

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

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

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

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності \_\_\_\_\_ 142 Енергетичне машинобудування \_\_\_\_\_

(код та назва спеціальності)

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

на тему: \_\_\_\_\_ Проект холодильного господарства сирзаводу, продуктивністю  
35 тон готової продукції на добу у м. Луцьк \_\_\_\_\_

Виконав: здобувач \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_ ЗХМ-5-бск \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Матвієнко Андрій Сергійович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Бондар Володимир Іванович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній  
роботі немає запозичень із праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Здобувач \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ - 2021р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь \_\_\_\_\_

Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Енергомашинобудування

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач

кафедри ТЕХТ

“ 09 ” листопада 2020 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Матвієнко Андрій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект холодильного господарства сирзаводу, продуктивністю 35 тон готової продукції на добу у м. Луцьк

керівник роботи доцент Бондар Володимир Іванович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 09 ” 11 2020 року №934-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 09.02.2021р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

Холодоагент R717

Тип продукту твердий сир та кисломолочний сир

Ізоляційний сендвіч-панелі на основі пінополіуретана

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

1). Технолог. схема оброблення продукції. \_\_\_\_\_

2). Розрахунок холодильної частини проекту \_\_\_\_\_

3). Техніко економічні показники \_\_\_\_\_

4). Охорона праці \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу

1. План будівлі холодильника \_\_\_\_\_

2. Розріз будівлі холодильника \_\_\_\_\_

3. Схема холодильної установки \_\_\_\_\_



## Зміст

### Вступ

1. Розробка технологічної схеми холодильного оброблення продукції
2. Визначення основних розмірів та планування приміщень холодильника
3. Розрахунок ізоляційних конструкцій
4. Розрахунок теплонадходжень до охолоджуваних приміщень
5. Визначення навантаження на обладнання камер та компресори
6. Вибір розрахункового робочого режиму, побудова циклу та тепловий розрахунок холодильної машини. Вибір компресорів
7. Розрахунок та вибір тепломасообмінних апаратів
8. Розрахунок та вибір допоміжного обладнання холодильної установки
9. Розрахунок діаметрів трубопроводів
10. Визначення гідравлічних втрат у трубопроводах
11. Вибір насосів
12. Техніко-економічні показники
13. Охорона праці

### Список використаної літератури

|                  |             |                       |               |             |                                  |              |               |                       |  |
|------------------|-------------|-----------------------|---------------|-------------|----------------------------------|--------------|---------------|-----------------------|--|
|                  |             |                       |               |             | <i>00. БП. 142. 010. 010. ПЗ</i> |              |               |                       |  |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                                  |              |               |                       |  |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Матвієнко А.С.</i> |               |             | <i>Лім.</i>                      | <i>Лист.</i> | <i>Листів</i> |                       |  |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Бондар В.І.</i>    |               |             |                                  |              |               |                       |  |
| <i>Реценз.</i>   |             |                       |               |             | <i>Зміст</i>                     |              |               |                       |  |
| <i>Н. Контр.</i> |             |                       |               |             |                                  |              |               |                       |  |
| <i>Затверд.</i>  |             | <i>Петренко В.П.</i>  |               |             |                                  |              |               | <i>НУХТ ЗХМ-5-6ск</i> |  |

## Вступ

Враховуючи сучасні перспективи молочної промисловості для збільшення об'єму виробництва та переробки, асортименту, покращення якості цільномолочної продукції та підвищенні ефективності виробництва постає питання у будівництві нового об'єкту – сирзаводу, який буде здатний задовольнити попит споживачів безпосередньо у регіоні будівництва, а також працювати на експорт. Процес переробки початкової сировини – молока – тісно пов'язаний з холодильною технікою та технологією, так як молочна продукція належить до продуктів харчування, які швидко псуються.

Молочна продукція є незмінним продуктом споживання більшості українців, саме тому актуальність розробки проекту на будівництво сирзаводу постає дуже гостро. Основною проблемою при проектуванні сирзаводу є те, що молоко на підприємство надходить непостійно, а в певний період доби, то максимальне теплонадходження на холодильне обладнання припадає на денний час, в той час як вночі теплове навантаження спадає. За рахунок цього обладнання, яке підбирається по максимальному навантаженні призводить до значного збільшення капітальних фінансових витрат.

Виходячи з вище наведеного, останнім часом широкого поширення набуло використання льодоакумуляторів, які в нічний період доби акумулюють холод, а в пікові години її використовують на технологічні потреби. Це значно знижує навантаження на компресори в час прийняття молока та основного процесу його обробки для подальшої переробки.

В даному проекті ведеться розрахунок господарства сирзаводу, продуктивністю 35 тон готової продукції на добу у м. Луцьк.

|                  |             |                       |               |             |                                  |                       |              |               |
|------------------|-------------|-----------------------|---------------|-------------|----------------------------------|-----------------------|--------------|---------------|
|                  |             |                       |               |             | <i>00. БП. 142. 010. 010. ПЗ</i> |                       |              |               |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                                  |                       |              |               |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Матвієнко А.С.</i> |               |             | <i>Вступ</i>                     | <i>Лім.</i>           | <i>Лист.</i> | <i>Листів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Бондар В.І.</i>    |               |             |                                  |                       |              |               |
| <i>Реценз.</i>   |             |                       |               |             |                                  |                       |              |               |
| <i>Н. Контр.</i> |             |                       |               |             |                                  |                       |              |               |
| <i>Затверд.</i>  |             | <i>Петренко В.П.</i>  |               |             |                                  |                       |              |               |
|                  |             |                       |               |             |                                  | <i>НУХТ ЗХМ-5-6ск</i> |              |               |

# 1. Розробка технологічної схеми холодильного оброблення продукції

Дипломний проект розробляю на підставі завдання «Проект холодильного господарства сирзаводу, продуктивністю 35 тон готової продукції на добу у м. Луцьк».

Продукцією підприємства обрано твердий сир (50% жирності) – 25 т/добу та кисломолочні сири (0...5% жирності) – 10 тон на добу.

Для отримання обраних продуктів у необхідній добовій кількості необхідно перероблять 350 т молока на добу.

## 1.1 Цех приймання молока

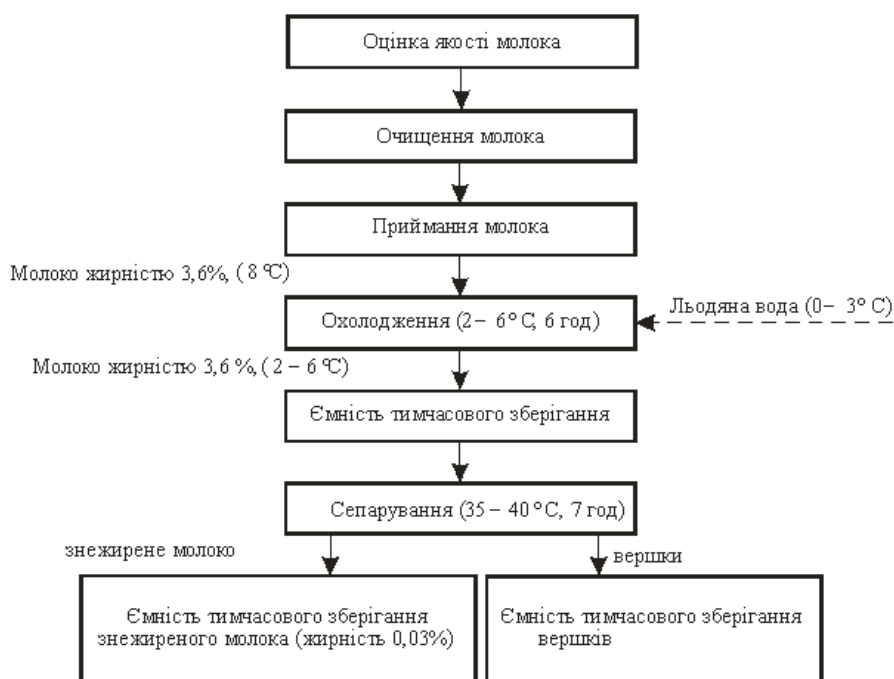


Рис.1 Принципова технологічна схема цеху приймання молока

При початковому надходженні молока на переробне підприємство його жирність в основному становить 3,6 %, після чого його охолоджують за допомогою пластинчастих охолодників А1 – ООЛ – 25. Далі його сепарують, використовуючи сепаратор ОСЦП – 15 до необхідної жирності 50 %.

|           |      |                |        |      |  |                |       |        |
|-----------|------|----------------|--------|------|--|----------------|-------|--------|
|           |      |                |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ  |                |       |        |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |  |                |       |        |
| Розроб.   |      | Матвієнко А.С. |        |      | Розробка технологічної схеми<br>холодильного оброблення<br>продукції | Літ.           | Лист. | Листів |
| Перевір.  |      | Бондар В.І.    |        |      |  |                |       |        |
| Реценз.   |      |                |        |      |  | НУХТ ЗХМ-5-6ск |       |        |
| Н. Контр. |      |                |        |      |  |                |       |        |
| Затверд.  |      | Петренко В.П.  |        |      |  |                |       |        |

При сепаруванні 350 т молока отримаємо наступні продукти: маса вершків із жирністю 50 % становить 25,005 т, а маса обрату з жирністю 0,03 % становить 324,995 т. Для подальшого виробництва твердого та кисломолочного сирів необхідно провести масо-жирові розрахунки.

Якості молока визначається лабораторним методам складу (жиру, білка тощо) контрольних проб молока, які були відібрані від тварин протягом доби, та проводиться з метою індивідуальної оцінки молочної продуктивності кожної тварини. Під час приймання молоко пропускають крізь фільтр, а далі по черзі — через насос, повітровідокремлювач та лічильник у резервуар проміжного зберігання. Молоко, яке призначене для сепарування, підігрівають до температури 45 – 50 °С.

Після сепарації знежирене молоко та вершки збирають у баки зберігання та подають на подальшу технологічну обробку.

## 1.2 Цех виготовлення твердого сиру

Після сепарації вершки надходять до установки пастеризації, де вершки пастерезують при температурі 71-72 °С та з витримкою 20 секунд. Далі їх охолоджують до температури сквашування 33-35°С. Процес сквашування відбувається на протязі 30 секунд, після чого частину сироватки, що відділилася, зливають та починають формувати сирне зерно спеціальними лезами. Процес формування сирного зерна триває 15-20 хв., після чого масу знову підігрівають до 52-55 °С та витримують при такій температурі 20-40 хв.

Після повторного нагрівання сирну масу вимішують на протязі 40-80 хв. і відправляють на пресування. Процес пресування відбувається в два етапи. Перше пресування триває 15-25 хв. при тиску 0,2 бар на 1 см<sup>2</sup>, після чого сирну масу загортають у серпянку та переносять у пресувальні форми. Сирну масу залишають на 30 хв. для самопресування, після чого його вдруге пресують на протязі 6-8 год. поступово збільшуючи тиск від 1,5-2 бар на 1 см<sup>2</sup> до 5-6 бар на 1 см<sup>2</sup>.

Після пресування сирну масу переносять в камеру соління, де відбувається соління сиру у спеціальних ваннах з розсолем, концентрація

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

якого 20-22 % на протязі 4-6 днів. Температура в камері соління 8-10 °С та при відносній вологості повітря 90-92%.

Після соління сир обсушується на стелажах, які встановлені в камері соління, на протязі 3-5 діб і витримується так само на протязі 15-20 діб.

Після сушіння сир переноситься в камеру бродіння, де зберігається 15-35 діб при температурі 20 °С. Саме в процесі бродіння сир набуває свого смаку та аромату. Остаточний смак сир набуває в камері дозрівання за 2-3 місяця при 10-12 °С та відносної вологості повітря 86-90%.

Через 5-6 днів після камери бродіння отримані сири загортають у плівку, у якій сир дозріває.

Після закінчення періоду дозрівання сири переносяться в камеру зберігання або ж відправлення замовнику.

На протязі всього періоду виробництва сиру на підприємстві (соління, сушіння, бродіння та дозрівання) постійно проводяться візуальні огляди продукції та її інспекція. При виявленні будь-яких дефектів сири відправляються на миття та повторне сушіння або ж на відбраківку (при значних пошкодженнях).

Час виготовлення сиру досить тривалий (біля 3-4 місяців).

Відповідно до цих даних приймаємо місткості камер:

Для соління сиру: 200 тон;

Для бродіння: 250 тон;

Для дозрівання: 350 тон;

Для зберігання сиру: 500 тон;

За розрахунками готовий твердий сир зберігаємо на підприємстві до 3 тижнів при температурі 4 °С. Кисломолочний сир перебуває на підприємстві 2 доби при температурі 5 °С.

### **1.3 Цех виготовлення кисломолочного сиру**

Для виробництва кисломолочного сиру вершки пастеризуються та охолоджуються до температури заквашування у пастеризаторі – охолоднику А1 – ОПЛ – 10.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |



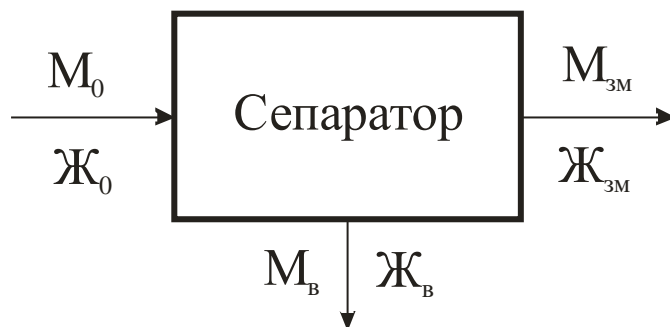
Для кисломолочного сиру проектуємо камеру зберігання на 25 тон (10,835 тон на добу та термін зберігання 2 доби).

