розподільною арматурою оснащені аварійним освітленням, яке працює від незалежного джерела (акумуляторні батареї). Це освітлення автоматично активується при відключенні основного освітлення і забезпечує рівень освітлення не менше 8 лк.

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		87

Розрахунок штучного освітлення в машинному відділенні :

Розміри приміщення: довжина  $a=24$  м; ширина  $b=12$  м; висота  $H=6$  м.

Площа  $S=a*b=24*12=288$  м<sup>2</sup>.

- приймаємо  $E_{\min}=75$  лк;
- тип ламп ЛДЦ – 40;
- світловий потік однієї лампи  $F=1520$  лк;
- тип світильників НОДЛ 2x40;
- кількість ламп у світильнику  $m=2$  шт.

Визначаємо індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{a \times b}{(a + b) \times H};$$
$$i = \frac{24 \times 12}{(24 + 12) \times 6} = 1.5$$

Приймаємо наступні коефіцієнти : коефіцієнт відбиття:

- стелі  $r_{\text{стелі}}=50\%$ ;
- стін  $r_{\text{стін}}=30\%$ .

коефіцієнт використання  $\eta=60,4\%$ . коефіцієнт запасу  $k=1,5$ .

коефіцієнт нерівномірності приймаємо  $z=1,1$ .

Визначаємо необхідну кількість ламп на ділянці виходячи з формули:

$$n = \frac{E_{\min} \times S \times z \times k}{F \times \eta}$$
$$n = \frac{75 \times 288 \times 1,1 \times 1,5}{1520 \times 0,604} = 39 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість ламп  $n=40$  шт. Визначаємо кількість світильників:

$$N = \frac{n}{m} = \frac{40}{2} = 20 \text{ шт.}$$





Світлові сигнали спрацювання пристроїв захисту компресора, а також максимально допустимого і небезпечного рівнів концентрації аміаку в апаратах та посудинах, супроводжуються звуковим сигналом і можуть бути відключені вручну як у машинному відділенні, так і в пункті управління.

У приміщенні машинного відділення встановлено два незалежно працюючих сигналізатори аварійної концентрації аміаку: нижнього рівня ДОЗОР-6-АМІАК-500-Т з восьмома індикаторами контролю концентрації аміаку та верхнього рівня ДОЗОР-6-АМІАК-1500-Т з двома сигналізаторами.

При досягненні концентрації 500 мг/м<sup>3</sup> (0,07%), сигналізатори нижнього рівня надсилають попереджувальний сигнал (світловий і звуковий) у приміщення, де постійно знаходиться персонал на чергуванні. У випадку досягнення концентрації аміаку 1500 мг/м<sup>3</sup> (0,21%), сигналізатори верхнього рівня вимикають електроживлення всієї холодильної установки, вмикають аварійну витяжну вентиляцію (кратність – 10...12 год<sup>-1</sup>), світлову сигналізацію, сирену типу ПВ-СС і світлове табло біля входу в машинне відділення.

Для екстреного відключення електроживлення всього обладнання холодильної установки і робочого освітлення, на зовнішній стіні машинного відділення встановлено кнопки загального аварійного відключення: одна біля робочого входу, інша – біля запасного виходу. Ці кнопки одночасно вмикають аварійну витяжну вентиляцію, сирену і аварійне освітлення. Електроживлення аварійної вентиляції забезпечується як від основного джерела, так і від незалежного. Для індивідуального захисту обслуговуючого персоналу від аміаку застосовується захисний спецодяг, спецвзуття та протигази типу КД.

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		91



- Закриті щити та розташування кабелів і проводки на недоступній висоті.
- Використання знаків безпеки для позначення небезпечних зон.
- Забезпечення надійною ізоляцією силових струмоведучих частин, опір якої становить не менше 0,5 МОм.
- Електрообладнання в виробничих приміщеннях та щиті управління в ПУ обладнане захисним заземленням з ізолюваною нейтраллю типу IT. Опір заземлюючого пристрою не перевищує 4 Ом.
- Захист від струмів короткого замикання забезпечений вбудованими електрозахистними запобіжниками.
- Використання низьких напруг (36 В для ручного інструмента та освітлення щита управління в ПУ, 12 В для переносного світильника у вибухозахищеному виконанні – IP54).

Холодильник, машинне і апаратне відділення обладнані пристроями захисту від блискавки – блискавковідвідниками другої категорії згідно з вимогами РД 34.21.122-87 "Інструкція по захисту від блискавки будівель і споруд".

### **11.10) Пожежо та вибухобезпека**

Машинне відділення відноситься до приміщень з підвищеною вибухо- та пожежонебезпекою категорії Б або до вибухонебезпечних приміщень класу В – Іб, а ПУ відноситься до пожежонебезпечної категорії Д згідно зі стандартами СНиП 2.11.02 – 87 "Холодильники" і ОНТП 24-86 "Визначення категорій приміщень і будівель за вибухопожежною і пожежною безпекою".

В ході експлуатації холодильної установки персонал дотримується вимог "Типових правил пожежної безпеки для промислових підприємств",

						Арк
					00 ДП.142.008.019.ПЗ	93
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		







- 7) Холодильні машини [Електронний ресурс]: курс лекцій (частина 1. Компресори холодильних машин) для студ. освітнього ступеня “Бакалавр” спеціальності 142 “Енергетичне машинобудування” ден. та заоч. форм навч./уклад. А.В.Форсюк. – К.: НУХТ, 2016. – Ч I. – К.: НУХТ, 2016.– 160с.
- 8) Форсюк А.В. Холодильні машини [Електронний ресурс]: курс лекцій (частина III. Допоміжне обладнання холодильних машин) для здобувачів освітнього ступеня “бакалавр” спеціальності 142 “Енергетичне машинобудування” освітньо-професійної програми “Холодильні машини і установки” ден. та заоч. форм навч. / А.В.Форсюк. – К.: НУХТ, 2019. – Ч III. – К.: НУХТ, 2019.– 54 с.
- 9) Петренко В.П. Теплотехнологічні процеси та установки, курс лекцій до вивчення дисципліни для студентів напрямів підготовки 6.050601 "Теплоенергетика" та 6.050604 "Енергомашинобудування". - К.: НУХТ, 2013. - 118 с.

					00 ДП.142.008.019.ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		97