### 1.4 Масо-жирові розрахунки

#### Цех приймання молока

Баланс сепаратора вершків високої жирності:

Жирність молока  $J_0 = 3,6 \%$ , кількість молока  $M_0 = 350$  т. Жирність вершків  $J_B = 50 \%$ , жирність знежиреного молока  $J_{3M} = 0,03 \%$



$$M_{3M} = \frac{M_0 \cdot (J_B - J_0)}{J_B - J_{3M}}$$

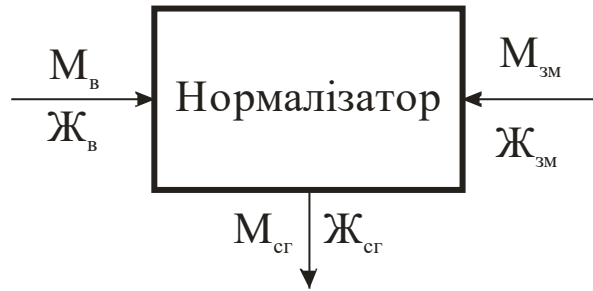
$$M_{3M} = \frac{350000 \cdot (3,6 - 50)}{50 - 0,03} = 324995 \text{ кг}$$

$$M_B = M_0 - M_{3M} = 350000 - 324995 = 25005 \text{ кг}$$

#### Цех виготовлення кисломолочного сиру

Баланс нормалізатора вершків та віддільника сироватки:

Жирність вершків  $J_B = 50 \%$ , кількість вершків  $M_B = 1,205$  т. Жирність кисломолочного сиру  $J_{\text{сиру}} = 5 \%$ , жирність знежиреного молока  $J_{3M} = 0,03 \%$ , жирність сирного згустку  $J_{\text{сг}} = 2,5 \%$ , жирність сироватки  $J_{\text{св}} = 0,5 \%$



$$M_{сг} = \frac{M_B \cdot (Ж_B - Ж_{ЗМ})}{Ж_{сг} - Ж_{ЗМ}} = \frac{1205 \cdot (50 - 0,03)}{2,5 - 0,03} = 24378 \text{ кг}$$

$$M_{ЗМ} = M_{сг} - M_B = 24378 - 1205 = 23173 \text{ кг}$$



$$M_{сиру} = \frac{M_{сг} \cdot (Ж_{сг} - Ж_{св})}{Ж_{сиру} - Ж_{св}} = \frac{24378 \cdot (2,5 - 0,5)}{5 - 0,5} = 10835 \text{ кг}$$

$$M_{св} = M_{сг} - M_{сиру} = 24378 - 10835 = 13543 \text{ кг}$$

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

00. БП. 142. 010. 010. ПЗ

Лист

## 2. Визначення основних розмірів та планування приміщень холодильника

2.1. Розраховуємо будівельну площу для камери зберігання:

$$F_{\text{буд}} = \frac{B_k}{q_v \cdot \beta_F \cdot h_{\text{зр}}} , \text{ м}^2$$

де  $B_k$  - місткість камери, т;

$q_v$  - норма завантаження продукту в камеру, т/м<sup>3</sup>;

$\beta_F$  - коефіцієнт використання будівельної площі камери;

$h_{\text{зр}}$  - вантажна висота камери, м.

2.1.1. Розраховуємо будівельну площу камери соління твердого сиру:

$$F_{\text{буд1}} = \frac{200}{0,35 \cdot 0,8 \cdot 5} = 142,85 \text{ м}^2$$

2.1.2. Розраховуємо будівельну площу камери бродіння твердого сиру:

$$F_{\text{буд2}} = \frac{250}{0,35 \cdot 0,8 \cdot 5} = 178,57 \text{ м}^2$$

2.1.3. Розраховуємо будівельну площу камери дозрівання твердого сиру:

$$F_{\text{буд3}} = \frac{350}{0,35 \cdot 0,8 \cdot 5} = 250 \text{ м}^2$$

2.1.4. Розраховуємо будівельну площу камери зберігання твердого сиру:

$$F_{\text{буд4}} = \frac{500}{0,35 \cdot 0,8 \cdot 5} = 357,14 \text{ м}^2$$

2.1.5. Розраховуємо будівельну площу камери зберігання кисломолочного сиру:

$$F_{\text{буд4}} = \frac{25}{0,35 \cdot 0,8 \cdot 5} = 17,86 \text{ м}^2$$

2.2. розраховую площу одного будівельного прямокутника:

$$f = b \cdot l = 6 \cdot 12 = 72 \text{ м}^2$$

|                  |             |                       |               |             |  |                       |              |               |
|------------------|-------------|-----------------------|---------------|-------------|--|-----------------------|--------------|---------------|
|                  |             |                       |               |             | <i>00. БП. 142. 010. 010. ПЗ</i>   |                       |              |               |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |                       |              |               |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Матвієнко А.С.</i> |               |             | <i>Визначення основних розмірів<br/>та планування приміщень<br/>холодильника</i> | <i>Літ.</i>           | <i>Лист.</i> | <i>Листів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Бондар В.І.</i>    |               |             |  |                       |              |               |
| <i>Реценз.</i>   |             |                       |               |             |  | <i>НУХТ ЗХМ-5-бск</i> |              |               |
| <i>Н. Контр.</i> |             |                       |               |             |  |                       |              |               |
| <i>Затверд.</i>  |             | <i>Петренко В.П.</i>  |               |             |  |                       |              |               |

де  $b$  - ширина будівельного прямокутника, м;

$l$  - довжина будівельного прямокутника, м.

2.3. Розраховуємо кількість будівельних прямокутників:

$$n = \frac{F_{\text{буд}}}{f}$$

2.3.1. Розраховуємо кількість будівельних прямокутників для камери соління твердого сиру:

$$n_1 = \frac{142,85}{72} = 1,98 \text{ шт.}$$

Приймаємо 2 прямокутника.

2.3.2. Розраховуємо кількість будівельних прямокутників для камери бродіння твердого сиру:

$$n_2 = \frac{178,57}{72} = 2,48 \text{ шт.}$$

Приймаємо 3 прямокутника.

2.3.3. Розраховуємо кількість будівельних прямокутників для камери дозрівання твердого сиру:

$$n_3 = \frac{250}{72} = 3,47 \text{ шт.}$$

Приймаємо 4 прямокутника.

2.3.4. Розраховуємо кількість будівельних прямокутників для камери зберігання твердого сиру:

$$n_4 = \frac{357,14}{72} = 4,96 \text{ шт.}$$

Приймаємо 5 прямокутників.

2.3.5. Розраховуємо кількість будівельних прямокутників для камери зберігання кисломолочного сиру:

$$n_5 = \frac{17,85}{72} = 0,25 \text{ шт}$$

Приймаємо 1 прямокутник.

2.4. Розраховуємо загальну площу камер зберігання:

$$\sum F_{\text{буд}} = 72 + 2 \cdot 72 + 3 \cdot 72 + 4 \cdot 72 + 5 \cdot 72 = 1080 \text{ м}^2$$

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

2.5. Розраховуємо площу експедиції (в ролі експедиції виступає закрита автоплатформа):

$$F_{\text{екс}} = 0,4 \cdot \frac{\sum M}{0,35} = 0,4 \cdot \frac{35}{0,35} = 40 \text{ м}^2$$

де  $\sum M$  - загальне добове надходження продукту в камери, т/добу.

Ширина автоплатформи приймаємо 3 м, а довжина – 30 м.

2.6. Розраховуємо площу допоміжних приміщень:

$$F_{\text{доп}} = 0,35 \cdot \sum F_{\text{буд}} = 0,35 \cdot 1080 = 378 \text{ м}^2$$

2.6.1. Розраховуємо кількість будівельних прямокутників для допоміжних приміщень:

$$n_{\text{доп}} = \frac{378}{72} = 5,25 \text{ шт}$$

Приймаємо 5 будівельних прямокутників.

2.8. Визначаємо загальну площу холодильника в ізоляційному контурі:

$$F_{\text{хол}} = \sum F_{\text{буд}} + F_{\text{екс}} + F_{\text{доп}} = 1080 + 90 + 360 = 1530 \text{ м}^2$$

2.9. Визначаємо площу службових приміщень:

$$F_{\text{сл}} = 0,3 \cdot \sum F_{\text{буд}} = 0,3 \cdot 1080 = 324 \text{ м}^2$$

2.10. Визначаємо площу машинного відділення:

$$F_{\text{маш.}} = 0,1 \cdot \sum F_{\text{буд}} = 0,1 \cdot 1080 = 108 \text{ м}^2$$

4.11. Знаходимо загальну площу всього холодильника:

$$F = F_{\text{хол}} + F_{\text{сл}} + F_{\text{маш.}} = 1530 + 324 + 108 = 1962 \text{ м}^2$$

Отримані результати зводжу до таблиці 1.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Таблиця 1

| Назва камери, приміщення           | Ек,<br>т | $\beta_F$ | $h_{в}$<br>м | $F_{буд}$<br>м <sup>2</sup> | $f$<br>м <sup>2</sup> | $n$ | $F_d$<br>м <sup>2</sup> |
|------------------------------------|----------|-----------|--------------|-----------------------------|-----------------------|-----|-------------------------|
| 1. Соління твердого сиру           | 200      | 0,8       | 5            | 142,85                      | 72                    | 2   | <b>144</b>              |
| 2. Бродіння твердого сиру          | 250      | 0,8       | 5            | 178,57                      | 72                    | 3   | <b>216</b>              |
| 3. Дозрівання твердого сиру        | 350      | 0,8       | 5            | 250                         | 72                    | 4   | <b>288</b>              |
| 4. Зберігання твердого сиру        | 500      | 0,8       | 5            | 357,14                      | 72                    | 5   | <b>360</b>              |
| 5. Зберігання кисломолочного сиру  | 25       | 0,8       | 5            | 17,85                       | 72                    | 1   | <b>72</b>               |
| Експедиція                         |          |           |              | 90                          |                       |     | <b>90</b>               |
| Допоміжні приміщення               |          |           |              | 378                         |                       |     | <b>378</b>              |
| Холодильник в ізоляційному контурі |          |           |              | 1530                        |                       |     | <b>1530</b>             |
| Службові приміщення                |          |           |              | 324                         |                       |     | <b>324</b>              |
| Холодильник                        |          |           |              |                             |                       |     | <b>1962</b>             |

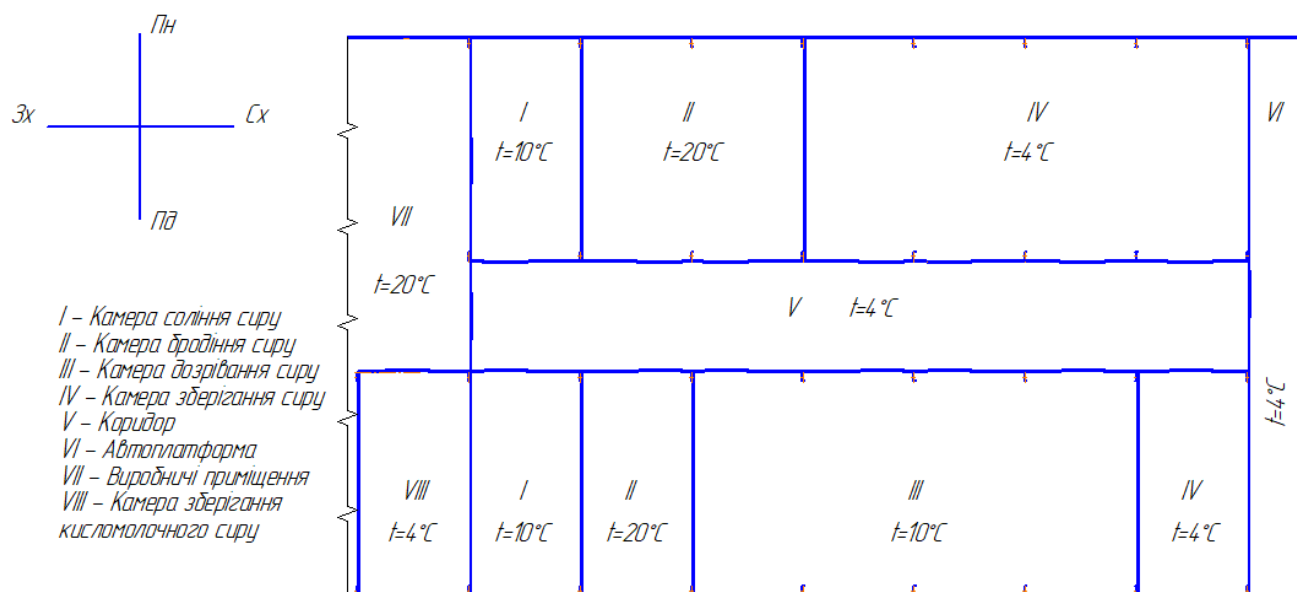


Рис. 3 Планування приміщення холодильника сирзаводу

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

### 3. Розрахунок ізоляційних конструкцій

В якості ізоляційних конструкцій обираю сендвіч-панелі на основі пінополіуретана. Саме сендвіч-панелями виконую теплоізоляцію камер та службових приміщень.

Основні технічні характеристики сендвіч-панелей на основі пінополіуретана наводжу у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

| Найменування показників   | Величина показників |
|---|---------------------|
| Густина, кг/м <sup>3</sup> , не більше  | 55                  |
| Теплопровідність, Вт/(м <sup>2</sup> ·К), не більше   | 0,022               |
| Волого-поглинання за 24 години при відносній вологості повітря 96%, % від об'єму, не більше | 0,1                 |
| Міцність зчеплення з металевим листом, МПа(кгс/см <sup>2</sup> )                            |                     |
| при рівномірному відриві  | 0,20 (2,0)          |
| при зміщенні  | 0,25 (2,5)          |
| Міцність при розтягненні, МПа(кгс/см <sup>2</sup> ), не менше                               | 0,20 (2,0)          |
| Міцність при зміщенні, МПа(кгс/см <sup>2</sup> ), не менше                                  | 0,25 (2,5)          |
| Модуль пружності при розтягненні, МПа(кгс/см <sup>2</sup> ), не менше                       | 12 (120)            |
| Модуль зміщення, МПа(кгс/см <sup>2</sup> ), не менше  | 4,5 (45)            |
| Склад добавок, що гасять полум'я, % від ваги, не менше                                      | 5                   |
| Товщина металевого листа δ, мм  | 0,5                 |
| Коефіцієнт теплопровідності металевого листа λ, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)                      | 46,5                |

Для розрахунку товщини ізоляції зовнішніх стін необхідні параметри зовнішнього повітря місця будівництва холодильника приводжу у табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Розрахункові параметри зовнішнього повітря

| Місто | Розрахункова температура, °С |        |               | Відносна вологість повітря, % |        |
|-------|------------------------------|--------|---------------|-------------------------------|--------|
|       | літня                        | зимова | середньорічна | літня                         | зимова |
| Луцьк | 22                           | -10    | 7,4           | 72                            | 82     |

|           |      |                |        |      |   |                       |       |        |
|-----------|------|----------------|--------|------|---|-----------------------|-------|--------|
|           |      |                |        |      | <i>00. БП. 142. 010. 010. ПЗ</i>              |                       |       |        |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |   |                       |       |        |
| Розроб.   |      | Матвієнко А.С. |        |      | <i>Розрахунок ізоляційних<br/>конструкцій</i> | Літ.                  | Лист. | Листів |
| Перевір.  |      | Бондар В.І.    |        |      |   |                       |       |        |
| Реценз.   |      |                |        |      |   | <i>НУХТ ЗХМ-5-6ск</i> |       |        |
| Н. Контр. |      |                |        |      |   |                       |       |        |
| Затверд.  |      | Петренко В.П.  |        |      |   |                       |       |        |

### 3.1 Розрахунок теплоізоляції огорожуючих конструкцій

Необхідно розрахувати потрібну товщину ізоляційного шару для зовнішніх стін [8.2 літ. 1]:

$$\delta_{із} = \lambda_{із} \cdot \left[ \frac{1}{K_0} - \left( \frac{1}{\alpha_3} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_6} \right) \right], м,$$

де  $\lambda_{із}$  - коефіцієнт теплопровідності ізоляції,  $Вт/(м \cdot К)$  ;

$K_0$  - оптимальний коефіцієнт теплопередачі,  $Вт/(м^2 \cdot К)$  ;

$\alpha_3$  - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої або більш теплої сторони огороження,  $Вт/(м^2 \cdot К)$  ;

$\alpha_6$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої або більш холодної сторони огороження,  $Вт/(м^2 \cdot К)$  .

Розрахункове значення товщини теплоізоляції округлюємо до більшого значення для підбору товщини ізоляції із стандартного ряду типорозмірів.

Далі необхідно зробимо перерахунок коефіцієнта теплопередачі:

$$K_0^Д = \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_{зов.}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн.}} \right) + \frac{\delta_{із}^0}{\lambda_{із.}}}$$

Розрахунок проводимо для одної камери, як приклад. Далі інші камери розраховуємо аналогічно. Отримані розрахункові дані зводимо до табл. 3.3.

**Камера соління сиру  $t_{кам} = 10^\circ C$**

**Зовнішня стіна (північна):**

$\lambda_{із} = 0,022 \text{ Вт}/(м \cdot К)$  ;  $K_0 = 0,6 \text{ Вт}/(м^2 \cdot К)$  ;  $\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(м^2 \cdot К)$  ;

$\alpha_6 = 9 \text{ Вт}/(м^2 \cdot К)$  .

Сумарний термічний опір:

$$R = \frac{\delta_i}{\lambda_i} = \frac{0,0005 \cdot 2}{46,5} = 0,000022 \frac{(м^2 \cdot К)}{Вт}$$

$$\delta_{із} = 0,022 \cdot \left[ \frac{1}{0,6} - \left( \frac{1}{23} + 0,000022 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,033$$

Обираємо товщину сендвіч- панелей зі стандартного ряду  $\delta_{із}^0 = 50 \text{ мм}$  .

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

00. БП. 142. 010. 010. ПЗ



$$K_0^D = \frac{1}{\left(\frac{1}{9} + 0,000022 + \frac{1}{9}\right) + \frac{0,05}{0,022}} = 0,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

**Покрівля камери:**

$$\lambda_{i3} = 0,022 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) ; K_0 = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) ;$$

$$\alpha_3 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) ; \alpha_6 = 9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) .$$

Сумарний термічний опір:

$$\delta_{i3} = 0,022 \cdot \left[ \frac{1}{0,5} - \left( \frac{1}{23} + 0,000022 + \frac{1}{9} \right) \right] = 0,0406$$

Обираємо товщину сендвіч- панелей зі стандартного ряду  $\delta_{i3}^0 = 50\text{мм}$ .

$$K_0^D = \frac{1}{\left(\frac{1}{23} + 0,000022 + \frac{1}{9}\right) + \frac{0,05}{0,022}} = 0,412 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Таблиця 3.3

| Огородження   | t <sub>в</sub> ,<br>°С | α <sub>зов</sub> ,<br>Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | α <sub>в</sub> ,<br>Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | Товщина теплоізоляційного шару, м |                              | Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м <sup>2</sup> ·К) |                             |
|---|------------------------|--|--|-----------------------------------|------------------------------|--|-----------------------------|
|   |                        |  |  | δ <sub>i3</sub> <sup>n</sup>      | δ <sub>i3</sub> <sup>0</sup> | K <sub>0</sub>                                   | K <sub>0</sub> <sup>D</sup> |
| <b>Камера соління сиру №1</b>                                 |                        |  |  |                                   |                              |  |                             |
| Зовнішня стіна  | 10                     | 23   | 9  | 0,033                             | 0,05                         | 0,6  | 0,412                       |
| Між камерою соління та коридором                              | 10                     | 9  | 9  | 0,0374                            | 0,05                         | 0,52   | 0,4                         |
| Між камерою соління та виробничими приміщеннями               | 10                     | 9  | 9  | 0,0374                            | 0,05                         | 0,52   | 0,4                         |
| Між камерою соління та камерою бродіння сиру                  | 10                     | 9  | 9  | 0,0374                            | 0,05                         | 0,52   | 0,4                         |
| Покрівля  | 10                     | 23   | 9  | 0,0406                            | 0,05                         | 0,5  | 0,412                       |
| <b>Камера соління сиру №2</b>                                 |                        |  |  |                                   |                              |  |                             |
| Зовнішня стіна  | 10                     | 23   | 9  | 0,033                             | 0,05                         | 0,6  | 0,412                       |
| Між камерою соління та камерою зберігання кисломолочного сиру | 10                     | 9  | 9  | 0,0374                            | 0,05                         | 0,52   | 0,4                         |

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

00. БП. 142. 010. 010. ПЗ

Лист

|  |    |    |   |        |      |      |       |
|--|----|----|---|--------|------|------|-------|
| Між камерою соління та камерою бродіння                    | 10 | 9  | 9 | 0,0374 | 0,05 | 0,52 | 0,4   |
| Між камерою та коридором                                   | 10 | 9  | 9 | 0,0374 | 0,05 | 0,52 | 0,4   |
| Покрівля   | 10 | 23 | 9 | 0,036  | 0,05 | 0,5  | 0,412 |
| Камера бродіння сиру №1                                    |    |    |   |        |      |      |       |
| Зовнішня стіна   | 20 | 23 | 9 | 0,033  | 0,05 | 0,6  | 0,412 |
| Між камерою бродіння і камерою соління                     | 20 | 9  | 9 | 0,0374 | 0,05 | 0,52 | 0,4   |
| Між камерою та коридором                                   | 20 | 9  | 9 | 0,0419 | 0,05 | 0,47 | 0,4   |
| Між камерою бродіння та камерою зберігання твердого сиру   | 20 | 9  | 9 | 0,0419 | 0,05 | 0,47 | 0,4   |
| Покрівля   | 20 | 23 | 9 | 0,033  | 0,05 | 0,6  | 0,412 |
| Камера бродіння сиру №2                                    |    |    |   |        |      |      |       |
| Зовнішня стіна   | 20 | 23 | 9 | 0,033  | 0,05 | 0,6  | 0,412 |
| Між камерою бродіння і камерою соління                     | 20 | 9  | 9 | 0,0374 | 0,05 | 0,52 | 0,4   |
| Між камерою та коридором                                   | 20 | 9  | 9 | 0,0419 | 0,05 | 0,47 | 0,4   |
| Між камерою бродіння та камерою дозрівання                 | 20 | 9  | 9 | 0,0391 | 0,05 | 0,5  | 0,4   |
| Покрівля   | 20 | 23 | 9 | 0,033  | 0,05 | 0,6  | 0,412 |
| Камера дозрівання сиру                                     |    |    |   |        |      |      |       |
| Зовнішня стіна   | 10 | 23 | 9 | 0,033  | 0,05 | 0,6  | 0,412 |
| Між камерою дозрівання та камерою бродіння                 | 10 | 9  | 9 | 0,0391 | 0,05 | 0,5  | 0,4   |
| Між камерою та коридором                                   | 10 | 9  | 9 | 0,0374 | 0,05 | 0,52 | 0,4   |
| Між камерою дозрівання та камерою зберігання твердого сиру | 10 | 9  | 9 | 0,0374 | 0,05 | 0,52 | 0,4   |
| Покрівля   | 10 | 23 | 9 | 0,036  | 0,05 | 0,5  | 0,412 |
| Камера зберігання сиру №1                                  |    |    |   |        |      |      |       |
| Зовнішня стіна   | 4  | 23 | 9 | 0,0466 | 0,05 | 0,44 | 0,412 |

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

00. БП. 142. 010. 010. ПЗ

Лист

|  |   |    |   |        |      |      |       |
|--|---|----|---|--------|------|------|-------|
| Між камерою зберігання та камерою бродіння       | 4 | 9  | 9 | 0,0419 | 0,05 | 0,47 | 0,4   |
| Між камерою та коридором                         | 4 | 9  | 9 | 0,033  | 0,05 | 0,58 | 0,4   |
| Між камерою зберігання та автоплатформою         | 4 | 9  | 9 | 0,033  | 0,05 | 0,58 | 0,4   |
| Покрівля   | 4 | 23 | 9 | 0,0489 | 0,05 | 0,42 | 0,412 |
| Камера зберігання сиру №2                        |   |    |   |        |      |      |       |
| Зовнішня стіна                                   | 4 | 23 | 9 | 0,0466 | 0,05 | 0,44 | 0,412 |
| Між камерою зберігання та камерою дозрівання     | 4 | 9  | 9 | 0,0358 | 0,05 | 0,54 | 0,4   |
| Між камерою та коридором                         | 4 | 9  | 9 | 0,033  | 0,05 | 0,58 | 0,4   |
| Між камерою зберігання та автоплатформою         | 4 | 9  | 9 | 0,033  | 0,05 | 0,58 | 0,4   |
| Покрівля   | 4 | 23 | 9 | 0,0489 | 0,05 | 0,42 | 0,412 |
| Камера зберігання кисломолочного сиру            |   |    |   |        |      |      |       |
| Зовнішня стіна                                   | 4 | 23 | 9 | 0,0466 | 0,05 | 0,44 | 0,412 |
| Між камерою зберігання та виробничим приміщенням | 4 | 9  | 9 | 0,0429 | 0,05 | 0,46 | 0,4   |
| Між камерою зберігання та камерою соління        | 4 | 9  | 9 | 0,038  | 0,05 | 0,54 | 0,4   |
| Покрівля   | 4 | 23 | 9 | 0,0489 | 0,05 | 0,42 | 0,412 |
| Автомобільна платформа                           |   |    |   |        |      |      |       |
| Зовнішня стіна                                   | 4 | 23 | 9 | 0,0466 | 0,05 | 0,44 | 0,412 |
| Між автоплатформою та камерою зберігання         | 4 | 9  | 9 | 0,033  | 0,05 | 0,58 | 0,4   |
| Між автоплатформою та коридором                  | 4 | 9  | 9 | 0,033  | 0,05 | 0,58 | 0,4   |
| Покрівля   | 4 | 23 | 9 | 0,0489 | 0,05 | 0,42 | 0,412 |

#### 4. Розрахунок теплонадходжень до охолоджуваних приміщень

Загальна кількість теплонадходжень, які надходять до охолоджуваних приміщення холодильника:

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

де  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5$  – теплонадходження відповідно через огорожувальні конструкції, від продуктів при холодильному оброблені, від вентиляції приміщень, експлуатаційні теплонадходження, а також тепловиділення від продуктів під час дихання.

##### 4.1. Теплонадходження через огорожуючі конструкції

$$Q_1 = Q_{1T} + Q_{1C}, \text{Вт};$$

де  $Q_{1T}, Q_{1C}$  - теплонадходження від стін, простінок, перекриттів, покрівлі, через підлогу та від сонячної радіації, Вт.

$$Q_{1T} = K_d \cdot F \cdot (t_{\text{зовн}} - t_{\text{вн}})$$

Визначаю теплонадходження від дії сонячної радіації:

$$Q_{1C} = K_o \cdot F \cdot \Delta t, \text{Вт}$$

де  $\Delta t$  - надлишкова різниця температури від дії сонячної радіації, °C.

##### Камера соління сиру:

Розглянемо північну сторону камери:

$$Q_{1T} = 0,412 \cdot 36 \cdot (22 - 10) = 0,178 \text{ кВт};$$

$$Q_{1C} = 0 \text{ кВт};$$

$$Q_1 = 0,178 + 0 = 0,178 \text{ кВт}.$$

Розглянемо південну сторону камери:

$$Q_{1T} = 0,4 \cdot 36 \cdot (4 - 10) = -0,0864 \text{ кВт};$$

$$Q_{1C} = 0 \text{ кВт};$$

$$Q_1 = -0,0864 + 0 = -0,0864 \text{ кВт}.$$

|                  |             |                       |               |             |  |                       |              |               |
|------------------|-------------|-----------------------|---------------|-------------|--|-----------------------|--------------|---------------|
|                  |             |                       |               |             | <i>00. БП. 142. 010. 010. ПЗ</i>                                     |                       |              |               |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |                       |              |               |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Матвієнко А.С.</i> |               |             | <i>Розрахунок<br/>теплонадходжень до<br/>охолоджуваних приміщень</i> | <i>Лім.</i>           | <i>Лист.</i> | <i>Листів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Бондар В.І.</i>    |               |             |  |                       |              |               |
| <i>Реценз.</i>   |             |                       |               |             |  |                       |              |               |
| <i>Н. Контр.</i> |             |                       |               |             |  |                       |              |               |
| <i>Затверд.</i>  |             | <i>Петренко В.П.</i>  |               |             |  |                       |              |               |
|                  |             |                       |               |             |  | <i>НУХТ ЗХМ-5-6ск</i> |              |               |

Розглянемо західну сторону камери:

$$Q_{1T} = 0,4 \cdot 72 \cdot (20 - 10) = 0,288 \text{ кВт};$$

$$Q_{1C} = 0 \text{ кВт};$$

$$Q_1 = 0,288 + 0 = 0,288 \text{ кВт}.$$

Розглянемо східну сторону камери:

$$Q_{1T} = 0,4 \cdot 72 \cdot (20 - 10) = 0,288 \text{ кВт};$$

$$Q_{1C} = 0 \text{ кВт};$$

$$Q_1 = 0,288 + 0 = 0,288 \text{ кВт}.$$

Розглянемо покривлю камери:

$$Q_{1T} = 0,412 \cdot 72 \cdot (20 - 10) = 0,356 \text{ кВт};$$

$$Q_{1C} = 0,412 \cdot 72 \cdot 14,9 = 0,442 \text{ кВт};$$

$$Q_1 = 0,356 + 0,442 = 0,798 \text{ кВт}.$$

Отже, загальна кількість теплонадходжень в розглянуту камеру складає:

$$Q_1 = 0,178 - 0,0864 + 0,288 + 0,288 + 0,798 = 1,465 \text{ кВт}.$$

Інші камери розраховуємо аналогічно. Всі розрахункові дані зводжу до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

| Назва камери           | Назва огорождення | $K_0^D$ ,<br>Вт/<br>(м <sup>2</sup> ·К) | F,<br>м <sup>2</sup> | t <sub>з</sub> ,<br>°С | t <sub>вн</sub> ,<br>°С | θ  | Q <sub>1T</sub> ,<br>кВт | Δt   | Q <sub>1C</sub> ,<br>кВт | Q <sub>1</sub><br>кВт |
|------------------------|-------------------|---|----------------------|------------------------|-------------------------|----|--------------------------|------|--------------------------|-----------------------|
| Камера соління сиру №1 | північна ст.      | 0,412                                   | 36                   | 22                     | 10                      | 22 | 0,178                    | 0    | 0                        | 0,178                 |
|                        | південна ст.      | 0,4                                     | 36                   | 4                      | 10                      | -6 | -0,086                   | 0    | 0                        | -0,086                |
|                        | західна ст.       | 0,4                                     | 72                   | 20                     | 10                      | 10 | 0,288                    | 0    | 0                        | 0,288                 |
|                        | східна ст.        | 0,4                                     | 72                   | 20                     | 10                      | 10 | 0,288                    | 0    | 0                        | 0,288                 |
|                        | покриття          | 0,412                                   | 72                   | 22                     | 10                      | 12 | 0,356                    | 14,9 | 0,442                    | 0,798                 |
| Всього:                |                   |   |                      |                        |                         |    |                          |      |                          | 1,465                 |

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

|                        |              |       |     |    |    |     |        |      |       |        |
|------------------------|--------------|-------|-----|----|----|-----|--------|------|-------|--------|
| Камера соління сиру №2 | північна ст. | 0,4   | 36  | 4  | 10 | -6  | -0,086 | 0    | 0     | -0,086 |
|                        | південна ст. | 0,412 | 36  | 22 | 10 | 12  | 0,178  | 3,2  | 0,047 | 0,255  |
|                        | західна ст.  | 0,4   | 72  | 4  | 10 | -6  | -0,173 | 0    | 0     | -0,173 |
|                        | східна ст.   | 0,4   | 72  | 20 | 10 | 10  | 0,288  | 0    | 0     | 0,288  |
|                        | покриття     | 0,412 | 72  | 22 | 10 | 12  | 0,356  | 14,9 | 0,441 | 0,798  |
| Всього:                |              |       |     |    |    |     |        |      |       | 1,052  |
| Камера бродіння №1     | північна ст. | 0,412 | 72  | 22 | 20 | 2   | 0,059  | 0    | 0     | 0,59   |
|                        | південна ст. | 0,4   | 72  | 4  | 20 | -16 | -0,461 | 0    | 0     | -0,461 |
|                        | західна ст.  | 0,4   | 72  | 10 | 20 | -10 | -0,288 | 0    | 0     | -0,288 |
|                        | східна ст.   | 0,4   | 72  | 4  | 20 | -16 | -0,461 | 0    | 0     | -0,461 |
|                        | покриття     | 0,412 | 144 | 22 | 20 | 2   | 0,118  | 14,9 | 0,884 | 1,002  |
| Всього:                |              |       |     |    |    |     |        |      |       | -0,148 |
| Камера бродіння №2     | північна ст. | 0,4   | 36  | 4  | 20 | -16 | -0,23  | 0    | 0     | -0,23  |
|                        | південна ст. | 0,412 | 36  | 22 | 20 | 2   | 0,03   | 3,2  | 0,047 | 0,077  |
|                        | західна ст.  | 0,4   | 72  | 10 | 20 | -10 | -0,288 | 0    | 0     | -0,288 |
|                        | східна ст.   | 0,4   | 72  | 10 | 20 | -10 | -0,288 | 0    | 0     | -0,288 |
|                        | покриття     | 0,412 | 72  | 22 | 20 | 2   | 0,059  | 14,9 | 0,442 | 0,501  |
| Всього:                |              |       |     |    |    |     |        |      |       | -0,228 |
| Камера дозрівання      | північна ст. | 0,4   | 144 | 4  | 10 | -6  | -0,345 | 0    | 0     | -0,345 |
|                        | південна ст. | 0,412 | 144 | 22 | 10 | 12  | 0,712  | 3,2  | 0,19  | 0,902  |
|                        | західна ст.  | 0,4   | 72  | 20 | 10 | 10  | 0,288  | 0    | 0     | 0,288  |
|                        | східна ст.   | 0,4   | 72  | 4  | 10 | -6  | -0,173 | 0    | 0     | -0,173 |
|                        | покриття     | 0,412 | 288 | 22 | 10 | 12  | 1,424  | 14,9 | 1,768 | 3,192  |
| Всього:                |              |       |     |    |    |     |        |      |       | 3,863  |
| Камера зберігання №1   | північна ст. | 0,412 | 144 | 22 | 4  | 18  | 1,068  | 0    | 0     | 1,068  |
|                        | південна ст. | 0,4   | 144 | 4  | 4  | 0   | 0      | 0    | 0     | 0      |
|                        | західна ст.  | 0,4   | 72  | 20 | 4  | 16  | 0,461  | 0    | 0     | 0,461  |
|                        | східна ст.   | 0,4   | 72  | 4  | 4  | 0   | 0      | 0    | 0     | 0      |
|                        | покриття     | 0,412 | 288 | 22 | 4  | 18  | 2,136  | 14,9 | 1,768 | 3,904  |

Лист

00. БП. 142. 010. 010. ПЗ

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

|                               |              |       |     |    |   |    |       |      |       |       |
|-------------------------------|--------------|-------|-----|----|---|----|-------|------|-------|-------|
| Всього:                       |              |       |     |    |   |    |       |      |       | 5,433 |
| Камера зберігання №2          | північна ст. | 0,4   | 36  | 4  | 4 | 0  | 0     | 0    | 0     | 0     |
|                               | південна ст. | 0,412 | 36  | 22 | 4 | 18 | 0,267 | 0    | 0     | 0,267 |
|                               | західна ст.  | 0,4   | 72  | 10 | 4 | 6  | 0,173 | 0    | 0     | 0,173 |
|                               | східна ст.   | 0,4   | 72  | 4  | 4 | 0  | 0     | 0    | 0     | 0     |
|                               | покриття     | 0,412 | 72  | 22 | 4 | 18 | 0,534 | 14,9 | 0,442 | 0,976 |
| Всього:                       |              |       |     |    |   |    |       |      |       | 1,463 |
| Камера зберігання кислом. сир | північна ст. | 0,4   | 36  | 20 | 4 | 16 | 0,23  | 0    | 0     | 0,23  |
|                               | південна ст. | 0,412 | 36  | 22 | 4 | 18 | 0,267 | 3,2  | 0,047 | 0,314 |
|                               | західна ст.  | 0,4   | 72  | 20 | 4 | 16 | 0,461 | 0    | 0     | 0,461 |
|                               | східна ст.   | 0,4   | 72  | 10 | 4 | 6  | 0,173 | 0    | 0     | 0,173 |
|                               | покриття     | 0,412 | 72  | 22 | 4 | 18 | 0,534 | 14,9 | 0,442 | 0,976 |
| Всього:                       |              |       |     |    |   |    |       |      |       | 2,154 |
| Автоплатформа                 | північна ст. | 0,412 | 18  | 22 | 4 | 18 | 0,133 | 0    | 0     | 0,133 |
|                               | південна ст. | 0,412 | 18  | 22 | 4 | 18 | 0,133 | 3,2  | 0,023 | 0,157 |
|                               | західна ст.  | 0,4   | 180 | 4  | 4 | 0  | 0     | 0    | 0     | 0     |
|                               | східна ст.   | 0,412 | 180 | 22 | 4 | 18 | 1,334 | 3,9  | 0,289 | 1,624 |
|                               | покриття     | 0,412 | 90  | 22 | 4 | 18 | 0,667 | 14,9 | 0,553 | 1,22  |
| Всього:                       |              |       |     |    |   |    |       |      |       | 3,135 |
| Коридор                       | північна ст. | 0,4   | 36  | 10 | 4 | 6  | 0,086 | 0    | 0     | 0,086 |
|                               | північна ст. | 0,4   | 72  | 20 | 4 | 16 | 0,461 | 0    | 0     | 0,461 |
|                               | південна ст. | 0,4   | 36  | 10 | 4 | 6  | 0,086 | 0    | 0     | 0,086 |
|                               | південна ст. | 0,4   | 36  | 20 | 4 | 16 | 0,23  | 0    | 0     | 0,23  |
|                               | південна ст. | 0,4   | 144 | 10 | 4 | 6  | 0,346 | 0    | 0     | 0,346 |
|                               | західна ст.  | 0,4   | 36  | 20 | 4 | 16 | 0,23  | 0    | 0     | 0,23  |
|                               | східна ст.   | 0,4   | 36  | 4  | 4 | 0  | 0     | 0    | 0     | 0     |
|                               | покриття     | 0,412 | 144 | 22 | 4 | 18 | 1,068 | 14,9 | 0,884 | 1,952 |
| Всього:                       |              |       |     |    |   |    |       |      |       | 3,392 |

|      |      |          |        |      |                           |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ |  |  |  |  | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |  |  |  |  |      |

## 4.2 Теплонадходження при холодильній обробці продуктів

Розраховую теплонадходження при холодильній обробці продуктів:

$$Q_2 = Q_{2п} + Q_{2т} , Вт$$

де  $Q_{2п}$  - теплонадходження від продуктів, Вт;

$Q_{2т}$  - теплонадходження від тари, Вт.

Розраховую теплонадходження від продуктів:

$$Q_{2п} = 1,3 \cdot M_d \cdot (h_п - h_к) \cdot \frac{1000}{\tau \cdot 3600}, Вт$$

де  $M_d$  - добове надходження продукту в камеру, т/добу;

$h_п$  - ентальпія продукту при надходженні в камеру, кДж/кг;

$h_к$  - ентальпія продукту після холодильної обробки, кДж/кг;

$\tau$  - час холодильної обробки, год.

Розраховую теплонадходження від тари:

$$Q_{2т} = M_{от} \cdot C_T \cdot (t_n - t_к) \cdot \frac{1000}{\tau \cdot 3600}, Вт$$

де  $M_{от}$  - добове надходження тари в камеру, т/добу;

$t_п$  - температура тари при надходженні в камеру, °С ;

$t_к$  - температура тари після холодильної обробки, °С ;

$\tau$  - час холодильної обробки, год;

$C_T$  - теплоємність тари, кДж / (кг · К).

### Камера соління сиру №1:

$$Q_{2п} = 1,3 \cdot 12,5 \cdot (80 - 47,7) \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} = 6,075 \text{ кВт}$$

$$Q_{2т} = 0 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = 6,075 + 0 = 6,075 \text{ кВт}$$

### Камера соління сиру №2:

$$Q_{2п} = 1,3 \cdot 12,5 \cdot (80 - 47,7) \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} = 6,075 \text{ кВт}$$

$$Q_{2т} = 0 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = 6,075 + 0 = 6,075 \text{ кВт}$$

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

**Камера бродіння сиру №1:**

$$Q_{2п} = 1,3 \cdot 15 \cdot (47,7 - 75,7) \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} = -6,319 \text{ кВт}$$

$$Q_{2т} = 0 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = -6,319 + 0 = -6,319 \text{ кВт}$$

**Камера бродіння сиру №2:**

$$Q_{2п} = 1,3 \cdot 10 \cdot (47,7 - 75,7) \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} = -4,213 \text{ кВт}$$

$$Q_{2т} = 0 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = -4,213 + 0 = -4,213 \text{ кВт}$$

**Камера дозрівання сиру:**

$$Q_{2п} = 1,3 \cdot 25 \cdot (75,7 - 47,7) \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} = 10,532 \text{ кВт}$$

$$Q_{2т} = 0 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = 10,532 + 0 = 10,532 \text{ кВт}$$

**Камера зберігання твердого сиру №1:**

$$Q_{2п} = 1,3 \cdot 20 \cdot (47,7 - 31) \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} = 5,025 \text{ кВт}$$

$$Q_{2т} = 0 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = 5,025 + 0 = 5,025 \text{ кВт}$$

**Камера зберігання твердого сиру №2:**

$$Q_{2п} = 1,3 \cdot 5 \cdot (47,7 - 31) \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} = 1,256 \text{ кВт}$$

$$Q_{2т} = 0 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = 1,256 + 0 = 1,256 \text{ кВт}$$

**Камера зберігання кисломолочного сиру:**

$$Q_{2п} = 1,3 \cdot 10 \cdot (316,5 - 316,5) \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} = 0 \text{ кВт}$$

$$Q_{2т} = 0,1 \cdot 10 \cdot 2,3 \cdot (20 - 4) \cdot \frac{1000}{24 \cdot 3600} = 0,426 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = 0 + 0,426 = 0,426 \text{ кВт}$$

Отримані розрахункові дані зводжу до таблиці 4.2.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Таблиця 4.2

| Камера                         | $t_{\text{кам}}$ | $M_{\text{д}}$ | $M_{\text{дт}}$ | $t_{\text{п}}$ | $t_{\text{к}}$ | $h_{\text{п}}$ | $h_{\text{к}}$ | $C_{\text{т}}$  | $Q_{2\text{п}}$ | $Q_{2\text{т}}$ | $Q_2$         |
|--------------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
|                                | °С               | т/д<br>об      | т/д<br>об       | °С             | °С             | кД<br>ж/к<br>г | кД<br>ж/к<br>г | кД<br>ж/к<br>гК | кВт             | кВт             | кВт           |
| Камера соління №1              | 10               | 12,5           | 0               | 22             | 10             | 80             | 47,7           | -               | 6,075           | 0               | <b>6,075</b>  |
| Камера соління №2              | 10               | 12,5           | 0               | 22             | 10             | 80             | 47,7           | -               | 6,075           | 0               | <b>6,075</b>  |
| Камера бродіння №1             | 20               | 15             | 0               | 10             | 20             | 47,7           | 75,7           | -               | -6,319          | 0               | <b>-6,319</b> |
| Камера бродіння №2             | 20               | 10             | 0               | 10             | 20             | 47,7           | 75,7           | -               | -4,213          | 0               | <b>-4,213</b> |
| Камери дозрівання              | 10               | 25             | 0               | 20             | 10             | 75,7           | 47,7           | -               | 10,532          | 0               | <b>10,532</b> |
| Камери зберігання №1           | 4                | 20             | 0               | 10             | 4              | 47,7           | 31             | -               | 5,025           | 0               | <b>5,025</b>  |
| Камери зберігання №2           | 4                | 5              | 0               | 10             | 4              | 47,7           | 31             | -               | 1,256           | 0               | <b>1,256</b>  |
| Камери зберігання кислом. сиру | 4                | 10             | 1               | 4              | 4              | 316,5          | 316,5          | 2,3             | 0               | 0,426           | <b>0,426</b>  |

### 4.3 Розрахунок експлуатаційних теплонадходжень

Розраховую експлуатаційні теплонадходження:

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

де  $q_1$  - теплонадходження від освітлення, кВт;

$q_2$  - теплонадходження від людей, кВт;

$q_3$  - теплонадходження від працюючих електродвигунів, кВт;

$q_4$  - теплонадходження від відкривання дверей, кВт.

4.3.1. Розраховую теплонадходження від освітлення:

$$q_1 = A \cdot F, \text{ кВт}$$

де  $A$  - питоме теплонадходження від освітлення на 1 м<sup>2</sup> підлоги, Вт/ м<sup>2</sup>;

$F$  - площа камери, м<sup>2</sup>.

4.3.2. Розраховую теплонадходження від перебування людей:

$$q_2 = 0,35 \cdot n, \text{ кВт}$$

де  $n$  - кількість людей, які знаходяться в камері, чол;

0,35 - теплонадходження від однієї працюючої людини, кВт/чол.

4.3.3. Розраховую теплонадходження від працюючих електродвигунів:

$$q_3 = N_{\text{ел}}, \text{ кВт}$$

де  $N_{\text{ел}}$  - сумарна потужність електродвигунів, які працюють у камері, кВт.

4.3.4. Розраховую теплонадходження від відкривання дверей:

$$q_4 = K \cdot F, \text{ кВт}$$

де  $K$  - питоме теплонадходження на 1 м<sup>2</sup> підлоги, Вт/ м<sup>2</sup>;

$F$  - площа камери, м<sup>2</sup>.

#### Камера соління сиру №1:

$$q_1 = 4,7 \cdot 72 = 338,4 \text{ Вт.}$$

$$q_2 = 350 \cdot 2 = 700 \text{ Вт.}$$

$$q_3 = 3000 \text{ Вт.}$$

$$q_4 = 12 \cdot 72 = 864 \text{ Вт.}$$

$$Q_4 = 338,4 + 700 + 3000 + 864 = 4902,4 \text{ Вт}$$

Аналогічний чином розраховую інші камери. Результати зводжу до таблиці 4.3.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Таблиця 4.3.

| Номер камери                 | F <sub>д</sub> | A                 | q <sub>1</sub> | n   | q <sub>2</sub> | N <sub>ел</sub> | q <sub>3</sub> | K                 | q <sub>4</sub> | Q <sub>4</sub> |
|------------------------------|----------------|-------------------|----------------|-----|----------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|
|                              | м <sup>2</sup> | Вт/м <sup>2</sup> | кВт            | чол | кВт            | кВт             | кВт            | Вт/м <sup>2</sup> | кВт            | кВт            |
| Камера соління №1            | 72             | 4,7               | 0,338          | 2   | 0,7            | 3               | 3              | 12                | 0,864          | 4,902          |
| Камера соління №2            | 72             | 4,7               | 0,338          | 2   | 0,7            | 3               | 3              | 12                | 0,864          | 4,902          |
| Камера бродіння №1           | 144            | 4,7               | 0,677          | 2   | 0,7            | 3               | 3              | 12                | 1,728          | 6,105          |
| Камера бродіння №2           | 72             | 4,7               | 0,338          | 2   | 0,7            | 3               | 3              | 12                | 0,864          | 4,902          |
| Камера дозрівання            | 288            | 4,7               | 1,354          | 2   | 0,7            | 3               | 3              | 10                | 2,88           | 7,934          |
| Камера зберігання №1         | 288            | 2,3               | 0,662          | 2   | 0,7            | 2               | 2              | 10                | 2,88           | 6,242          |
| Камера зберігання №2         | 72             | 2,3               | 0,166          | 2   | 0,7            | 2               | 2              | 10                | 0,72           | 3,586          |
| Камера зберігання кисл. сиру | 72             | 2,3               | 0,166          | 2   | 0,7            | 2               | 2              | 10                | 0,72           | 3,586          |
| Коридор                      | 144            | 4,7               | 0,677          | 2   | 0,7            | 2               | 2              | 32                | 4,608          | 7,985          |
| Автоплатформа                | 180            | 4,7               | 0,846          | 2   | 0,7            | 3               | 3              | 28                | 5,4            | 9,586          |

Загальна кількість теплоти, що надходить в охолоджуване приміщення холодильника:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5,$$

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Загальну кількість теплонадходжень зводжу до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4.

| Назва приміщення               | $t_{\text{кам}}$<br>°C | $Q_1$ ,<br>кВт | $Q_2$ ,<br>кВт | $Q_4$ ,<br>кВт | $Q$ , кВт     |
|--------------------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Камера соління сиру №1         | 10                     | 1,465          | 6,075          | 4,902          | 12,443        |
| Камера соління сиру №2         | 10                     | 1,052          | 6,075          | 4,902          | 12,029        |
| <b>Всього</b>                  |                        |                |                |                | <b>24,472</b> |
| Камера бродіння сиру №1        | 20                     | -0,148         | -6,32          | 6,105          | -0,362        |
| Камера бродіння сиру №2        | 20                     | -0,228         | -4,213         | 4,902          | 0,461         |
| <b>Всього</b>                  |                        |                |                |                | <b>0,099</b>  |
| Камера дозрівання сиру         | 10                     | 3,863          | 10,532         | 7,934          | 22,329        |
| <b>Всього</b>                  |                        |                |                |                | <b>22,329</b> |
| Камера зберігання сиру №1      | 4                      | 5,432          | 5,025          | 6,242          | 16,7          |
| Камера зберігання сиру №2      | 4                      | 1,463          | 1,256          | 3,586          | 6,305         |
| <b>Всього</b>                  |                        |                |                |                | <b>23,005</b> |
| Камера зберігання кислом. сиру | 4                      | 2,154          | 0              | 3,586          | 5,74          |
| Коридор                        | 4                      | 3,392          | 0              | 7,985          | 11,377        |
| Автоплатформа                  | 4                      | 3,135          | 0              | 9,586          | 12,721        |

## 5. Визначення навантаження на обладнання камер та компресори

Навантаження на компресор  $Q_{\text{км}}$  складається з усіх видів теплонадходжень, але деякі з них можна враховувати не повністю, а частково, в залежності від типу та призначення холодильника.

На підприємствах молочної промисловості теплове навантаження визначається графіком роботи технологічних апаратів і характеризується великою нерівномірністю на протязі доби.

### Холодильне навантаження технологічного процесу

(проміжний холодоносій - "льодяна" вода  $t_0 = 1^\circ\text{C}$ )

1. При надходженні молока ( $8^\circ\text{C} \rightarrow 6^\circ\text{C}$ ):

$$Q_{\text{пр}} = 1,3 \cdot M_{\text{пр}} \cdot \Delta h \cdot \frac{1000}{\tau_{\text{обр}} \cdot 3600}$$

$$Q_{\text{пр}} = 1,3 \cdot 350 \cdot (350,7 - 342,6) \cdot \frac{1000}{6 \cdot 3600} = 170,625 \text{ кВт}$$

2. Охолодження вершків після сепарації ( $35 \rightarrow 4^\circ\text{C}$ ):

$$Q_{\text{вер}} = 1,3 \cdot M_{\text{вер}} \cdot c_p \cdot \Delta t \cdot \frac{1000}{\tau_{\text{обр}} \cdot 3600}$$

$$Q_{\text{вер}} = 1,3 \cdot 25,005 \cdot 3,58 \cdot (35 - 4) \cdot \frac{1000}{6 \cdot 3600} = 167,02 \text{ кВт}$$

3. Охолодження після пастеризації перед сквашуванням сиру ( $75 \rightarrow 35^\circ\text{C}$ ):

$$Q_{\text{пр}} = 1,3 \cdot M_{\text{пр}} \cdot \Delta h \cdot \frac{1000}{\tau_{\text{обр}} \cdot 3600}$$

$$Q_{\text{пр}} = 1,3 \cdot 25 \cdot (142,6 - 109,4) \cdot \frac{1000}{6 \cdot 3600} = 49,954 \text{ кВт}$$

|           |      |                |        |      |   |                       |       |        |
|-----------|------|----------------|--------|------|---|-----------------------|-------|--------|
|           |      |                |        |      | <i>00. БП. 142. 010. 010. ПЗ</i>                                |                       |       |        |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |   |                       |       |        |
| Розроб.   |      | Матвієнко А.С. |        |      | Визначення навантаження<br>на обладнання камер та<br>компресори | Літ.                  | Лист. | Листів |
| Перевір.  |      | Бондар В.І.    |        |      |   |                       |       |        |
| Реценз.   |      |                |        |      |   | <i>НУХТ ЗХМ-5-6ск</i> |       |        |
| Н. Контр. |      |                |        |      |   |                       |       |        |
| Затверд.  |      | Петренко В.П.  |        |      |   |                       |       |        |

Для зменшення пікових навантажень мною було прийнято аміачну холодильну установку з акумуляторами холоду типу АКХ. Дані акумулятори створені на базі марки Baltimore Aircoil TSU-700D, які використовують для охолодження рідких холодоносіїв. Шар льоду товщиною 30-45 мм наморожується на поверхні панелей в період малих теплових навантажень. Лід розтає в період пікових навантажень, зменшуючи тим самим навантаження на холодильну установку.

Приймаю навантаження на компресор від теплонадходжень через огорожуючі конструкції:

$$Q_{1\text{км}} = 0,6 \cdot Q_1, \text{ Вт.}$$

Приймаю навантаження на компресор від термічної обробки продуктів:

$$Q_{2\text{км}} = Q_2 - \text{для камер з термообробкою, Вт;}$$

$$Q_{2\text{км}} = 0,6 \cdot Q_2 - \text{для камер зберігання, Вт.}$$

Приймаю навантаження на компресор від експлуатаційних теплонадходжень:

$$Q_{4\text{км}} = 0,75 \cdot Q_4 - \text{для всіх камер, Вт.}$$

Проектую холодильну машину, яка працює на температуру  $t_0 = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Розраховую навантаження на КМ, враховуючи поправки:

$$\sum Q = 0,6 \cdot 21,58 + 18,43 + 0,75 \cdot 59,73 = 76,18 \text{ кВт}$$

$$Q_{-5} = k \cdot \frac{\sum Q_{\text{км}} + \sum Q}{0,9} = 1,12 \cdot \frac{170,63 + 76,18}{0,9} = 307,14 \text{ кВт}$$

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## 6. Вибір розрахункового робочого режиму, побудова циклу та тепловий розрахунок холодильної машини. Вибір компресорів

Режим роботи холодильної установки характеризується температурами кипіння  $t_0$ , конденсації  $t_k$ , всмоктування (пари на вході в компресор)  $t_{всм}$ .

Ці параметрів обираємо в залежності від призначення холодильної машини та розрахункових зовнішніх умов. Температуру кипіння холодильного агенту приймаю на 5-10 °С нижчою, ніж температура у камерах охолодження.

Температура  $t_k$  залежить від температури та кількості води, яка подається на конденсатор. Приймаю до встановлення горизонтальний кожухотрубний конденсатор. Температуру конденсації для установок з водяним охолодженням конденсатора приймають на 2...4 °С вище температури води, що виходить з конденсатора:

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

При оборотній системі водопостачання температуру води  $t_{\omega 2}$  та  $t_{\omega 1}$  визначають розрахунковими параметрами навколишнього середовища та величиною коефіцієнта ефективності:

$$\eta = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{t_{w2} - t_{mm}},$$

де  $\eta$  – коефіцієнт ефективності охолодника залежить від його типу.

Приймаю  $\eta = 0,8$ .

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

Для м. Луцьк температура мокрого термометра при  $t_3=26^\circ\text{C}$  та  $\phi_3=65\%$ ,  $t_{м.т.} = 20^\circ\text{C}$ . Тоді:

$$t_{\omega 2} = \frac{\Delta t_w}{\eta} + t_{м.т.} = \frac{5}{0,8} + 20 = 26,25^\circ\text{C}$$

$$t_k = t_{\omega 2} + (2 \dots 4) = 26,25 + 3,75 = 30^\circ\text{C}$$

|                  |             |                       |               |             |  |                       |              |               |
|------------------|-------------|-----------------------|---------------|-------------|--|-----------------------|--------------|---------------|
|                  |             |                       |               |             | <i>00. БП. 142. 010. 010. ПЗ</i>   |                       |              |               |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |                       |              |               |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Матвієнко А.С.</i> |               |             | <i>Вибір розрахункового робочого режиму, побудова циклу та тепловий розрахунок холодильної машини. Вибір компресорів</i> | <i>Лім.</i>           | <i>Лист.</i> | <i>Листів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Бондар В.І.</i>    |               |             |  |                       |              |               |
| <i>Реценз.</i>   |             |                       |               |             |  | <i>НУХТ ЗХМ-5-6ск</i> |              |               |
| <i>Н. Контр.</i> |             |                       |               |             |  |                       |              |               |
| <i>Затверд.</i>  |             | <i>Петренко В.П.</i>  |               |             |  |                       |              |               |

Оскільки з циркуляційних ресиверів компресор засмоктує суху насичену пару холодильного агента, то перегрів відсутній.

Будує. цикл в  $lgP-h$  діаграмі для аміаку (R717). Значення параметрів холодильного агента у вузлових точках циклу зводжу до табл.6.1.

Таблиця 6.1

| № точки | t, °C | p, бар | v, м³/кг | h, кДж/кг |
|---------|-------|--------|----------|-----------|
| 1       | -5    | 3,548  | 0,346    | 1455,1    |
| 2       | 78,5  | 11,67  | 0,137    | 1623      |
| 3'      | 30    | 11,67  | -        | 339       |
| 3       | 28    | 11,67  | -        | 330       |
| 4       | -5    | 3,548  | 0,0427   | 330       |
| 5       | -5    | 3,548  | -        | 177,5     |
| 6       | -5    | 6,8    | -        | 177,5     |
| 7       | -5    | 3,548  | -        | 177,5     |

Знаходжу масова витрата циркулюючого холодильного агента, який треба відводити від циркуляційних ресиверів:

$$M_{(-5)} = \frac{Q_{0m(-5)}}{(h_1 - h_7) \cdot (1 - x_4)} = \frac{307,14}{(1455,1 - 177,5) \cdot (1 - 0,0427)} = 0,251 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Для того, щоб визначити потрібну об'ємну продуктивність компресора необхідно знайти коефіцієнт подачі  $\lambda$ .

$$\lambda = \lambda_i \cdot \lambda_w$$

Розраховуємо об'ємний індикаторний коефіцієнт подачі:

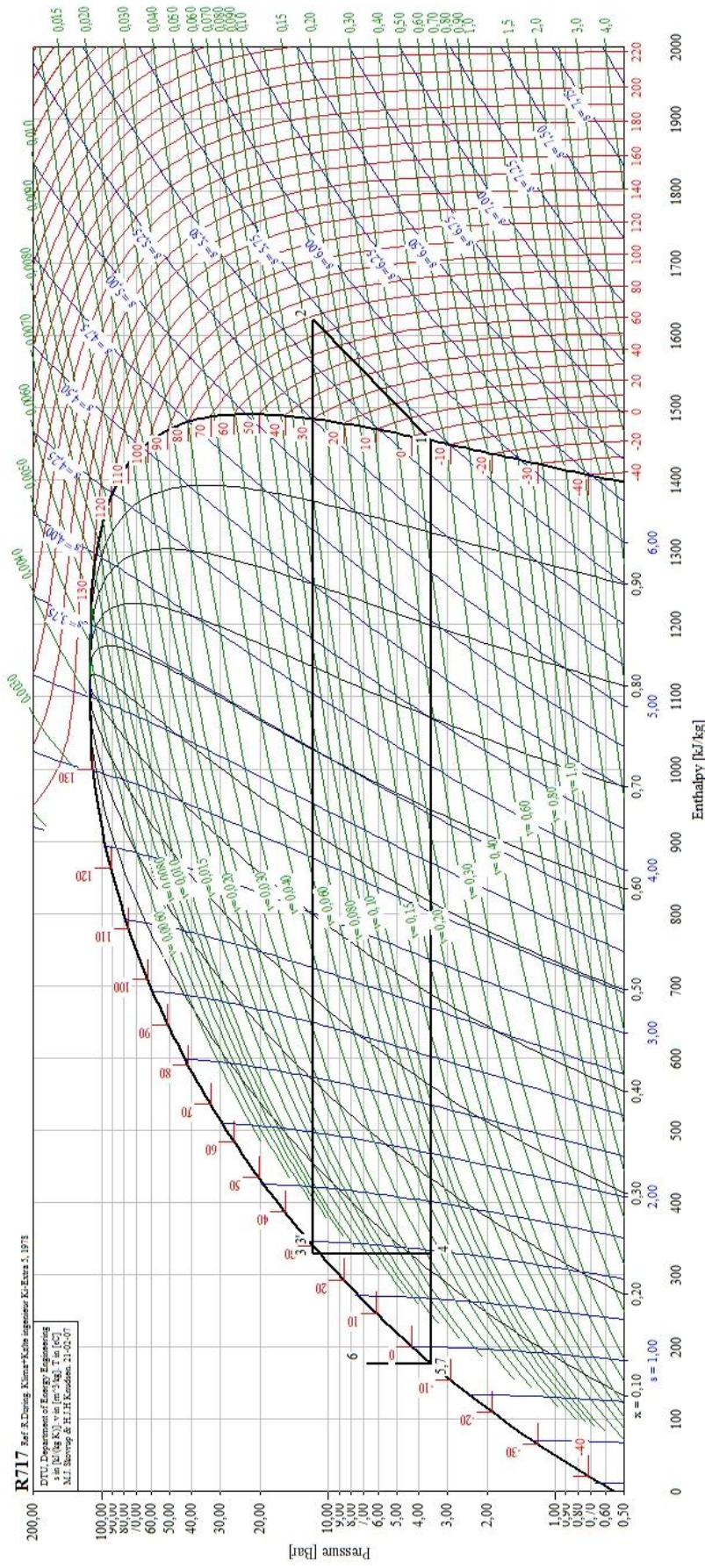
$$\lambda_{i1} = \frac{P_0 - \Delta P_{вс}}{P_0} - c \cdot \left[ \left( \frac{P_k + \Delta P_n}{P_0} \right)^{1/n} - \frac{(P_0 - \Delta P_{вс})}{P_0} \right];$$

$c = 0,02$  – відносний мертвий простір;

$n = 1,1$  – показник політропи;

$\Delta P_{вс} = 0,02 \cdot P_0 = 0,02 \cdot 3,548 = 0,071$  бар - депресія на всмоктуванні;

$\Delta P_n = 0,03 \cdot P_k = 0,03 \cdot 11,67 = 0,35$ бар - депресія на нагнітанні;



Цикл роботи холодильної установки

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |



Розраховую дійсне теплове навантаження на конденсатор:

$$Q_k = M_{-5} \cdot (h_2 - h_{3'}) = 0,304 \cdot (1623 - 339) = 390,34 \text{ кВт}$$

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## 7. Розрахунок та вибір тепломасообмінних апаратів

У даному розділі дипломного проекту необхідно визначити площі поверхні теплопередачі. В основу розрахунків покладено розв'язання рівняння теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \text{ м}^2$$

### 7.1. Розрахунок конденсатора

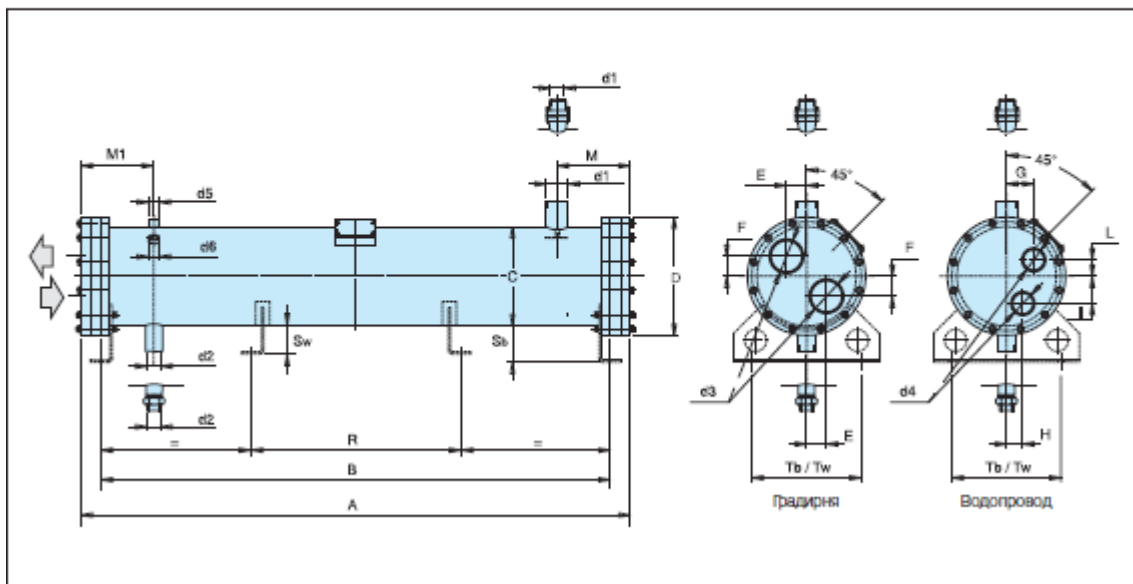
Для визначення площі теплообміну необхідно розрахувати середньологарифмічне значення температурного напору:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{(30 - 20) - (30 - 26,25)}{\ln \frac{(30 - 20)}{(30 - 26,25)}} = 6,88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$F = \frac{Q_k}{k \cdot \Delta t} = \frac{390,34}{0,7 \cdot 6,88} = 81,05 \text{ м}^2$$

Приймаю до встановлення кожухотрубний конденсатор Alfa Laval серії CPS 440 з можливим тепловим навантаження 438 кВт.

CPS



00. БП. 142. 010. 010. ПЗ

| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |  |                |       |        |
|-----------|------|----------------|--------|------|--|----------------|-------|--------|
| Розроб.   |      | Матвієнко А.С. |        |      | Розрахунок та вибір<br>тепломасообмінних<br>апаратів | Літ.           | Лист. | Листів |
| Перевір.  |      | Бондар В.І.    |        |      |  |                |       |        |
| Реценз.   |      |                |        |      |  | НУХТ ЗХМ-5-6ск |       |        |
| Н. Контр. |      |                |        |      |  |                |       |        |
| Затверд.  |      | Петренко В.П.  |        |      |  |                |       |        |



|   |                         |
|---|-------------------------|
| Витрата води л/с                            | 17,8                    |
| Місткість резервуару м <sup>3</sup>         | 1,5                     |
| Витрата повітря м <sup>3</sup> /б           | 16,9                    |
| Охолодження води, С °                       | 5-20                    |
| Вентилятор                                  | 2 x 12,5                |
| Потужність електродвигуна                   | 2 x 8,5 кВт 720 об /мин |
| Рівень шуму на відстані 3 м до градирні, ДБ | 70                      |

### 7.3. Розрахунок кожухотрубного теплообмінника для льодяної води

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \text{ м}^2$$

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{170,625}{0,7 \cdot 6} = 40,625 \text{ м}^2$$

Приймаю до встановлення кожухотрубний конденсатор Alfa Laval серії CPS 180 з можливим тепловим навантаження 182 кВт.

### 7.4. Розрахунок повітроохолодників

1. Розраховуємо камеру зберігання сиру №1 при  $t_{\text{кам}} = +4^{\circ}\text{C}$ :

Необхідна площа поверхні теплопередачі:

$$F = \frac{Q_{\text{обл}}}{k \cdot \Delta t} = \frac{16,7}{0,0175 \cdot 9} = 106,03 \text{ м}^2$$

Приймаю до встановлення підвісний повітроохолодник Guntner 051D/15 з характеристиками:

|  |              |
|--|--------------|
| Площа поверхні теплообміну, м <sup>2</sup> | 108,1        |
| Кількість вентиляторів, шт                 | 1            |
| Потужність, Вт                             | 350          |
| Подача повітря, м <sup>3</sup> /с          | 1,497        |
| Довжина струмینی, м                        | 19           |
| L×B×H, мм                                  | 1396×885×680 |
| Діаметр вентилятора, мм                    | 1030         |

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

|                      |      |
|----------------------|------|
| Об'єм труб, л        | 28   |
| Холодопродуктивність | 12,1 |

2. Розраховуємо камеру зберігання сиру №2 при  $t_{\text{кам}} = +4^{\circ}\text{C}$ :

Необхідна площа поверхні теплопередачі:

$$F = \frac{Q_{\text{обл}}}{k \cdot \Delta t} = \frac{6,308}{0,0175 \cdot 9} = 40,05 \text{ м}^2$$

Приймаю до встановлення підвісний повітроохолодник Guntner 051C/18 з характеристиками:

|  |              |
|--|--------------|
| Площа поверхні теплообміну, м <sup>2</sup> | 52,2         |
| Кількість вентиляторів, шт                 | 1            |
| Потужність, Вт                             | 250          |
| Подача повітря, м <sup>3</sup> /с          | 1,747        |
| Довжина струмини, м                        | 19           |
| L×B×H, мм                                  | 1396×680×750 |
| Діаметр вентилятора, мм                    | 1030         |
| Об'єм труб, л                              | 21           |
| Холодопродуктивність                       | 8,4          |

3. Розраховуємо камеру зберігання кисломолочного сиру при  $t_{\text{кам}} = +4^{\circ}\text{C}$ :

Необхідна площа поверхні теплопередачі:

$$F = \frac{Q_{\text{обл}}}{k \cdot \Delta t} = \frac{5,74}{0,0175 \cdot 9} = 36,44 \text{ м}^2$$

Приймаю до встановлення підвісний повітроохолодник Guntner 041C/15 з характеристиками:

|  |       |
|--|-------|
| Площа поверхні теплообміну, м <sup>2</sup> | 38,9  |
| Кількість вентиляторів, шт                 | 1     |
| Потужність, Вт                             | 200   |
| Подача повітря, м <sup>3</sup> /с          | 0,697 |
| Довжина струмини, м                        | 11    |

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| L×B×H, мм               | 996×865×565 |
| Діаметр вентилятора, мм | 630         |
| Об'єм труб, л           | 11          |
| Холодопродуктивність    | 4,4         |

4. Розраховуємо камеру соління сиру №1 при  $t_{\text{кам}} = +10^{\circ}\text{C}$ :

Необхідна площа поверхні теплопередачі:

$$F = \frac{Q_{\text{обл}}}{k \cdot \Delta t} = \frac{12,443}{0,0175 \cdot 15} = 47,4 \text{ м}^2$$

Приймаю до встановлення підвісний повітроохолодник Guntner 051C/18 з характеристиками:

|  |              |
|--|--------------|
| Площа поверхні теплообміну, м <sup>2</sup> | 52,2         |
| Кількість вентиляторів, шт                 | 1            |
| Потужність, Вт                             | 250          |
| Подача повітря, м <sup>3</sup> /с          | 1,747        |
| Довжина струмини, м                        | 19           |
| L×B×H, мм                                  | 1396×680×750 |
| Діаметр вентилятора, мм                    | 1030         |
| Об'єм труб, л                              | 21           |
| Холодопродуктивність                       | 8,4          |

5. Розраховуємо камеру соління сиру №2 при  $t_{\text{кам}} = +10^{\circ}\text{C}$ :

Необхідна площа поверхні теплопередачі:

$$F = \frac{Q_{\text{обл}}}{k \cdot \Delta t} = \frac{12,029}{0,0175 \cdot 15} = 45,83 \text{ м}^2$$

Приймаю до встановлення підвісний повітроохолодник Guntner 051C/18 з характеристиками:

|  |      |
|--|------|
| Площа поверхні теплообміну, м <sup>2</sup> | 52,2 |
| Кількість вентиляторів, шт                 | 1    |
| Потужність, Вт                             | 250  |



|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| Кількість вентиляторів, шт        | 1            |
| Потужність, Вт                    | 350          |
| Подача повітря, м <sup>3</sup> /с | 1,139        |
| Довжина струмини, м               | 16           |
| L×B×H, мм                         | 1196×885×680 |
| Діаметр вентилятора, мм           | 830          |
| Об'єм труб, л                     | 23           |
| Холодопродуктивність              | 9,7          |

8. Розраховуємо повітроохолодник для автоплатформи при  $t_{\text{кам}} = +4^{\circ}\text{C}$ :

Необхідна площа поверхні теплопередачі:

$$F = \frac{Q_{\text{обл}}}{k \cdot \Delta t} = \frac{12,721}{0,0175 \cdot 9} = 80,77 \text{ м}^2$$

Приймаю до встановлення 2 підвісних повітроохолодник Guntner 051C/18 з характеристиками:

|  |              |
|--|--------------|
| Площа поверхні теплообміну, м <sup>2</sup> | 52,2         |
| Кількість вентиляторів, шт                 | 1            |
| Потужність, Вт                             | 250          |
| Подача повітря, м <sup>3</sup> /с          | 1,747        |
| Довжина струмини, м                        | 19           |
| L×B×H, мм                                  | 1396×680×750 |
| Діаметр вентилятора, мм                    | 1030         |
| Об'єм труб, л                              | 21           |
| Холодопродуктивність                       | 8,4          |

Для камер бродіння твердого сиру, враховуючи їх теплові навантаження, приймаємо до встановлення по одному підвісному повітроохолоднику Guntner 041C/15 з характеристиками:

|  |      |
|--|------|
| Площа поверхні теплообміну, м <sup>2</sup> | 38,9 |
| Кількість вентиляторів, шт                 | 1    |

|                                   |             |
|-----------------------------------|-------------|
| Потужність, Вт                    | 200         |
| Подача повітря, м <sup>3</sup> /с | 0,697       |
| Довжина струмини, м               | 11          |
| L×B×H, мм                         | 996×865×565 |
| Діаметр вентилятора, мм           | 630         |
| Об'єм труб, л                     | 11          |
| Холодопродуктивність              | 4,4         |

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

00. БП. 142. 010. 010. ПЗ

Лист

## 8. Розрахунок та вибір допоміжного обладнання холодильної установки

### 8.1. Лінійний ресивер

Об'єм лінійного ресивера в насосно-циркуляційних системах з нижньою подачею аміаку в прилади охолодження при умові заповнення її не більше ніж 80% розраховується по формулі:

$$V_{л.р.} = 0.6 \cdot (V_{II} + V_B);$$

$V_{II.0}$ ,  $V_B$  - внутрішній об'єм труб повітроохолодників та випарників;

Знаходжу об'єм повітроохолодників по аміаку:

$$V_{II.0} = \sum n \cdot V_i = 3 \cdot 11 + 23 + 5 \cdot 21 + 2 \cdot 28 = 217 \text{ л} = 0,217 \text{ м}^3$$

$$V_{л.р.} = 0,6 \cdot (0,217 + 0,9) = 0,67 \text{ м}^3$$

Приймаю до встановлення лінійний ресивер 0,75РД об'ємом  $V_{л.р.} = 0,77 \text{ м}^3$ .

### 8.2. Компаудний циркуляційний ресивер ( $t_0 = -5^\circ\text{C}$ )

Об'єм вертикального циркуляційного ресивера в системах з нижньою подачею аміаку в прилади охолодження розраховують за формулою:

$$V_{ц.р.} = k \cdot [V_{н.т.} + 0.2 \cdot (V_{II} + V_B) + 0.3 \cdot V_{в.т.}];$$

Знаходимо об'єм трубопроводу від циркуляційного насосу до кожухотрубного випарника:

$$V_{н.т.} = \frac{\pi \cdot d_{вн}^2 \cdot l}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,034^2}{4} \cdot 8 = 0,0073 \text{ м}^3$$

Знаходимо об'єм трубопроводу від кожухотрубного випарника до циркуляційного ресивера:

$$V_{в.т.} = \frac{\pi \cdot d_{вн}^2 \cdot l}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \cdot 6 = 0,0471 \text{ м}^3$$

Знаходимо об'єм трубопроводу від циркуляційного насосу до повітроохолодників:

|           |      |                |        |      |  |                       |       |        |
|-----------|------|----------------|--------|------|--|-----------------------|-------|--------|
|           |      |                |        |      | <b>00. БП. 142. 010. 010. ПЗ</b>                                       |                       |       |        |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |  |                       |       |        |
| Розроб.   |      | Матвієнко А.С. |        |      | Розрахунок та вибір<br>допоміжного обладнання<br>холодильної установки | Літ.                  | Лист. | Листів |
| Перевір.  |      | Бондар В.І.    |        |      |  |                       |       |        |
| Реценз.   |      |                |        |      |  | <b>НУХТ ЗХМ-5-бск</b> |       |        |
| Н. Контр. |      |                |        |      |  |                       |       |        |
| Затверд.  |      | Петренко В.П.  |        |      |  |                       |       |        |

$$V_{н.т.} = \frac{\pi \cdot d_{вн.}^2}{4} \cdot l = \frac{3,14 \cdot 0,032^2}{4} \cdot 64 = 0,0514 \text{ м}^3$$

Знаходимо об'єм трубопроводу від повітроохолодників до циркуляційного ресивера:

$$V_{в.т.} = \frac{\pi \cdot d_{вн.}^2}{4} \cdot l = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \cdot 56 = 0,4396 \text{ м}^3$$

$$V_{у.р.-5} = 2,7 \cdot [(0,0073 + 0,0514) + 0,2 \cdot (0,133 + 0,7) + 0,3 \cdot (0,0471 + 0,4396)] = 1,002 \text{ м}^3;$$

Провівши приблизні розрахунки, приймаю до встановлення вертикальний циркуляційний ресивер 1,5РДВ.

### 8.3. Дренажний ресивер

$$V_{д.р} = 0,8 \cdot V_{п.о.} = 0,8 \cdot 0,217 = 0,174 \text{ м}^3$$

Приймаю до встановлення горизонтальний дренажний ресивер 0,75РД.

### 8.4. Мастиловіддільник

Мастиловіддільник необхідний для відділення мастила від холодильного агенту, тому його встановлюють безпосередньо після компресора на лінії нагнітання. Його підбирають по діаметру нагнітального трубопроводу КМ.

Для обраних компресорів марки Gea Vock серії FDK16/1751, у якого діаметр нагнітального патрубку складає  $d_{наг} = 49$  мм, біля кожного компресора встановлюємо по одному інерційному мастиловіддільнику 50М, характеристики якого наводжу нижче.

| Аміачні інерційні мастиловіддільники | Розміри, мм |      |                | Об'єм, м <sup>3</sup> | Маса, кг |
|--------------------------------------|-------------|------|----------------|-----------------------|----------|
|                                      | D×S         | H    | d <sub>1</sub> |                       |          |
| 50М                                  | 257×8       | 1228 | 50             | 0,05                  | 98       |

### 8.5. Мастилозбірник

Для випуску мастила з мастиловіддільників та мастиловідстійників, всіх апаратів і випуску його на зовні підбирається один загальний мастилозбірник марки 60МЗС.

Технічну характеристику мастилозбірника наведено у таблиці 8.1.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Таблиця 8.1. Технічна характеристика мастилозбірника

| Марка | Розміри, мм |     |     | Місткість,<br>м <sup>3</sup> | Маса, кг |
|-------|-------------|-----|-----|------------------------------|----------|
|       | DxS         | B   | H   |                              |          |
| 60M3C | 325x9       | 480 | 810 | 0,06                         | 85       |

## 9. Розрахунок діаметрів трубопроводів

Для повноцінної роботи холодильної установки окремі її з'єднують між собою трубопроводами.

Розрахунок трубопроводу зводиться до знаходження внутрішнього діаметру круглої труби:

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

1) Знаходимо діаметр всмоктувального трубопроводу компресорів, які працюють на температуру кипіння  $t_0 = -5^\circ\text{C}$ .

$$M = 0,251 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad \rho = \frac{1}{v_1} = \frac{1}{0,346} = 2,89 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,251}{3,14 \cdot 2,89 \cdot 13}} = 0,092 \text{ м}$$

Приймаю трубу  $d_y = 100 \text{ мм}$ .

Знаходимо діаметр нагнітального трубопроводу:

$$M = 0,251 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad \rho = \frac{1}{v_2} = \frac{1}{0,137} = 7,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,251}{3,14 \cdot 7,3 \cdot 20}} = 0,047 \text{ м}$$

Приймаю трубу  $d_y = 50 \text{ мм}$ .

2) Знаходимо діаметр на рідинній лінії від циркуляційного насоса до кожухотрубного випарника ( $t_0 = -5^\circ\text{C}$ ).

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

Приймаю  $\omega = 0,5 \text{ м/с}$ .

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,251}{3,14 \cdot 559 \cdot 0,5}} = 0,034 \text{ м}$$

|           |      |                |        |      |   |                       |       |        |
|-----------|------|----------------|--------|------|---|-----------------------|-------|--------|
|           |      |                |        |      | <i>00. БП. 142. 010. 010. ПЗ</i>              |                       |       |        |
| Змн.      | Арк. | № докум.       | Підпис | Дата |   |                       |       |        |
| Розроб.   |      | Матвієнко А.С. |        |      | <i>Розрахунок діаметрів<br/>трубопроводів</i> | Літ.                  | Лист. | Листів |
| Перевір.  |      | Бондар В.І.    |        |      |   |                       |       |        |
| Реценз.   |      |                |        |      |   | <i>НУХТ ЗХМ-5-6ск</i> |       |        |
| Н. Контр. |      |                |        |      |   |                       |       |        |
| Затверд.  |      | Петренко В.П.  |        |      |   |                       |       |        |

Приймаю трубу  $d_y = 40$  мм.

Розрахункова швидкість на зворотній лінії  $\omega = 0.6 \div 1.2$  м/с.

Приймаю  $\omega = 1.2$  м/с.

$$d_{\text{BH}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,251}{3,14 \cdot 29 \cdot 1,2}} = 0,0958 \text{ м}$$

Приймаємо трубу  $d_y = 100$  мм.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## 10. Визначення гідравлічних втрат у трубопроводах

Гідравлічний розрахунок проводять для визначення втрат тиску  $\Delta P$ , які зумовлені гідравлічними опорами, що виникають при русі робочого середовища в трубах та теплообмінних апаратах.

Загальні гідравлічні опори при проходженні в трубі або апараті двофазної речовини складаються з втрат тертя ( $\Delta P_{тр}^{\text{оф}}$ ), місцевих опорів ( $\Delta P_{м}^{\text{оф}}$ ), прискорення потоку ( $\Delta P_{н}^{\text{оф}}$ ) та зниження або підвищення тиску через вплив статичного напору стовпа рідини ( $\Delta P_{ст}^{\text{оф}}$ ).

$$\Delta P^{\text{оф}} = \Delta P_{тр}^{\text{оф}} + \Delta P_{м}^{\text{оф}} + \Delta P_{н}^{\text{оф}} + \Delta P_{ст}^{\text{оф}}$$

Розраховуючи гідравлічні опори потрібно враховувати режими течії рідини та пари в трубах апаратів, раціонально використовувати існуючий напір як самопливних, так і насосно-циркуляційних систем охолодження.

Насоси, які перекачують рідину при температурах насичення, повинні працювати під стовпом рідини (бути залитими) і висота підпору стовпа рідини має компенсувати розрідження, яке виникає при вході речовини в робоче колесо, втрату напору на всмоктувальній трубі, швидкісний напір на вході в робоче колесо, а також кавітаційний запас.

Для прикладу, розглянемо ділянку трубопроводу від циркуляційного ресивера до повітроохолодника, який працює на температуру кипіння  $-5^{\circ}\text{C}$ .

$$\sum \xi_{м} = \xi_{зв.клапан} + \xi_{коліно} + \xi_{відвід\ 90} = 5 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 2 = 10$$

$$\omega = 0,5 \text{ м/с}$$

$$Z = 10 \cdot \frac{559 \cdot 0,5^2}{2} = 0,699 \text{ кПа}$$

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{вн} \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,5 \cdot 0,034 \cdot 559}{2,27 \cdot 10^{-2}} = 418$$

|                  |             |                       |               |             |  |                       |              |               |
|------------------|-------------|-----------------------|---------------|-------------|--|-----------------------|--------------|---------------|
|                  |             |                       |               |             | <i>00. БП. 142. 010. 010. ПЗ</i>                     |                       |              |               |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |                       |              |               |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Матвієнко А.С.</i> |               |             | <i>Визначення гідравлічних втрат у трубопроводах</i> | <i>Літ.</i>           | <i>Лист.</i> | <i>Листів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Бондар В.І.</i>    |               |             |  |                       |              |               |
| <i>Реценз.</i>   |             |                       |               |             |  | <i>НУХТ ЗХМ-5-6ск</i> |              |               |
| <i>Н. Контр.</i> |             |                       |               |             |  |                       |              |               |
| <i>Затверд.</i>  |             | <i>Петренко В.П.</i>  |               |             |  |                       |              |               |

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \cdot \left( \frac{k}{d_{\text{вн}}} + \frac{64}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( \frac{0,06}{34} + \frac{64}{418} \right)^{0,25} = 0,069$$

Розраховуємо втрати тиску на тертя по довжині трубопроводу в 1 м:

$$\Delta P_{\text{тр}} = R = \frac{0,069}{0,034} \cdot \frac{559 \cdot 0,5^2}{2} \cdot 1 = 141,8 \text{ Па / м};$$

Розраховуємо втрати тиску на тертя по ділянці довжиною 29 м:

$$\Delta P_{\text{тр}} = R \cdot l = 141,8 \cdot 29 = 4,112 \text{ кПа}$$

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

# 11. Вибір насосів

## 11.1. Вибір аміачних насосів

В установках з насосно-циркуляційною системою подачі холодильного агенту для перекачування рідкого аміаку використовують герметичні електронасоси. Насос встановлюється якомога ближче до циркуляційного ресивера. Для того, щоб не відбулося википання рідини, необхідно мати надлишковий тиск на вході в насос по відношенню до тиску в циркуляційному ресивері.

Насос підбирають по двом основним параметрам: Подачі  $V$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) та повному тиску  $P$  (в Па), який створює насос.

$$H = \frac{\Delta P_{\text{тр}}}{\rho \cdot g} - \text{необхідний напір насоса (м)};$$

$$V = n_{\text{ц}} \cdot \frac{M_{\text{км}}}{\rho} - \text{необхідна подача насоса (м}^3/\text{с)};$$

$n_{\text{ц}}$  - кратність циркуляції;

$$n_{\text{ц}} = 4;$$

Розглянемо ділянку трубопроводу від циркуляційного ресивера до повітроохолодників та кожухотрубного випарника, що працюють на температуру кипіння  $t_0 = -5$  °С.

Необхідний напір насоса:

$$H = \frac{4112 + 6754}{559 \cdot 9,81} = 1,98 \text{ м}$$

Необхідна подача насоса:

$$V = 4 \cdot \frac{0,251}{559} = 0,0018 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 6,45 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Обираємо 2 насоси (1 запасний) марки ЦНГ-70М-1.

|                  |             |                       |               |                       |                                  |              |               |  |  |
|------------------|-------------|-----------------------|---------------|-----------------------|----------------------------------|--------------|---------------|--|--|
|                  |             |                       |               |                       | <i>00. БП. 142. 010. 010. ПЗ</i> |              |               |  |  |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i>           |                                  |              |               |  |  |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Матвієнко А.С.</i> |               |                       | <i>Лім.</i>                      | <i>Лист.</i> | <i>Листів</i> |  |  |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Бондар В.І.</i>    |               |                       |                                  |              |               |  |  |
| <i>Реценз.</i>   |             |                       |               |                       | <i>Вибір насосів</i>             |              |               |  |  |
| <i>Н. Контр.</i> |             |                       |               | <i>НУХТ ЗХМ-5-6ск</i> |                                  |              |               |  |  |
| <i>Затверд.</i>  |             | <i>Петренко В.П.</i>  |               |                       |                                  |              |               |  |  |

### 11.2. Підбір насосу оборотної води

Виходячи з попередніх розрахунків, для забезпечення теплообміну у конденсаторі необхідно подавати 18,6 л/с. Гідравлічні втрати на подолання місцевих опорів та тертя складають 14,2 м.

Приймаю для встановлення два паралельно встановлених насоси, тобто потрібна подача одного насосу повинна складати 0,65...0,75 загальної подачі. Таким чином, подача води на конденсатори  $V=0,65 \cdot 18,6=12,09$  л/с.

Приймаю для встановлення, у якості насосів для подачі води на конденсатори, два відцентрових насоси SAER IR50-125A з характеристиками:

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| Частота обертання, хв <sup>-1</sup> | 3600 |
| Подача, л/с                         | 11,1 |
| Напір, м                            | 22,4 |
| Потужність електродвигуна, кВт      | 3,2  |

Регулювання продуктивності насосів досягається за рахунок встановлення частотного регулювання обертів валу насосу.

## 12. Техніко-економічні показники

Техніко-економічний розрахунок проводять для того, щоб дізнатися собівартість одиниці виробленого штучного холоду. Для його розрахунку необхідно знати суму коштів за спожиту: електроенергію, мастило, холодоагент R717, оплату праці, амортизаційні відшкодування, та інші витрати, які вираховуються від вартості обладнання.

12.1. Розрахункове споживання електроенергії холодильним обладнанням зводимо до таблиці 12.1.

Споживання електроенергії за рік розраховуємо за формулою:

$$N = P_{\text{ел}} \times n$$

Де  $n$  – час роботи компресорів, насосів, вентиляторів в рік при відповідних робочих умовах, год, приймаємо 5400 год.

$P_{\text{ел}}$  – електрична потужність компресора, насоса, вентилятора тощо.

*Таблиця 12.1*

| № п/п                               | Найменування обладнання          | К-ть | $P_{\text{ел}}$ , кВт | $\Sigma P_{\text{ел}}$ , кВт | Рік, тис. кВт·год |
|-------------------------------------|----------------------------------|------|-----------------------|------------------------------|-------------------|
| 1                                   | Компресор Gea Bock FDK16/1751    | 3    | 37                    | 111                          | 599,4             |
| 2                                   | Градирня ГПВ-320                 | 2    | 4×8,5                 | 34                           | 183,6             |
| 3                                   | Повітроохолодник Guntner 041C/15 | 3    | 0,2                   | 0,6                          | 3,24              |
| 4                                   | Повітроохолодник Guntner 046D/15 | 1    | 0,35                  | 0,35                         | 1,89              |
| 5                                   | Повітроохолодник Guntner 051C/18 | 5    | 0,25                  | 1,25                         | 6,75              |
| 6                                   | Повітроохолодник Guntner 051D/15 | 2    | 0,35                  | 0,7                          | 3,78              |
| 7                                   | Насос ЦНГ 70М-1                  | 2    | 2,8                   | 5,6                          | 30,24             |
| 8                                   | Насос SAER IR50-125A             | 2    | 3,2                   | 6,4                          | 34,56             |
| <b>Річна витрата електроенергії</b> |                                  |      |                       |                              | <b>863,46</b>     |

|                                     |      |                |                |       |        |
|-------------------------------------|------|----------------|----------------|-------|--------|
| 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ           |      |                |                |       |        |
| Змн.                                | Арк. | № докум.       | Підпис         | Дата  |        |
| Розроб.                             |      | Матвієнко А.С. |                |       |        |
| Перевір.                            |      | Бондар В.І.    |                |       |        |
| Реценз.                             |      |                |                |       |        |
| Н. Контр.                           |      |                |                |       |        |
| Затверд.                            |      | Петренко В.П.  |                |       |        |
| <i>Техніко-економічні показники</i> |      |                | Літ.           | Лист. | Листів |
|                                     |      |                | НУХТ ЗХМ-5-6ск |       |        |

12.2 Розрахунок витрат на придбання та монтаж обладнання наведено в таблиці 12.2.

Витрати на монтаж приймаємо 20% від вартості обладнання.

Інші витрати складають 2% від вартості обладнання.

Таблиця 12.2

| Найменування обладнання                    | К-ть | Витрати на обладнання, тис. грн |        |              | Загальні витрати, тис. грн |
|--|------|---------------------------------|--------|--------------|----------------------------|
|  |      | Придбання                       | Монтаж | Інші витрати |                            |
| Компресор Gea Bock FDK16/1751              | 3    | 854                             | 54     | 12           | 920                        |
| Градирня ГПВ-320                           | 2    | 450                             | 60     | 25           | 535                        |
| Повітроохолодник Guntner 041C/15           | 3    | 150                             | 30     | 5            | 185                        |
| Повітроохолодник Guntner 046D/15           | 1    | 64                              | 12     | 2            | 78                         |
| Повітроохолодник Guntner 051C/18           | 5    | 350                             | 45     | 5            | 400                        |
| Повітроохолодник Guntner 051D/15           | 2    | 130                             | 22     | 3            | 155                        |
| Насос ЦНГ 70М-1                            | 2    | 37,2                            | 5,8    | 2            | 45                         |
| Насос SAER IR50-125A                       | 2    | 42                              | 4      | 1,5          | 47,5                       |
| Конденсатор CPS 440                        | 1    | 450                             | 30     | 5            | 485                        |
| Кожухотрубний ТО для льодяної води CPS 180 | 1    | 270                             | 10     | 5            | 285                        |
| Лінійний ресивер 0,75РД                    | 1    | 45                              | 7      | 2            | 54                         |
| Циркуляційний ресивер 1,5РДВ               | 1    | 68                              | 15     | 3            | 86                         |
| Дренажний ресивер 0,75РД                   | 1    | 45                              | 7      | 2            | 54                         |
| Мастиловіддільник 50М                      | 3    | 36                              | 6      | 1            | 43                         |
| Мастилозбірник 60МЗС                       | 1    | 15                              | 3      | 1            | 19                         |
| <b>Разом</b>                               |      | -                               | -      | -            | <b>3391,5</b>              |

### 12.3 Використання електроенергії

Річне споживання електроенергії холодильником і компресорним цехом даного холодильника становить:  $E_{річн} = 863,46 \text{ тис. кВт} \cdot \text{год}$

Ціна за 1 кВт. год електроенергії становить:  $C_{ел} = 3,2 \text{ грн.}$

Визначаємо річні витрати на споживання електричної енергії за проектними розрахунками:

$$V_{ел,р} = E_p \cdot C_{ел}$$

$$V_{ел,р} = 863,46 \text{ кВтг} \cdot 3,2 \text{ грн/кВтг} = 2763,072 \text{ тис. грн.}$$

12.4 Для компресорів Gea Bock FDK16/1751 підходить синтетичне мастило Fuchs Reniso КС 68. Воно купується за ціною 195 грн. за 1л.

Річна потреба в мастилі з врахуванням його виносу становить 200 л:

$$195 \cdot 200 = 39 \text{ тис. грн}$$

12.5 Холодоагент аміак купується за ціною 10,5 грн. за 1кг, в моєму проекті необхідно 1870 кг і це коштує  $1870 \cdot 10,5 = 19,635 \text{ тис. грн}$

### 12.6 Розрахунок витрат на оплату праці

Фонд основної заробітної плати робітників компресорного цеху наведено в таблиці 12.3.

Таблиця 12.3

| № п/п | Професія         | Чисельність, чол | Місячний фонд, грн | Річний фонд, грн |
|-------|------------------|------------------|--------------------|------------------|
| 1     | Машиніст ХУ      | 8                | 60000              | 720000           |
| 2     | Слюсар-ремонтник | 2                | 16000              | 192000           |
|       | <b>Разом</b>     | 10               | 76000              | 912000           |

### 12.7 Визначення амортизаційних відрахувань:

Приймаю норми амортизаційних відрахувань для основного обладнання – 22% від вартості обладнання;

Витрати на амортизацію основного технологічного обладнання:

$$A_{обл} = \Sigma B_{обл} \cdot 0,22$$

$$A_{обл} = 3391,5 \cdot 0,22 = 746,13 \text{ тис. грн}$$

### 12.8 Визначення інших видів витрат

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

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

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

$$V_{рем} = A_{обл} \cdot 0,2$$

$$V_{рем} = 746,13 \cdot 0,2 = 149,226 \text{ тис. грн}$$

Пускові витрати приймаю 2% від вартості обладнання:

$$V_{пуск} = V_{обл} \cdot 0,02$$

$$V_{пуск} = 3391,5 \cdot 0,02 = 67,83 \text{ тис. грн}$$

Решту витрат приймаю 3% від загальної суми амортизаційних відрахувань:

$$V_{ін} = A_{обл} \cdot 0,03$$

$$V_{ін} = 746,13 \cdot 0,03 = 22,384 \text{ тис. грн}$$

Загальна сума інших витрат складає:

$$\Sigma B = V_{рем} + V_{пуск} + V_{ін}$$

$$\Sigma B = 149,266 + 67,83 + 22,384 = 239,48 \text{ тис. грн}$$

Результати розрахунків зводимо у порівняльну таблицю 12.4 собівартості виробленої одиниці холоду.

Таблиця 12.4.

| Статті витрат          | Значення витрат тис. грн |
|------------------------|--------------------------|
|                        | Проект                   |
| Електроенергія         | 2763,072                 |
| Масило                 | 39                       |
| Холодильний агент R717 | 19,635                   |
| Оплата праці           | 912                      |
| Амортизація            | 746,13                   |
| Інші витрати           | 239,48                   |
| <b>Разом</b>           | <b>4719,312</b>          |

Розраховую кількість виробленого холоду за рік:

$$22 \cdot 270 \cdot 307,14 = 1824,4116 \text{ МВт} \cdot \text{год}$$

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Розраховую собівартість одиниці виробленого холоду:

$$\Delta C = \frac{4719,312 \text{ тис. грн}}{1824,4116 \text{ МВт} \times \text{год}} = 2,59 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \times \text{год}}$$

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## 13. Охорона праці

### Вступ

Розділ підготовлений до теми: «Проект холодильного господарства сирзаводу, продуктивністю 35 тон готової продукції на добу у м. Луцьк».

На новоствореному сирзаводі спроваджене новітнє технологічне обладнання з системою автоматичного управління та захисту, що дозволяє виключити людський фактор при виникненні надзвичайних ситуацій та поліпшити умови праці персоналу.

Окрім цього, встановлено сучасне холодильне обладнання з комп'ютерною системою регуляції роботи та сигналізації про небезпеку, яке спрощує роботу машиністів компресорного цеху.

На виробництві присутні негативні та шкідливі фактори які погіршують роботу персоналу.

#### **Шкідливі виробничі фактори:**

- високий рівень шуму та вібрації на робочому місці;
- загазованість повітря;
- недостатній рівень освітленості робочої зони;

#### **Небезпечні виробничі фактори:**

- порушення вимог безпеки до розміщення робочих місць, обладнання та технологічних майданчиків;
- незахищені рухомі елементи обладнання;
- наявність посудин, що працюють під тиском;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі;
- статична та атмосферна електрика.

|                  |             |                       |               |             |                                  |                       |              |               |
|------------------|-------------|-----------------------|---------------|-------------|----------------------------------|-----------------------|--------------|---------------|
|                  |             |                       |               |             | <i>00. БП. 142. 010. 010. ПЗ</i> |                       |              |               |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>       | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                                  |                       |              |               |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Матвієнко А.С.</i> |               |             | <i>Охорона праці</i>             | <i>Лім.</i>           | <i>Лист.</i> | <i>Листів</i> |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Бондар В.І.</i>    |               |             |                                  |                       |              |               |
| <i>Реценз.</i>   |             |                       |               |             |                                  |                       |              |               |
| <i>Н. Контр.</i> |             |                       |               |             |                                  |                       |              |               |
| <i>Затверд.</i>  |             | <i>Петренко В.П.</i>  |               |             |                                  |                       |              |               |
|                  |             |                       |               |             |                                  | <i>НУХТ ЗХМ-5-6ск</i> |              |               |



## Шум та вібрація на виробництві

Основними джерелами шуму в холодильних установках є компресори та їх двигуни, а також рух холодильного агенту по трубопроводах з великою швидкістю.

Загальна технологічна вібрація не перевищує гранично допустимого значення — 92 дБ (ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. “Вибрационная безопасность. Общие требования” ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації).

Компресори встановлені на спеціальних фундаментних плитах, відокремлених від несучих конструкцій будівлі машинного відділення. Для зменшення впливу вібрації, що викликається роботою компресорів, додержуються таких умов: трубопроводи, що приєднуються до машини, не жорстко кріпляться до конструкцій будинку; при необхідності застосування жорстких кріплень передбачено відповідні компенсаційні пристрої; трубопроводи, що з'єднують компресори з устаткуванням, мають достатню гнучкість, що компенсує деформації.

## Освітлення виробничого приміщення

Недостатнє або неправильне освітлення робочих місць і зон, сліпуче дію джерел світла, різкі тіні від предметів і устаткування призводять до передчасного стомлення та зростання травматизму. Освітлення може бути природним, штучним або змішаним, поєднує природне і штучне.

Розрізняють три види природного освітлення: бічне (через вікна у зовнішніх стінах), верхнє (через світлові ліхтарі та отвори покриттів) і комбіноване (через вікна, ліхтарі і прорізи). Для природного освітлення нормується значення коефіцієнта природної освітленості (КПО).

## Техніка безпеки

### Безпечна експлуатація технологічного устаткування

Машини, устаткування, інструменти та пристосування мають відповідати вимогам державних стандартів „Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки” (ГОСТ 12.2.003-91).

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Коллективні засоби захисту поділяються на: огорожувальні (для запобігання випадкового потрапляння людини в небезпечну зону), запобіжні (для автоматичного відключення машин і устаткування при відхиленні від нормального режиму роботи), пристрої автоматичного контролю і сигналізації (для вимірювання тиску, температури, статичних і динамічних навантажень та сигналізації у разі відхилень від норми чи аварій), знаки безпеки (сигнальні кольори, відповідні щити та ін.).

### **Пожежо- та вибухобезпека**

Основними причинами пожеж є порушення правил техніки безпеки, можливий вихід з ладу технологічного обладнання, перегрівання корпусів апаратів. Оскільки застосовується аміак (безбарвний газ з різким характерним запахом), то при певній його концентрації, яка більше ГДК (ГДК = 20 мг/м<sup>3</sup>), можливий вибух.

Для запобігання перегріву, встановлюються захисні реле з термодатчиками. Встановлена система термоконтролерів та димоаналізаторів. При виявленні диму вмикається система оповіщення і система автоматичних зупинки холодильної установки.

Для захисту від пожежі встановлені пожежні щити з засобами первинного пожежогасіння (вогнегасник, пісок і т.д.), автоматична система пожежогасіння та система протипожежного водопостачання (вода з центральної системи водопостачання насосами подається на спеціальні крани для підвищення тиску та напору води).

Оскільки вибух недопустимий, то, при виявленні пожежі, автоматично визивається пожежна бригада.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## Список використаної літератури

1. Явнель Б.К. “Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха”. М.: «Агропромиздат», 1989-223с.
2. Данилова Г.Н., Богданов С.Н. и др.; под общей ред. Д-ра техн. Наук Г.Н. Даниловой «Теплообменные аппараты холодильных установок – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1986 – 303 с.
3. Сакурн И.А. «Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин» - Л.: Машиностроение, 1987 – 423с.
4. Холодильные компрессоры: Справочник / под ред. Быкрва. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982 – 224с.
5. Тимофеевский Л.С. Холодильные машины – СПб.: Политехника, 1997 – 992с.
6. Чумак И.Г. и др. Холодильные установки – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981 – 344с.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00. БП. 142. 010. 010. ПЗ | Лист |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |