

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

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025р.

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
Валентин ПЕТРЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 142 Енергетичне машинобудування  
(код та назва спеціальності)  
освітньо-професійної програми Холодильні техніка та технології

на тему: Проект заготовільного холодильника для лісових ягід місткістю 400 тонн у м.Чернівці.

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

Супрун Владислав Михайлович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Іващенко Наталія Вікторівна  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище) (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

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

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Київ - 2025р.**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С.Гулого

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Холодильні техніка та технології  
(назва)

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **ТЕХТ**

проф. Петренко

В.П. “   ”

“31” березня 2025 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Супрун Владислав Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект заготівельного холодильника для лісових ягід  
місткістю 400 тон у м. Чернівці

керівник роботи к.т.н., доц., Іващенко Н.В.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “   ” 20 року №    

2. Строк подання здобувачем роботи 20.05.2025

3. Вихідні дані до роботи передбачити камери зберігання лісових ягід, ХА – R507

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ;  
Холодильна частина; Розділ економіки; Розділ охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу

1. План та розріз машинного відділення

2. План та розріз будівлі холодильника

3. Схема Трубопроводів



## Анотація

Дипломна робота присвячена проектуванню заготівельного холодильника місткістю 400 тонн для зберігання лісових ягід у місті Чернівці. Актуальність теми зумовлена необхідністю забезпечення збереження харчових продуктів, зокрема ягідної продукції, упродовж тривалого періоду без втрати їх споживчих властивостей. Лісові ягоди є цінним харчовим продуктом, багатим на вітаміни, антиоксиданти та мікроелементи, однак мають обмежений термін зберігання в свіжому вигляді.

Проект охоплює розрахунок і планування холодильних зон для різних етапів обробки продукції, серед яких: **приймально-сортувальний цех (0°C), камера охолодження (0°C), чотири камери зберігання заморожених ягід (-18°C), фасувально-пакувальний цех (+2°C), та приміщення для встановлення шокового морозильного апарату.**

Основними завданнями роботи стали: розробка технологічної схеми холодильного оброблення продукції, визначення теплонадходжень до охолоджуваних приміщень, розрахунок ізоляційних конструкцій, вибір структури системи охолодження та типу холодильної установки, підбір теплообмінного та допоміжного обладнання, а також техніко-економічне обґрунтування проекту. Особливу увагу приділено питанням охорони праці та економічної ефективності проекту.

**Ключові слова:** заготівельний холодильник, лісові ягоди, холодильне обладнання, теплообмін, енергоефективність, охорона праці, Чернівці.

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>			
<i>Впр.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб</i>		<i>Супрун В.М</i>			<i>Проект заготівельного холодильника місткістю 400 тон у м. Чернівці</i>	<i>Літера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Пров</i>		<i>Іващенко Н.В</i>				<i>у</i>		70
<i>Н. Контр.</i>					<i>НУХТ, ННІТІ, ТЕХТ</i>			
<i>Затв.</i>		<i>Петренко В.П</i>						

## Abstract

The thesis is devoted to the design of a procurement refrigerator with a capacity of 400 tons for storing forest berries in the city of Chernivtsi. The relevance of the topic is due to the need to ensure the preservation of food products, particularly berry products, for a long period without losing their consumer properties. Forest berries are a valuable food product rich in vitamins, antioxidants and microelements, but have a limited shelf life when fresh.

The project covers the calculation and planning of refrigeration zones for different stages of product processing, including: **receiving and sorting workshop (0°C), cooling chamber (0°C), four frozen berry storage chambers (-18°C), packaging workshop (+2°C), and premises for shock freezing apparatus installation.**

The main objectives of the work were: development of the technological scheme for refrigeration processing of products, determination of heat gains to cooled premises, calculation of insulation structures, selection of cooling system structure and type of refrigeration unit, selection of heat exchange and auxiliary equipment, as well as technical and economic justification of the project. Special attention is paid to occupational safety and economic efficiency of the project.

**Keywords:** procurement refrigerator, forest berries, refrigeration equipment, heat exchange, energy efficiency, occupational safety, Chernivtsi.

					<i>00.KP.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Технологічна схема холодильного оброблення продукції.....	8
2. Техніко-економічне обґрунтування.....	15
3. Визначення основних розмірів та планування приміщень холодильника.....	18
4. Розрахунок ізоляційних конструкцій холодильника.....	21
5. Розрахунок теплонадходжень до охолоджуваних приміщень.....	23
6. Визначення навантажень на теплообмінне обладнання камер та компресори.....	29
7. Вибір структури системи охолодження та типу холодильної установки.....	32
8. Вибір розрахункового робочого режиму та тепловий розрахунок холодильної машини.....	35
9. Вибір теплообмінних апаратів.....	41
10. Розрахунок і вибір теплообмінного обладнання холодильних камер.....	45
11. Вибір допоміжного обладнання.....	49
12. Визначення гідравлічних втрат у трубопроводах.....	52
13. Охорона праці.....	55
14. Економічний розрахунок.....	62
Список літератури.....	69

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## Вступ

В умовах сучасного аграрного виробництва зростає потреба у збереженні харчових продуктів, зокрема ягідної продукції, упродовж тривалого періоду без втрати їх споживчих властивостей. Лісові ягоди є цінним харчовим продуктом, багатим на вітаміни, антиоксиданти та мікроелементи, однак мають обмежений термін зберігання в свіжому вигляді. Одним з найефективніших способів збереження такої продукції є її глибоке охолодження та заморожування у спеціалізованих холодильних об'єктах.

Метою даного курсового проєкту є розробка технологічного і технічного рішення для заготівельного холодильника місткістю 400 тонн у місті Чернівці, який дозволить забезпечити прийом, обробку, заморожування та зберігання лісових ягід з мінімальними енерговитратами та високою ефективністю. У ході роботи розглянуто повний цикл холодильної обробки продукції — від підготовки ягід до зберігання, включаючи технологічні процеси, що відбуваються у відповідних приміщеннях. Проведено теплотехнічні розрахунки, визначено теплонадходження до охолоджуваних камер, підбрано холодильне та теплообмінне обладнання відповідно до вимог продуктивності. Також проаналізовано експлуатаційні умови, рівень безпеки та охорони праці персоналу.

Актуальність проєкту полягає в забезпеченні стабільного постачання високоякісної замороженої продукції на внутрішній та зовнішній ринки, зниженні втрат при транспортуванні та зберіганні, а також у підвищенні ефективності заготівельної діяльності у регіоні.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

# 1. Технологічна схема холодильного оброблення продукції

## 1.1 Технологія

Підготовчий етап є одним з ключових у технологічному процесі холодильного оброблення лісових ягід. Саме на цьому етапі закладається основа для тривалого та якісного зберігання продукції. Всі операції підготовчої обробки повинні бути виконані максимально швидко та дбайливо, щоб мінімізувати втрати та зберегти товарний вигляд ягід.

### Приймання продукції

На цьому етапі здійснюється:

перевірка відповідності ягоди за кількістю та якістю згідно з приймальною документацією;

візуальний контроль на наявність механічних пошкоджень, сторонніх домішок (гілочок, листя, комах);

первинне зважування партії ягід.

Під час приймання продукції важливо не допускати тривалого перебування ягід при підвищених температурах, оскільки це може спричинити псування. Приймання бажано проводити в закритому, вентиляваному приміщенні з температурою не вище +10 °С.

### Сортування

Ягоди сортуються за такими критеріями:

якість (цілі, дозрілі, без ознак гнилі);

калібр (розмір) — може бути важливо для подальшого фасування чи експорту;

стадія стиглості — переспілі ягоди менш придатні до зберігання.

Для сортування використовуються:

сортувальні столи або столи-вібростоли;

ручне сортування (для делікатних сортів ягід, таких як чорниця чи малина).

Очищення від домішок

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Цей процес може включати:

- видалення листя, гілочок, сторонніх частинок;
- вибракування пошкоджених ягід;
- використання повітряних сепараторів — продувають ягоди повітрям для усунення легких домішок;
- використання водних ванн — ягоди занурюються у воду для усунення пилу та дрібного сміття.

Миття продукції

Миття проводиться у проточній чистій воді. Необхідно дотримуватись таких умов:

- температура води не повинна перевищувати +10...+15 °С;
- тривалість миття – до 2 хвилин;
- миття повинне проводитися із застосуванням щадного тиску води, щоб не пошкодити структуру ягоди.

Для цього використовують:

мийні барабани;  
водяні душі;  
гідрованни.

Стікання води та підсушування

Після миття ягоди мають пройти етап зневоднення (видалення надлишкової вологи). Надмірна волога може спричинити швидке псування продукції або обмерзання під час заморожування.

Методи підсушування:

самостік на решітчастих піддонах;  
обдув вентиляторами (холодне повітря);  
використання центрифуг (рідше, для міцніших ягід).

Тимчасове зберігання перед охолодженням

Якщо безпосереднє охолодження не є можливим після миття, продукцію розміщують у тимчасовому охолоджуваному приміщенні з температурою +2...+4 °С.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

## 1.2 Основна обробка

Основна обробка продукції на заготівельному холодильнику — це ключовий етап технологічного процесу, який включає попереднє охолодження, глибоке охолодження або заморожування ягід, залежно від цільового способу подальшого зберігання чи реалізації. На цьому етапі температура продукції знижується до необхідного рівня, що забезпечує пригнічення мікробіологічних процесів, ферментативної активності та уповільнення дихання плодів.

### Попереднє охолодження (шокове охолодження)

Це швидке зниження температури ягід до  $+2\dots+4$  °С без проморожування. Мета — швидко знизити температуру щойно зібраної чи промитої продукції, щоб зменшити інтенсивність її псування.

### Методи попереднього охолодження:

#### Повітряне охолодження в камерах шокового охолодження:

температура повітря:  $-1\dots+1$  °С;

вологість: 85–90%;

швидкість обдуву: 2–3 м/с;

тривалість: 2–6 год залежно від виду ягід та початкової температури.

#### Гідроохолодження (обливання холодною водою):

для обмеженого асортименту ягід (наприклад, смородина);

не застосовується для ягід, чутливих до вологи (малина, чорниця).

Після попереднього охолодження ягоди можуть тимчасово зберігатися в охолоджених камерах до подальшої обробки.

### Глибоке охолодження або заморожування

Якщо метою зберігання є довготривале збереження або експорт, продукція направляється на заморожування. Заморожені ягоди можуть зберігатися тривалий час (до 12 місяців і більше), не втрачаючи смакових і харчових властивостей.

### Основні методи заморожування:

#### Швидке (інтенсивне) повітряне заморожування:

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температура повітря:  $-30 \dots -35$  °C;

швидкість повітря: 3–5 м/с;

тривалість процесу: 30–90 хвилин (залежно від виду ягоди та товщини шару).

Індивідуальне шокове заморожування (IQF) — метод, що дозволяє заморозити ягоди окремо, а не злиплими грудками. Дає змогу надалі зручно фасувати або продавати продукцію на вагу.

застосовується тунельні морозильники або барабанного типу;

переваги: висока якість заморожених ягід, збереження форми.

Заморожені ягоди фасуються одразу після охолодження у відповідну тару (пакети, пластикові контейнери, картонні коробки з вкладишами) й відправляються в морозильні камери для довготривалого зберігання.

#### Контроль температурного режиму

Під час основної обробки обов'язково ведеться моніторинг:

температури повітря в охолоджуваних приміщеннях;

температури всередині шару ягід (зонди, щупи);

вологості повітря;

швидкості охолодження (особливо для швидкопсувних ягід — малини, полуниці).

Контроль здійснюється автоматизованими системами або вручну за допомогою портативних термометрів.

#### Переміщення та логістика

На етапі основної обробки важливо забезпечити:

мінімальне перебування ягід поза межами охолоджуваних зон;

дотримання технологічного потоку без перехресного забруднення;

використання ізотермічного транспорту при переміщенні продукції між зонами.

Результат основної обробки — охолоджена або заморожена продукція, що зберегла високі органолептичні та харчові властивості, готова до тривалого зберігання або реалізації.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

### 1.3 Завершальна обробка

Завершальна обробка є заключним етапом технологічного процесу холодильного оброблення лісових ягід перед їх довготривалим зберіганням або транспортуванням. Основна мета цього етапу — забезпечити якісне фасування, маркування, розміщення продукції у сховищах або підготовку до відвантаження без порушення холодового ланцюга.

#### Фасування продукції

Після охолодження або заморожування продукція фасується в зручну транспортну та споживчу тару. Вимоги до тари:

- міцність (витримує вагу при штабелюванні);
- гігієнічність (відповідає санітарним вимогам);
- герметичність (для замороженої продукції);
- зручність у логістиці (стандартизовані розміри, можливість палетування).
- Типи тари:
  - пластикові контейнери з вентиляційними отворами (для охолоджених ягід);
  - вакуумні або герметичні пакети (для заморожених ягід, особливо в індивідуальній упаковці — IQF);
  - коробки з гофрокартону з вкладишами;
  - багатошарові пакети з бар'єрною плівкою.

У разі потреби перед фасуванням проводиться додаткове просіювання або контроль якості продукції.

#### Маркування

Кожна одиниця тари маркується згідно з вимогами державних та міжнародних стандартів. Основні елементи маркування:

- назва продукції;
- маса нетто;
- дата фасування та заморожування;
- термін придатності;
- умови зберігання;

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- назва та контактні дані виробника;
- країна походження;
- штрихкод або QR-код (для складського обліку).

Маркування забезпечує простежуваність продукції на всіх етапах логістичного ланцюга.

Завантаження у камери зберігання

Після фасування продукція переміщується у відповідні холодильні камери:

охоложені камери з температурою  $+1...+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  — для продукції з коротким строком реалізації (свіжі ягоди);

морозильні камери з температурою  $-18...-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  — для довготривалого зберігання заморожених ягід.

При цьому дотримуються:

- принципів партійного зберігання (розміщення згідно з датою заморожування);
- розділення продукції за сортами чи клієнтами;
- ефективної вентиляції всередині камер;
- правил штабелювання (не перевищується допустиме навантаження на піддони).

Розміщення здійснюється із застосуванням гідравлічних візків, електрокарів або стелажів.

Підтримання температурного режиму при зберіганні

У процесі зберігання важливо:

- підтримувати стабільну температуру в межах допустимих норм;
- здійснювати постійний контроль температури і вологості (датчики, система реєстрації);
- не допускати частого відкривання дверей;
- виконувати регулярне технічне обслуговування холодильного обладнання;

					<i>00.KP.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

- контролювати циркуляцію повітря для рівномірного охолодження.

#### Підготовка до транспортування

Перед відправленням продукція:

- перевіряється за температурними показниками;
- за потреби — перекладається в ізотермічні контейнери;
- вантажиться в рефрижераторні автомобілі, які мають сертифікати для перевезення харчової продукції.

Необхідно дотримуватись холодового ланцюга на всіх етапах — від холодильника до кінцевого споживача або торгової мережі.

Результат завершальної обробки — продукція, готова до зберігання або реалізації, повністю відповідає санітарно-гігієнічним, технологічним та логістичним вимогам.

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. Техніко-економічне обґрунтування

Проект будівництва заготівельного холодильника для лісових ягід у місті Чернівці є важливим із соціально-економічної та виробничої точок зору. Його реалізація дозволить вирішити низку актуальних завдань, серед яких:

- забезпечення зберігання продукції з тривалим терміном придатності;
- зменшення втрат при транспортуванні та зберіганні;
- підвищення рівня переробки та експорту продукції;
- створення нових робочих місць в регіоні;
- розвиток інфраструктури аграрного сектору.

Виробнича потужність і призначення об'єкта

Потужність холодильника: 400 тонн зберігання ягід (заморожених або охолоджених).

Призначення: приймання, підготовка, охолодження/заморожування, зберігання та відвантаження лісових ягід (малина, чорниця, ожина, суниця, смородина).

Сезон роботи: травень–жовтень (активний прийом), решта часу — зберігання і відвантаження.

Основні технічні показники холодильника

Показник Значення

Загальна місткість продукції 400 т

Кількість холодильних камер 3 (2 заморожування + 1 охолодження)

Температурний режим  $-18\dots-22$  °C (морозильні),  $+1\dots+4$  °C (охолодження)

Загальна площа забудови  $\approx 1000$  м<sup>2</sup>

Річна кількість обробленої продукції до 1500 т (при ротації партій)

Кількість працівників 10–15 осіб у сезон

Орієнтовні капітальні витрати

Стаття витрат Сума, тис. грн (орієнтовно)

Проектно-вишукувальні роботи 350

Будівництво приміщення 6 000

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Холодильне обладнання (агрегати, вентиляція, автоматика) 4 200

Камери шокового заморожування 1 800

Стелажі, тара, логістичне обладнання 600

Системи електропостачання, вентиляції, пожежогасіння 950

Монтажні роботи, пусконаладження 800

Інше (транспорт, охорона, благоустрій) 300

Загальна вартість 15 000 тис. грн

Економічна ефективність

Очікувані доходи:

Обсяг реалізації: ~1500 т/рік.

Середня ціна заморожених ягід: 80 грн/кг.

Виручка: 120 млн грн/рік.

Основні витрати:

Зарплатний фонд: 2.4 млн грн/рік.

Енергія (електроенергія на охолодження): ~1.5 млн грн.

Логістика та пакування: ~2 млн грн.

Амортизація та обслуговування: ~1.2 млн грн.

Податки, адміністративні витрати: ~0.9 млн грн.

Операційний прибуток: приблизно 112 млн грн/рік.

Термін окупності

При інвестиціях 15 млн грн та щорічному чистому прибутку понад 10 млн грн, термін окупності проєкту становить близько 1.5 року. Надалі об'єкт приносить стійкий дохід, зокрема завдяки експорту заморожених ягід за стабільними контрактами.

Соціальні переваги проєкту

Створення 10–15 постійних і сезонних робочих місць.

Залучення місцевих фермерів до кооперації.

Підвищення цінності лісових ягід та конкурентоспроможності продукції з Чернівецької області.

Покращення інфраструктури агропереробки.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Висновок: реалізація проекту заготівельного холодильника є технічно обґрунтованою, економічно вигідною та соціально доцільною. Об'єкт дозволить ефективно зберігати великі обсяги ягід, зменшити втрати продукції та підвищити її додану вартість.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

### 3. Визначення основних розмірів та планування приміщень холодильника

Проектування холодильника передбачає раціональне використання площі, дотримання санітарно-гігієнічних вимог, логічну організацію потоків сировини та готової продукції, а також забезпечення ефективної роботи холодильного обладнання.

#### Визначення об'єму та площ камер

Для зберігання 400 тонн лісових ягід використовуються камери зберігання заморожених ягід та камера охолодження згідно з проєктним кресленням.

#### Вихідні дані:

- Густина насипна заморожених ягід у тарі:  $\sim 350\text{--}400 \text{ кг/м}^3$
- Кратність укладання тари з урахуванням проходів та вентиляції:  $0,5\text{--}0,6 \text{ т/м}^2$
- Необхідна місткість продукції: 400 т
- Температурні режими: камери зберігання  $-18^\circ\text{C}$ , камера охолодження  $0^\circ\text{C}$

#### Розрахунок площі зберігання:

Згідно з проєктним кресленням холодильник включає:

- 4 камери зберігання заморожених ягід (позначені як IV) при температурі  $-18^\circ\text{C}$
- 1 камеру охолодження (позначена як II) при температурі  $0^\circ\text{C}$
- Загальні розміри будівлі:  $42 \times 28 \text{ м}$

Загальна площа холодильних камер становить близько  $600 \text{ м}^2$ , що забезпечує зберігання 400 тонн продукції з необхідним запасом місткості.

#### Планування та технологічний потік

##### Принципи планування:

- Розділення чистих і «брудних» зон (санітарні вимоги)
- Прямолінійний потік продукції: приймання  $\rightarrow$  обробка  $\rightarrow$  охолодження/заморозка  $\rightarrow$  фасування  $\rightarrow$  зберігання  $\rightarrow$  відвантаження
- Мінімальні відстані між цехами для зниження втрат холоду
- Термошлюзи та герметичні двері на вході в камери

##### Функціональні зони згідно креслення:

I - Приймально-сортувальний цех - вхідна зона для прийому сировини, первинної обробки та сортування ягід

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

**II - Камера охолодження (0°C)** - призначена для попереднього охолодження свіжих ягід перед заморозкою

**III - Побутові приміщення та адміністрація** - офісні та допоміжні приміщення для персоналу

**IV - Камери зберігання заморожених ягід (-18°C)** - чотири основні камери для довготривалого зберігання готової продукції

**V - Фасувально-пакувальний цех** - зона підготовки продукції до реалізації

**VI - Трансформаторна підстанція** - електропостачання холодильного обладнання

**VII - Приміщення встановлення ШМА** - розміщення шокового морозильного апарату

**VIII - Автомобільна платформа** - зона завантаження/розвантаження транспорту

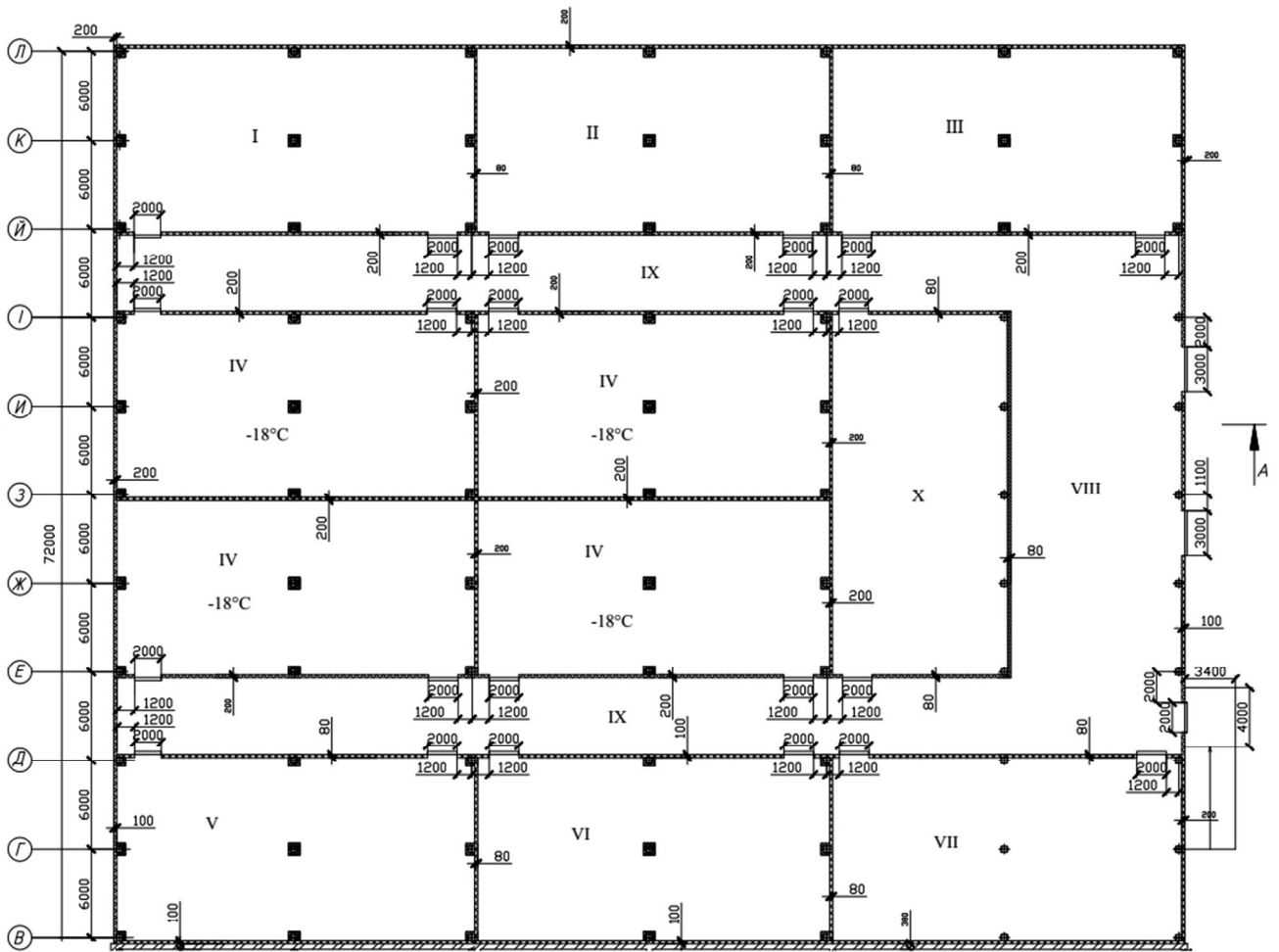
**IX - Коридор** - забезпечення внутрішнього транспортування

**X - Службові приміщення** - технічні та допоміжні зони

**Типовий маршрут ягід:**

1. Приймання ягід через автомобільну платформу (VIII)
2. Первинна обробка у приймально-сортувальному цеху (I)
3. Попереднє охолодження в камері охолодження (II)
4. Шокове заморожування в приміщенні ШМА (VII)
5. Довготривале зберігання в камерах заморожених ягід (IV)
6. Фасування та пакування в цеху (V)
7. Відвантаження через автомобільну платформу (VIII)

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19



**Рис.1** Планування приміщень холодильника місткістю 400 тон

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.КР.142.008.007.ПЗ

Арк.

20

#### 4. Розрахунок ізоляційних конструкцій холодильника

Теплоізоляційні конструкції холодильника є критично важливими для підтримання стабільних температурних режимів у різних зонах об'єкта та забезпечення мінімальних теплопритоків з навколишнього середовища. Для оптимізації товщини теплоізоляційного шару проводиться детальний теплотехнічний аналіз огорожувальних елементів.

##### Вихідні дані:

- Місце розташування об'єкта — м. Чернівці (II кліматична зона України)
- Максимальна температура зовнішнього повітря —  $+30^{\circ}\text{C}$
- Температурні режими приміщень згідно креслення:
  - Камери зберігання заморожених ягід (IV) —  $-18^{\circ}\text{C}$
  - Камера охолодження (II) —  $0^{\circ}\text{C}$
  - Виробничі приміщення (I, V) —  $+12^{\circ}\text{C}$
- Габаритні розміри будівлі:  $42 \times 28 \times 7$  м
- Загальна кількість низькотемпературних камер — 4 камери при  $-18^{\circ}\text{C}$
- Теплоізоляційний матеріал — пінополіуретан ( $\lambda = 0,025$  Вт/(м·К))
- Допустимі коефіцієнти теплопередачі:
  - Стінові конструкції —  $0,35$  Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{K}$ )
  - Покрівельні конструкції —  $0,3$  Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{K}$ )
  - Підлогові конструкції —  $0,4$  Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{K}$ )

##### Розрахунок необхідної товщини теплоізоляції

Обчислення виконується за залежністю теплопровідності від товщини матеріалу:

Для стінових огорожень:  $\delta_{\text{стін}} = 0,025/0,35 = 0,0714$  м  $\approx 80$  мм

Для покрівельних конструкцій:  $\delta_{\text{покрівлі}} = 0,025/0,3 = 0,0833$  м  $\approx 90$  мм

Для підлогових конструкцій:  $\delta_{\text{підлоги}} = 0,025/0,4 = 0,0625$  м  $\approx 70$  мм

##### Конструктивні рішення огорожувальних елементів

**Стінові та покрівельні конструкції:** Застосування сендвіч-панелей з пінополіуретановим заповненням товщиною 100 мм (з технологічним запасом для забезпечення надійності теплозахисту).

**Підлогові конструкції:** Багатошарова система включає бетонну основу з гідроізоляційним покриттям, теплоізоляційний шар (пінополістирол або ППУ товщиною 80 мм), армуючий каркас та фінішне бетонне покриття.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

## Система герметизації та захисту від вологи

Для унеможливлення проникнення вологи та неконтрольованих повітряних потоків застосовуються:

- пароізоляційні мембрани на внутрішніх поверхнях приміщень
- герметизуючі матеріали в з'єднаннях панельних елементів
- спеціалізовані двері з інтегрованими ущільнювачами та системою електропідігріву по периметру для запобігання обмерзанню

### Підсумкові технічні параметри

Для гарантованого забезпечення температурних режимів згідно з проектом (від  $-18^{\circ}\text{C}$  до  $+12^{\circ}\text{C}$ ) при максимальній зовнішній температурі  $+30^{\circ}\text{C}$ , огорожувальні конструкції холодильника повинні мати теплоізоляцію наступних товщин:

- Стінові елементи — 100 мм
- Покрівельні елементи — 100 мм
- Підлогові елементи — 80 мм

Зазначені параметри гарантують оптимальне теплозбереження та високу енергоефективність комплексу для зберігання та обробки 400 тонн ягідної продукції.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

## 5. Розрахунок теплонадходжень до охолоджуваних приміщень

### 5.1 Тепло надходження через конструкції

Огороджувальні конструкції холодильних камер (стіни, підлога, стеля) є одним із основних джерел теплопритоку. Для зменшення тепловтрат вони виконуються з теплоізоляційних матеріалів (наприклад, пінополіуретану, ППУ), однак повністю уникнути теплонадходжень неможливо.

Правильний розрахунок теплопритоку через конструкції дозволяє:

- обґрунтовано підібрати холодильне обладнання;
- оптимізувати енергоспоживання;
- забезпечити стабільні умови зберігання ягід при низьких температурах.

#### Методика розрахунку

Теплонадходження через кожну поверхню камери (стелю, підлогу, стіни) визначається за формулою:

$$Q = k \cdot F \cdot (t_{\text{зовн}} - t_{\text{вн}}) \cdot \tau$$

де:

- $Q$  — кількість теплонадходження, Вт·год
- $k$  — коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К)
- $F$  — площа поверхні, м<sup>2</sup>
- $t_{\text{зовн}}$  — температура зовнішнього середовища, ° $t_{\text{зовн}}$
- $t_{\text{вн}}$  — температура всередині камери, °С
- $\tau$  — тривалість розрахункового періоду, год

#### Вихідні дані

- Температура зовнішнього повітря ( $t_{\text{зовн}}$ ) = +30 °С
- Температура в камері зберігання ( $t_{\text{вн}}$ ) = -18 °С
- Різниця температур:
- $\Delta t = t_{\text{зовн}} - t_{\text{вн}} = 30 - (-18) = 48^\circ\text{C}$
- $\Delta t = t_{\text{зовн}} - t_{\text{вн}} = 30 - (-18) = 48^\circ\text{C}$

Тривалість розрахункового періоду:

$$\tau = 24 \text{ год}$$

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

## Теплотехнічні характеристики конструкцій

Елемент конструкції	Площа (F), м <sup>2</sup>	k, Вт/м <sup>2</sup> ·К
Стеля	200	0,30
Підлога	200	0,40
Стіни (усі)	360	0,35

### Розрахунок теплонадходжень

Через стелю:

$$Q_1 = 0,30 \cdot 200 \cdot 48 \cdot 24 = 69120 \text{ Вт}$$

Через стіни:

$$Q_2 = 0,35 \cdot 360 \cdot 48 \cdot 24 = 145152 \text{ Вт}$$

Через підлогу:

$$Q_3 = 0,40 \cdot 200 \cdot 48 \cdot 24 = 92160 \text{ Вт}$$

### Загальне теплонадходження

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 69120 + 145152 + 92160 = 306432 \text{ Вт}$$

або в кіловат-годинах:

$$Q_{\text{заг}} = 306,4 \text{ кВт}$$

### Висновок

Протягом доби через огорожувальні конструкції однієї холодильної камери для зберігання лісових ягід відбувається проникнення близько 306,4 кВт·год тепла. Це значення враховується при підборі холодильного агрегату, який повинен забезпечити відведення цього тепла з урахуванням запасу на інші джерела теплопритоку (люди, обладнання, заморожування продукту, відкривання дверей тощо).

Зменшення цього навантаження можливе за рахунок:

- підвищення товщини теплоізоляції;
- усунення містків холоду;
- використання енергоефективних будівельних рішень;
- зменшення площ зовнішніх огорожень.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

## 5.2 Теплонадходження при заморожуванні продукту

Заморожування є енергоємним процесом, що супроводжується значними теплонадходженнями до холодильних камер. Під час охолодження та фазового переходу (перетворення води в лід) з продуктів виділяється значна кількість тепла, яку холодильна установка повинна відвести.

Основні етапи заморожування:

1. **Охолодження свіжої продукції** від початкової температури (приблизно +20...+25 °С) до температури початку кристалізації (приблизно 0 °С).

2. **Фазовий перехід** — замерзання вологи в тканинах продукту (при 0...–1 °С).

3. **Охолодження замороженого продукту** до кінцевої температури зберігання (наприклад, –18 °С).

Формула розрахунку теплонадходжень при заморожуванні:

$$Q=G \cdot (c_1 \cdot (t_1 - t_k) + r + c_2 \cdot (t_k - t_2))$$

де:

- Q — кількість теплоти, кДж
- G — маса продукції, кг
- c1 — питома теплоємність продукту до замерзання, кДж/(кг·°С)
- c2 — питома теплоємність після замерзання, кДж/(кг·°С)
- r — прихована теплота замерзання, кДж/кг
- t1 — початкова температура продукту, °С
- tk — температура кристалізації, °С
- t2 — кінцева температура заморожування, °С

Вихідні дані:

Параметр	Значення
Продукт	Лісові ягоди
Маса продукту G	400 000 кг (400 т)
t1 — початкова температура	+20 °С
tk — температура кристалізації	0 °С
t2 — температура зберігання	–18 °С
c1 — теплоємність до замерзання	3,6 кДж/кг·°С
c2 — теплоємність після	1,9 кДж/кг·°С

Параметр	Значення
замерзання	
$r$ — теплота замерзання	255 кДж/кг

Розрахунок:

1. Охолодження від  $+20$  до  $0$  °С:

$$Q_1 = 400000 \cdot 3,6 \cdot (20 - 0) = 400000 \cdot 3,6 \cdot 20 = 28800000 \text{ кДж}$$

2. Фазовий перехід (замерзання):

$$Q_2 = 400000 \cdot 255 = 102000000 \text{ кДж}$$

3. Доохолодження до  $-18$  °С:

$$Q_3 = 400000 \cdot 1,9 \cdot (0 - (-18)) = 400000 \cdot 1,9 \cdot 18 = 13680000 \text{ кДж}$$

Загальне теплонадходження:

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 28,800,000 + 102,000,000 + 13,680,000 = 144,480,000 \text{ кДж}$$

Переводимо в кВт·год:

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3600 \text{ кДж} \quad Q = 3600 \cdot 144,480,000 \approx 40,133 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

### Висновок:

Для заморожування партії лісових ягід масою 400 т потрібно приблизно **40 133 кВт·год** холоду. Це теплонадходження має бути враховане при проектуванні холодильного устаткування, особливо камер шокowego заморожування та проміжного зберігання.

### 5.3 Експлуатаційні тепло надходження.

Окрім теплопритоків через огорожувальні конструкції та під час заморожування продукції, у холодильних камерах виникають так звані **експлуатаційні теплонадходження**, які пов'язані з реальними умовами використання приміщень. Ці надходження виникають внаслідок:

- присутності людей і роботи обладнання;
- відкривання дверей;
- освітлення;
- транспортування продукції;
- вентиляції або інфільтрації повітря.

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Ці фактори є змінними та залежать від режиму експлуатації, але їх врахування є обов'язковим при проектуванні холодильного обладнання.

Основні джерела експлуатаційних теплонадходжень:

Джерело	Позначення	Одиниці виміру	Орієнтовне значення
Тепло від людей	Q <sub>люд</sub>	кВт·год	0,35 кВт на людину за годину
Тепло від освітлення	Q <sub>осв</sub>	кВт·год	15–20 Вт/м <sup>2</sup>
Тепло від електронавантаження (візки, двигуни тощо)	Q <sub>обл</sub>	кВт·год	0,1–0,2 кВт/м <sup>2</sup>
Тепло при відкритті дверей	Q <sub>дв</sub>	кВт·год	10–25 кВт·год за 1 відкриття
Інфільтрація повітря	Q <sub>інф</sub>	кВт·год	залежить від тиску і часу відкриття дверей

Вихідні умови для розрахунку

- Кількість працівників у камері: 2 особи
- Освітлювана площа: 200 м<sup>2</sup>
- Освітлення: 20 Вт/м<sup>2</sup>
- Тривалість зміни: 8 год
- Відкривання дверей: 5 разів на добу
- Тепло при 1 відкриванні: 15 кВт·год
- Робота електровізків та обладнання — 0,15 кВт/м<sup>2</sup> (200 м<sup>2</sup>)

Розрахунок

*Тепло від людей:*

$$Q_{\text{люд}} = 2 \text{ особи} \cdot 0,35 \text{ кВт} \cdot 8 \text{ год} = 5,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

*Тепло від освітлення:*

$$Q_{\text{осв}} = 200 \text{ м}^2 \cdot 0,02 \text{ кВт} \cdot 8 \text{ год} = 32 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

*Тепло від обладнання:*

$$Q_{\text{обл}} = 200 \text{ м}^2 \cdot 0,15 \text{ кВт} = 30 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

*Тепло від відкривань дверей:*

$$Q_{\text{дв}} = 5 \text{ разів} \cdot 15 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 75 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

*Тепло від інфільтрації повітря (орієнтовно):*

$$Q_{\text{інф}} \approx 10 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Загальне експлуатаційне теплонадходження:

$$Q_{\text{експ}} = Q_{\text{люд}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{обл}} + Q_{\text{дв}} + Q_{\text{інф}} = 5,6 + 32 + 30 + 75 + 10 = 152,6 \text{ кВт}$$

**Висновок:**

Протягом доби в охолоджувану камеру потрапляє орієнтовно **152,6 кВт·год** тепла від експлуатаційних джерел. Це значення суттєво впливає на сумарну теплову навантаження та враховується при підборі компресорно-конденсаторних агрегатів і випарників.

Враховуючи, що загальне теплонадходження складається з:

- Через конструкції:  $\approx 306,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}$
- При заморожуванні продукту:  $\approx 40\,133 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  (разово на партію)
- Експлуатаційне:  $\approx 152,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  на добу

можна виконати точний добір холодильної установки з урахуванням резерву продуктивності.

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

## 6.Визначення навантажень на теплообмінне обладнання камер та компресори

Для забезпечення ефективного зберігання та заморожування ягід у холодильному комплексі необхідно точно визначити теплові навантаження на основне холодильне обладнання — випарники, повітроохолоджувачі (в камерах) та компресори. Теплове навантаження визначається як сума всіх джерел тепlopоступлень у камеру охолодження/заморожування:

### Основні джерела тепlopоступлень:

1. **Через огорожувальні конструкції (стіни, стеля, підлога) —** теплопередача з навколишнього середовища.
2. **Через інфільтрацію повітря** — при відкриванні воріт та люків.
3. **Від ягід, що надходять теплими** (первинне охолодження).
4. **Від людей, освітлення, електродвигунів вентиляторів тощо.**
5. **Від сонячного випромінювання** (при неефективній теплоізоляції покрівлі або вікон, якщо є).

### 6.2. Розрахунок тепlopоступлень

#### 6.2.1. Через огорожувальні конструкції

Формула:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n (S_i \cdot K_i \cdot \Delta T)$$

де:

- $S_i$  — площа  $i$ -тої огорожувальної конструкції ( $m^2$ );
- $K_i$  — коефіцієнт теплопередачі ( $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$ );
- $\Delta T$  — перепад температур між зовнішнім середовищем і камерою ( $^\circ C$ ).

Для морозильної камери:

- Температура в камері:  $-20^\circ C$
- Температура зовнішня (середня літня):  $+25^\circ C$
- $\Delta T = 45^\circ C$

Приклад:

Для стін  $S = 250 m^2$ ,  $K = 0,3 Вт/м^2 \cdot ^\circ C$

$$Q_{стін} = 250 \cdot 0,3 \cdot 45 = 3,375 \text{ кВт}$$

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

### 6.2.2. Інфільтрація повітря при відкриванні воріт

Припустимо, ворота відкриваються 10 разів на день, тривалість відкривання – 2 хв, площа воріт – 6 м<sup>2</sup>.

Формула оцінки:

$$Q_2 = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T / 3600$$

де:

- V — об'єм повітря, що потрапляє в камеру (м<sup>3</sup>);
- ρ — густина повітря (~1,2 кг/м<sup>3</sup>);
- c<sub>p</sub> — теплоємність повітря (~1,0 кДж/кг·°C).

### 6.2.3. Теплота, що надходить з ягодами

Для заморожування ягід важливо враховувати **сенсибельне** (до температури замерзання) і **латентне** (при фазовому переході) тепло.

**Формула:**

$$Q_3 = G \cdot (c_p \cdot \Delta T_1 + \lambda + c_l \cdot \Delta T_2)$$

де:

- G — маса ягід (кг);
- c<sub>p</sub> — теплоємність ягід до замерзання (~3,5 кДж/кг·°C);
- ΔT<sub>1</sub> — від температури надходження (наприклад, 20°C) до 0°C;
- λ — прихована теплота замерзання (~270 кДж/кг);
- c<sub>l</sub> — теплоємність льоду (~2,1 кДж/кг·°C);
- ΔT<sub>2</sub> — охолодження нижче 0°C до -18°C.

**Приклад для 5 тонн ягід (5000 кг):**

$$Q_3 = 5000 \cdot (3,5 \cdot 20 + 270 + 2,1 \cdot 18) = 5000 \cdot (70 + 270 + 37,8) = 5000 \cdot 377,8 = 1\,889\,000 \text{ кДж} \\ \approx 524 \text{ кВт} \cdot \text{год} \\ Q_3 = 5000 \cdot (3,5 \cdot 20 + 270 + 2,1 \cdot 18) = 5000 \cdot (70 + 270 + 37,8) = 5000 \cdot 377,8 = 1\,889\,000 \text{ кДж} \approx 524 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

### 6.2.4. Внутрішні тепловиділення

- Від людей (100 Вт на 1 особу × кількість людей × час).
- Вентилятори — 0,5–1 кВт на 100 м<sup>3</sup> об'єму.
- Освітлення — 5–10 Вт/м<sup>2</sup> площі.

У середньому для великої камери — 2–3 кВт.

### 6.3. Сумарне теплове навантаження камери

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$Q_{total}=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4$$

(де  $Q_4$  — внутрішні тепловиділення)

У типовій морозильній камері (на 100 тон), сумарне теплове навантаження може становити від 35 до 50 кВт у піковий період (при постійному завантаженні й теплих ягодах).

Для камер охолодження — навантаження нижче: **15–25 кВт**.

#### **6.4. Визначення навантаження на компресори**

**Основна формула:**

$$N_{компр}=Q_0\eta\cdot COP$$

де:

- $Q_0$  — холодопродуктивність (Вт);
- $\eta$  — коефіцієнт ефективності системи ( $\sim 0,9$ );
- $COP$  — коефіцієнт перетворення (залежить від  $\Delta T$ , типу холодоагенту).

**Приклад:**

Для заморожування 400 тонн ягід поетапно (по 20 тонн/день) – потрібно приблизно 150–180 кВт холоду.

$COP$  системи холодоагент HFC R507 при  $\Delta T = 40^\circ C \approx 2,0$

Тоді:

$$N=1800000,9\cdot 2,0=1800001,8\approx 100 \text{ кВт споживання електроенергії}$$
$$N=0,9\cdot 2,0\cdot 180000=1,8180000\approx 100 \text{ кВт споживання електроенергії}$$

#### **6.5. Висновки:**

• Для повноцінної роботи холодильника на 400 тонн ягід потрібно враховувати розділення камер: шокове заморожування (50–70 кВт), охолодження (20–30 кВт), зберігання (10–20 кВт).

- Загальна потреба в холодильній потужності — до **180 кВт холоду**.
- Компресорне обладнання підбирається з запасом 10–15%.
- Необхідно передбачити резервні компресори або багатосекційну систему для уникнення аварій.

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



<b>R290 (пропан)</b>	Низьке GWP, висока ефективність	Вибухонебезпечний	Потрібен спеціальний захист
<b>CO<sub>2</sub> (R744)</b>	Дуже екологічний, ефективний	Високий тиск, складне обладнання	Підходить для великих систем
<b>Аміак (R717)</b>	Дуже ефективний, дешевий	Токсичний, не для малих об'єктів	Часто використовується на заводах

**Рекомендовано:**

Для об'єкта в Чернівцях оптимальним є система на R507 або сучасний замітник з низьким GWP (наприклад, R448A).

**7.4. Структура системи охолодження**

**Пропонована структура:**

- Централізована компресорно-конденсаторна станція (ЦККС)** розміщується в окремому технічному приміщенні.
- Магістралі холодоагенту (або рідинного холодоносія)** ведуть до:
  - Камер охолодження ягід (+2...+5°C)
  - Камер шокової заморозки (-35°C)
  - Камер зберігання (-20°C)
- У кожній камері — **повітроохолоджувач (випарник)** відповідної потужності з вбудованими вентиляторами.
- Автоматика керування:** електронні терморегулятори, таймери відтайки, аварійні сигнали.
- Запасна компресорна лінія** або дублююче обладнання для забезпечення надійності.

**7.5. Вибір основного обладнання**

**Компресори:**

- Тип: гвинтові або спіральні
- Потужність: 50–80 кВт (2–3 одиниці)
- Рекомендовані бренди: Bitzer, Frascold, Copeland

**Повітроохолоджувачі:**

- Продуктивність залежно від об'єму камер
- З електровідтаюванням або гарячим газом

**Конденсатори:**

- Тип: повітряного охолодження (з вентиляторами)
- Розміщення: на даху або окремому майданчику

**7.6. Висновки щодо вибору системи:**

- Обрана **централізована система на базі фреону (R507 або R448A)** з можливістю роздільного керування камерами.
- Передбачено **резервування** обладнання для уникнення простоїв.
- **Автоматизована система керування** дозволить точно підтримувати температурні режими та знижувати споживання енергії.
- У подальшому система може бути **модернізована на CO<sub>2</sub> або інші екологічні агенти**.

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

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

### 8.1. Вибір розрахункового робочого режиму

Для коректного проектування холодильного обладнання необхідно визначити **розрахунковий режим роботи**, який відображає **максимальні теплові навантаження**, **типові умови експлуатації** та **температурні параметри**.

#### Основні вихідні умови:

- Зовнішня температура повітря влітку: +30°C
- Температура кипіння холодоагенту в випарнику:
  - Камера охолодження: -5°C
  - Камера заморожування: -30°C
- Температура конденсації: +40°C (у повітряних конденсаторах)
- Тип холодоагенту: R507 (або R448A — сучасний низько-GWP замітник)

### 8.2. Визначення холодопродуктивності холодильної машини

Загальна холодопродуктивність системи повинна покривати теплові навантаження від:

- камер охолодження свіжих ягід
- камер заморожування (в т.ч. шокова заморозка)
- інфільтрацій повітря
- теплопередачі через огорожувальні конструкції
- тепла від вентиляторів, освітлення, людей та обладнання

#### Приблизні теплові навантаження (згідно попередніх розрахунків):

Камера	Температура	Навантаження, кВт
Камера охолодження	+2°C	12 кВт
Камера зберігання	-20°C	24 кВт
Камера шокової заморозки	-35°C	36 кВт
<b>Разом (з запасом 10%)</b>		<b>80 кВт</b>

Приймаємо загальну розрахункову холодопродуктивність холодильного агрегата: **90 кВт**.

### 8.3. Тепловий розрахунок холодильного агрегата

					<i>00.KP.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Формула для визначення теплової потужності компресора:

$$Q_0 = q_{\text{холод}} = m' \cdot (h_1 - h_4)$$

$$N = m' \cdot (h_2 - h_1)$$

де:

- $Q_0$  — холодопродуктивність (Вт)
- $m'$  — масова витрата холодоагенту (кг/с)
- $h_1, h_2, h_4$  — ентальпії на різних точках циклу (можна отримати з діаграми

$\log(p)$ - $h$  для R507)

- $N$  — потужність компресора (Вт)

### Приблизні значення для R507:

- $t_{\text{кип}} = -30^\circ\text{C}$ :  $h_1 = 370 \text{ kJ/kg}$
- $t_{\text{конденс.}} = 40^\circ\text{C}$ :  $h_2 = 420 \text{ kJ/kg}$ ,  $h_4 = 250 \text{ kJ/kg}$

### Розрахунок:

#### 1. Масова витрата холодоагенту:

$$m' = \frac{Q_0}{h_1 - h_4} = \frac{90}{370 - 250} = \frac{90}{120} = 0,75 \text{ кг/с}$$

#### 2. Потужність компресора:

$$N = m' \cdot (h_2 - h_1) = 0,75 \cdot (420 - 370) = 0,75 \cdot 50 = 37,5 \text{ кВт}$$

**Компресорна потужність  $\approx 38$  кВт**

**Холодопродуктивність системи: 90 кВт**

#### 8.4. Коефіцієнт енергоефективності (COP)

$$\text{COP} = \frac{Q_0}{N} = \frac{90}{38} \approx 2,37$$

Це нормальний показник для середньотемпературних та низькотемпературних установок на R507.

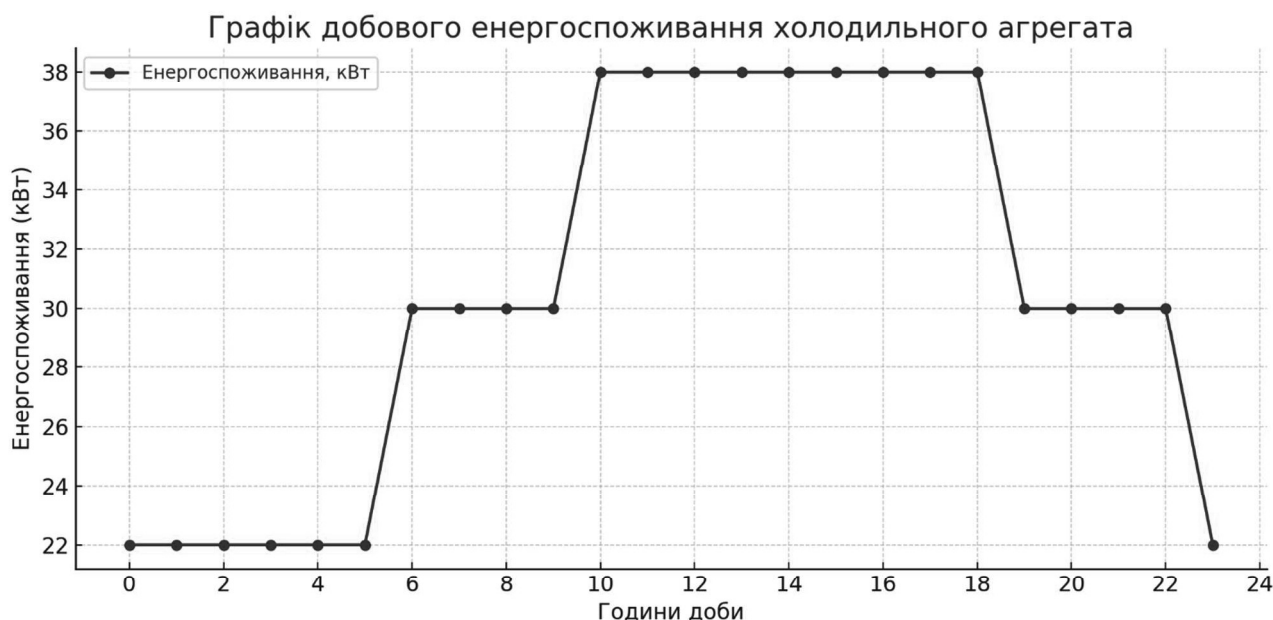
#### 8.5. Висновки:

- Обраний **робочий режим** ( $-30^\circ\text{C}$  /  $+40^\circ\text{C}$ ) є типовим для заморозувальних установок в умовах України.
- Для забезпечення холодопродуктивності 90 кВт потрібно встановити компресорну установку потужністю приблизно 38 кВт.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

• Коефіцієнт енергоефективності становить  $\approx 2,4$ , що є добрим показником для такого типу системи.

• Необхідно передбачити **резервний компресор** або роботу за схемою 2+1 (два основних + один резерв).



Ось графік добового енергоспоживання холодильного агрегата:

• **Максимальне споживання (38 кВт)** спостерігається вдень (10:00–18:00), коли теплові навантаження найвищі.

• **Зменшене навантаження (30 кВт)** вранці та ввечері (6:00–10:00 і 18:00–22:00).

• **Мінімальне споживання (22 кВт)** вночі (0:00–6:00 і 22:00–24:00), коли теплові втрати знижені.

## 8.1. Побудова циклу та розрахунок холодильної машини

### Тип циклу

Для даної установки використовується **одноступінчастий компресійний цикл з сухим випаровуванням** на холодоагенті **R507A** або **R448A**.

Цикл включає наступні чотири основні процеси:

1. **Стиснення холодоагенту в компресорі (1→2)**
2. **Охолодження та конденсація в конденсаторі (2→3)**
3. **Дроселювання в терморегулюючому вентилі (ТРВ) (3→4)**
4. **Кипіння в випарнику з відбором тепла з камер (4→1)**

### Побудова циклу на діаграмі $\log(p)$ - $h$ ( $p$ - $h$ діаграма)

На діаграмі  $\log(p)$ - $h$  цикл виглядає так:

- **1 → 2:** Адіабатне стиснення (різке зростання тиску й температури)
- **2 → 3:** Ізобарна конденсація (зниження ентальпії при сталому тиску)
- **3 → 4:** Адіабатне дроселювання (різке зниження тиску без зміни ентальпії)
- **4 → 1:** Ізобарне кипіння у випарнику (відбір теплоти)

### Розрахунок параметрів циклу (для холодоагенту R507)

#### Вихідні дані:

- Температура кипіння  $t_0 = -30^\circ\text{C}$
- Температура конденсації  $t_k = +40^\circ\text{C}$
- Потужність холодильної машини  $Q_0 = 90$  кВт

#### Дані з $p$ - $h$ діаграми або таблиці властивостей R507 (приблизні):

Точка	Стан	Температура	Тиск (бар)	Ентальпія (кДж/кг)	$h$
1	Вихід з випарника	$-10^\circ\text{C}$	2,1	370	
2	Після стиснення	$+75^\circ\text{C}$	17,0	420	
3	Після конденсації	$+40^\circ\text{C}$	17,0	270	
4	Після дроселювання	$-30^\circ\text{C}$	2,1	270 ( $\approx h_3$ )	

#### Розрахунок масової витрати холодоагенту:

$$\dot{m} = Q_0 \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = 90 \frac{000370 - 270}{000420 - 270} = 90 \frac{000100}{000150} = 0,9 \text{ кг/с}$$

#### Д. Розрахунок потужності компресора:

$$N = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) = 0,9 \cdot (420 - 370) = 0,9 \cdot 50 = 45 \text{ кВт}$$

									Арк.	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.KP.142.008.007.ПЗ					38

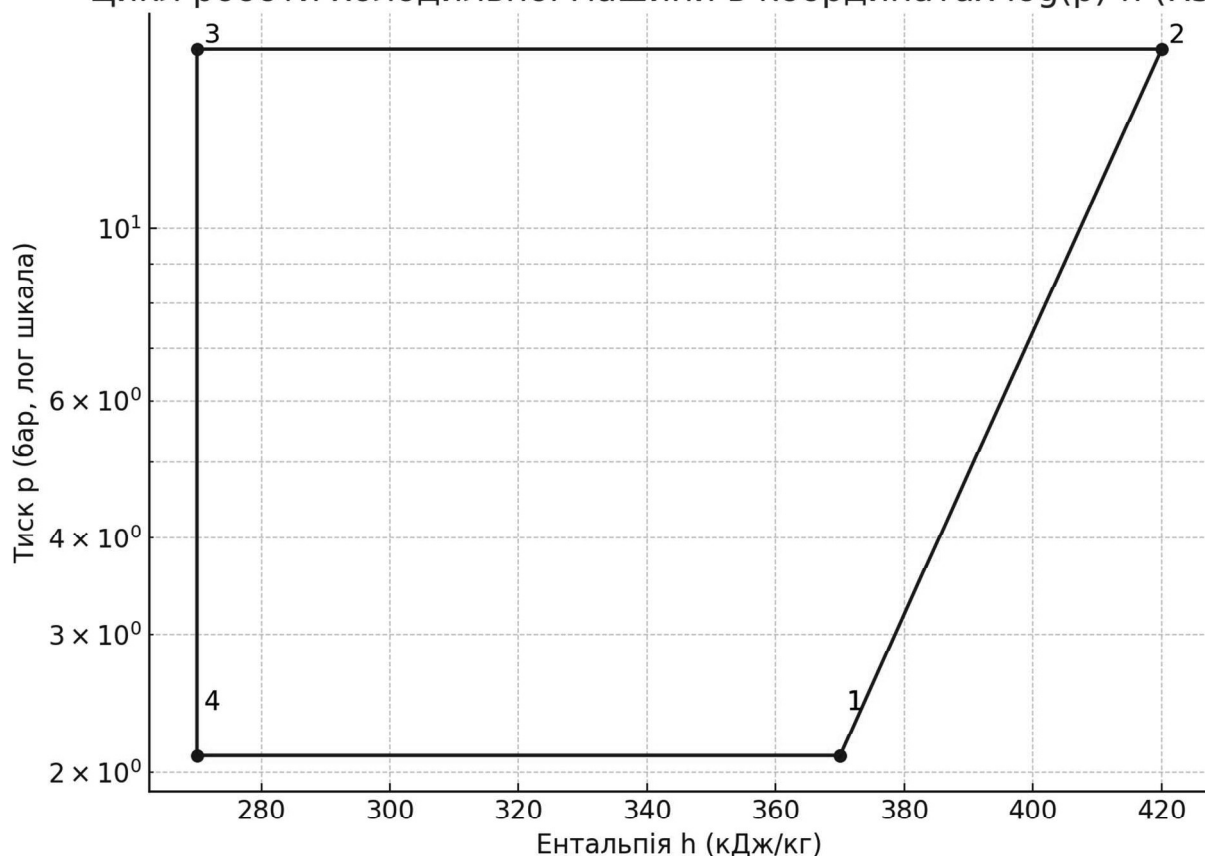
### Коефіцієнт енергоефективності (COP):

$$\text{COP} = \frac{Q_0}{N} = \frac{9045}{45} = 2,0 \quad \text{COP} = \frac{N}{Q_0} = \frac{45}{90} = 2,0$$

### Висновки:

- Холодильна машина забезпечує потрібну холодопродуктивність **90 кВт**.
- Пікова споживана потужність компресора — **45 кВт**, що прийнятно для об'єкта з резервом.
- **COP = 2,0** — стандартне значення для середньотемпературних систем на R507.
- У разі необхідності економії електроенергії доцільно розглянути використання **частотного регулювання компресорів** або інверторних агрегатів.

Цикл роботи холодильної машини в координатах  $\log(p)$ - $h$  (R507)



Ось графік циклу роботи холодильної машини в координатах  $\log(p)$ - $h$  для холодоагенту **R507**.

Цикл включає чотири ключові процеси:

- **1→2** – адіабатне стиснення (різке зростання тиску),

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.КР.142.008.007.ПЗ

Арк.

39

- 2→3 – ізобарна конденсація (зменшення ентальпії),
- 3→4 – дроселювання (різке зниження тиску без зміни ентальпії),
- 4→1 – кипіння в випарнику (теплота поглинається).

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

## 9. Вибір теплообмінних апаратів

Для забезпечення ефективної роботи холодильного обладнання в заготівельному холодильнику для лісових ягід місткістю 400 тонн у м. Чернівці необхідно підібрати оптимальні типи теплообмінних апаратів відповідно до планувальних рішень та температурних режимів зберігання.

### 9.1. Аналіз технологічних приміщень за кресленням

Згідно з планом будівлі холодильника передбачені наступні основні зони:

**Зона I** - Приймально-сортувальний цех (температура близько 0°C) **Зона II** - Камера охолодження (температура близько 0°C) **Зона III** - Побутові приміщення та адміністрація (комфортні умови +18...+22°C) **Зона IV** - Камери зберігання заморожених ягід (температура -18°C) **Зона V** - Фасувально-пакувальний цех (температура близько 0°C) **Машинне відділення** - розташоване в окремому приміщенні з встановленням холодильних агрегатів

### 9.2. Випарники для технологічних зон

#### 9.2.1. Випарники для камер зберігання (Зона IV, -18°C)

##### Основні параметри:

- Температура кипіння холодоагенту: -25°C
- Температура в камерах: -18°C
- Тип холодоагенту: R507A або R448A
- Необхідна холодопродуктивність: залежно від теплових надходжень

##### Рекомендовані типи:

- **Стельові випарники** з примусовою циркуляцією повітря (наприклад, Güntner AGRSS або LU-VE F2H)
- **Кубічні випарники** для великих камер зберігання
- Обладнання системою **електричного відтаювання** для забезпечення стабільної роботи

#### 9.2.2. Випарники для зон охолодження (Зони I, II, V, близько 0°C)

##### Основні параметри:

- Температура кипіння: -8°C
- Робоча температура: 0...+2°C
- М'яка циркуляція повітря для збереження якості ягід

##### Рекомендовані типи:

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

- **Стінові або стельові випарники** з регульованою швидкістю вентиляторів
- **Випарники з покращеним теплообміном** для економії енергії
- Система **гарячого газу або природного відтаювання**

### 9.3. Конденсатори

#### 9.3.1. Розміщення конденсаторів

Згідно з кресленням машинного відділення, конденсатори повинні бути розміщені:

- **Зовні будівлі** на спеціальній платформі або даху
- **Поруч з машинним залом** для мінімізації довжини трубопроводів
- З урахуванням превалюючих вітрів у м. Чернівці

#### 9.3.2. Технічні характеристики

##### Основні параметри:

- Температура конденсації: +42°C (літній режим)
- Зовнішня температура розрахункова: +32°C (для м. Чернівці)
- Тип: повітряні конденсатори з осьовими вентиляторами

##### Рекомендовані моделі:

- **Güntner GVH series** - для великих холодопродуктивностей
- **LU-VE EAV2S** - з підвищеною енергоефективністю
- **Alfa Laval AlfaNova** - компактні рішення

### 9.4. Розподіл теплообмінників по зонах

Зона	Призначення	Тип випарника	Потужність орієнтовна	Особливості
I	Приймально-сортувальний	Стельовий, 0°C	15-20 кВт	М'яка вентиляція
II	Камера охолодження	Стельовий, 0°C	25-30 кВт	Регульовані вентилятори
IV (4 камери)	Зберігання -18°C	Кубічні, 18°C	- 4×20 кВт	Електричне відтаювання
V	Фасувально-пакувальний	Стінові, 0°C	12-15 кВт	Зонування потоків повітря

Машзал	Конденсатори	Повітряні зовнішні	140-160 кВт	Всепогодне виконання
--------	--------------	--------------------	-------------	----------------------

#### 9.5. Система регулювання та автоматики

##### Для випарників:

- Терморегулюючі вентилі (ТРВ) з електронним керуванням
- Датчики температури та вологості в кожній зоні
- Програмовані контролери для керування відтаюванням

##### Для конденсаторів:

- Частотні перетворювачі для вентиляторів
- Датчики тиску конденсації
- Система автоматичного регулювання продуктивності

#### 9.6. Додаткові теплообмінники

##### Переохолоджувач рідини:

- Встановлення в машинному залі
- Підвищення енергоефективності на 8-12%
- Тип: кожухотрубний або пластинчастий

##### Маслоохолоджувач:

- Для охолодження масла компресорів
- Повітряний або водяний тип залежно від потужності

#### 9.7. Матеріали та антикорозійний захист

##### Вимоги до матеріалів:

- Трубки теплообмінників: мідь або нержавіюча сталь
- Ребра: алюміній з антикорозійним покриттям
- Корпуси: оцинкована сталь або алюміній
- Ізоляція: поліуретанова піна або мінеральна вата

##### Захист від корозії:

- Спеціальні покриття для морського клімату
- Регулярне технічне обслуговування
- Використання інгібіторів корозії в холодоагенті

#### 9.8. Енергоефективність та екологічність

##### Заходи підвищення ефективності:

- Використання сучасних холодоагентів з низьким GWP

					<i>00.KP.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

- Рекуперація теплоти для потреб гарячого водопостачання
- Застосування інверторних компресорів
- Оптимізація розміщення теплообмінників для природної циркуляції повітря

Запропонований підбір теплообмінних апаратів забезпечить надійну і економічну роботу холодильника для лісових ягід у м. Чернівці з можливістю підтримання різних температурних режимів у відповідних технологічних зонах.

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>44</b>

## 10. Розрахунок і вибір теплообмінного обладнання холодильних камер

У цьому розділі виконується теплотехнічний розрахунок та підбір випарників для холодильних зон заготівельного холодильника для лісових ягід місткістю 400 тонн у м. Чернівці. Розрахунки виконуються згідно з планувальними рішеннями та технологічними вимогами зберігання лісових ягід.

### 10.1. Вихідні дані відповідно до креслення

Згідно з планом будівлі холодильника визначені наступні технологічні зони:

Зона	Призначення	Об'єм, м <sup>3</sup>	Температура, °C	Т. кипіння, °C	Холодопродуктивність, кВт	Холодоагент
I	Приймальний цех	400	0	-8	18	R448A
II	Камера охолодження	450	0	-8	22	R448A
IV (4 камери)	Зберігання заморожених ягід	4×200	-18	-25	4×25	R507A
V	Фасувальний цех	350	+2	-5	15	R448A

### Особливості для лісових ягід:

- Необхідність м'якого повітряного потоку для збереження структури ягід
- Мінімізація пересушування продукції
- Рівномірний розподіл температури по об'єму камери

### 10.2. Методика розрахунку теплообмінної поверхні

#### Основна формула:

$$Q = k \times F \times \Delta t$$

де:

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

- $Q$  — необхідна потужність випарника, Вт
- $k$  — коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>×К):
  - для зон зберігання при -18°C:  $k = 25$  Вт/(м<sup>2</sup>×К)
  - для зон охолодження при 0°C:  $k = 30$  Вт/(м<sup>2</sup>×К)
  - для пакувального цеху при +2°C:  $k = 35$  Вт/(м<sup>2</sup>×К)
- $F$  — площа поверхні теплообміну, м<sup>2</sup>
- $\Delta t$  — температурна різниця між повітрям у камері та температурою кипіння холодоагенту, К

### 10.3. Розрахунки для кожної технологічної зони

#### 10.3.1. Зона I - Приймально-сортувальний цех

- $\Delta t = |0 - (-8)| = 8$  К
- $F = Q/(k \times \Delta t) = 18000/(30 \times 8) = 75$  м<sup>2</sup>
- **Рекомендація:** 2 випарники по 9 кВт кожен

#### 10.3.2. Зона II - Камера охолодження

- $\Delta t = |0 - (-8)| = 8$  К
- $F = Q/(k \times \Delta t) = 22000/(30 \times 8) = 92$  м<sup>2</sup>
- **Рекомендація:** 2 випарники по 11 кВт кожен

#### 10.3.3. Зона IV - Камери зберігання (4 камери)

##### Для кожної камери:

- $\Delta t = |-18 - (-25)| = 7$  К
- $F = Q/(k \times \Delta t) = 25000/(25 \times 7) = 143$  м<sup>2</sup>
- **Рекомендація:** по 1 випарнику 25 кВт на камеру

#### 10.3.4. Зона V - Фасувально-пакувальний цех

- $\Delta t = |+2 - (-5)| = 7$  К
- $F = Q/(k \times \Delta t) = 15000/(35 \times 7) = 61$  м<sup>2</sup>
- **Рекомендація:** 1 випарник 15 кВт

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

#### 10.4. Підбір конкретних моделей випарників

Зона	Модель випарника	Потужність, кВт	Площа, м <sup>2</sup>	Особливості	Відтаювання
I	2×LU-VE F2H 092	2×9	2×38	М'яка вентиляція, антипригарне покриття	Природне
II	2×Güntner AGRSS 031	2×11	2×46	Регульовані вентилятори	Природне
IV	4×Güntner AGRSS 071	4×25	4×143	Електричне відтаювання, зона низьких температур	Електричне
V	1×Alfa Laval CDE 20	15	61	Зонування потоків, тиха робота	Природне

#### 10.5. Особливості розміщення випарників

##### 10.5.1. Планувальні рішення

Згідно з кресленням А-А (розріз 1:50):

- **Висота приміщень:** 8000 мм
- **Розміщення випарників:** під стелею на висоті 7000-7500 мм
- **Машинне відділення:** ізольоване приміщення з окремим входом

##### 10.5.2. Вимоги до монтажу

**Для лісових ягід:**

- Відстань від випарника до продукції не менше 3 м
- Швидкість повітряного потоку не більше 0,5 м/с в зоні зберігання
- Рівномірний розподіл повітря без "мертвих зон"
- Захист від прямого обдування холодним повітрям

**Загальні вимоги:**

- Доступ для технічного обслуговування
- Організація відведення конденсату
- Теплоізоляція дренажних трубопроводів

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- Можливість зміни напрямку повітряних потоків

## 10.6. Система автоматичного керування

### **Контроль температури:**

- Датчики температури в кожній зоні (мінімум 2 точки)
- Програмований контролер з можливістю дистанційного моніторингу
- Аварійна сигналізація при відхиленнях температури

### **Керування відтаюванням:**

- Програмне відтаювання за часом для зон -18°C
- Контроль за температурою випарника
- Автоматичне включення дренажних нагрівачів

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

## 11. Вибір допоміжного обладнання

У системах холодопостачання допоміжне обладнання відіграє ключову роль у забезпеченні надійної, безпечної та ефективної роботи. Це обладнання не бере безпосередньої участі в теплообміні чи стисненні, але виконує захисні, регулювальні та експлуатаційні функції.

### 11.1. Ресивер рідкого холодоагенту

#### Призначення:

- Служить для накопичення надлишку рідкого холодоагенту після конденсатора.
- Дозволяє системі працювати стабільно при змінах навантаження та температури навколишнього середовища.

#### Параметри підбору:

- Об'єм: приблизно 1,2–1,5-кратна маса холодоагенту в системі.
- Тиск: має відповідати робочому тиску холодоагенту R507 (до 30 бар).

#### Приклад:

- Вертикальний ресивер Alfa Laval VLR-120 або Danfoss HRL-100.

### 11.2. Фільтр-осушувач (фільтр-осушник)

#### Призначення:

- Видаляє вологу, кислоти, домішки та пил з холодоагенту.

#### Розташування:

- На рідинній лінії перед ТРВ (терморегулюючим вентилем).

#### Тип:

- Змінний картридж або моноблочний фільтр (наприклад, Danfoss DML або Alco FDB).

### 11.3. Смотрове скло (індикатор холодоагенту)

#### Функція:

- Дозволяє контролювати стан рідкого холодоагенту — наявність бульбашок або вологи.

#### Монтується:

- Між фільтром-осушувачем і ТРВ.

#### Тип:

- Danfoss SGP або аналогічні.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

#### 11.4. Запобіжна арматура

Запобіжні клапани – захист від надлишкового тиску в ресивері та інших ємностях.

- Робочий тиск спрацювання: 1,1–1,25 від максимально допустимого.
- Тип: Danfoss SFA, Castel 3060

Також передбачаються:

- Зворотні клапани – для запобігання зворотному току холодоагенту.
- Клапани Шредера – для зливу/заправки.

#### 11.5. Терморегулюючий вентиль (ТРВ)

Призначення:

• Регулює подачу рідкого холодоагенту у випарник залежно від теплового навантаження.

Параметри:

- Добирається за потужністю випарника і типом холодоагенту.
- Зазвичай використовується з зовнішнім вирівнюванням тиску.

Приклад:

- Danfoss TE 5 (для камер 10–40 кВт), Alco EX5.

#### 11.6. Масловіддільник

Застосовується:

- У системах з поршневыми або гвинтовими компресорами.

Призначення:

• Відділяє мастило від холодоагенту після компресора і повертає його назад у картер.

Тип:

- Alfa Laval OSD, Emerson MOD.

#### 11.7. Контрольно-вимірювальні прилади (КВП)

До системи входять:

- Манометри – для контролю тиску на всмоктуванні і нагнітанні.
- Термометри або термомпари – для контролю температур у камерах, випарнику, конденсаторі.
- Електронні контролери – типу Eliwell, Dixell, Carel для автоматизації.

#### 11.8. Запірна арматура

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Необхідна для:

- Можливості локального ремонту;
- Заправки холодоагенту;
- Ізоляції вузлів.

Тип:

- Кульові крани Castel, Danfoss, клапани серії BVE.

#### 11.9. Теплоізоляція трубопроводів

Матеріал:

- Каучукова ізоляція (Armaflex) товщиною 13–25 мм, залежно від діаметра і температури.

#### 11.10. Осушення і вентиляція камер

Для уникнення накопичення вологи та неприємних запахів встановлюють:

- Повітряні клапани, витяжки або вентиляційні вентилятори;
- У великих камерах – вологопоглиначі (сіль або активний сорбент).

Комплект допоміжного обладнання забезпечує:

- стабільну роботу всієї системи охолодження;
- контроль і безпечну експлуатацію;
- тривалий термін служби холодильних компонентів.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

## 12.Визначення гідравлічних втрат у трубопроводах

Гідравлічні втрати в холодильних трубопроводах — це втрати тиску холодоагенту при його русі через трубопроводи, арматуру, теплообмінники. Їхній облік є важливою частиною розрахунку системи, оскільки надмірні втрати можуть спричинити погіршення роботи компресора, зниження ефективності теплообміну, нестабільну роботу ТРВ.

### 12.1. Типи трубопроводів у холодильному контурі

У типовій холодильній системі передбачено такі основні ділянки трубопроводів:

1. Нагнітальна лінія (від компресора до конденсатора);
2. Рідинна лінія (від конденсатора до ТРВ);
3. Смоктальна лінія (від випарника до компресора);
4. Лінія гарячого газу (для відтаювання, якщо передбачена).

### 12.2. Основні вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення
Холодоагент	R507A або R448A
Температура кипіння	від $-40$ до $-5$ °C
Максимальна довжина трас	до 35–50 м
Продуктивність компресора	до 36 кВт (найпотужніший контур)
Щільність парів R507 при $-10$ °C	$\approx 41$ кг/м <sup>3</sup>
В'язкість холодоагенту	$\approx 0,013$ Па·с
Діаметр труб	Визначається за швидкістю потоку (1–6 м/с)

### 12.3. Методика розрахунку

Для оцінки втрат тиску в трубопроводах використовується рівняння Дарсі-Вейсбаха:

$$\Delta P = \lambda \cdot L \cdot D \cdot \rho \cdot v^2$$

де:

- $\Delta P$  — втрати тиску, Па;
- $\lambda$  — коефіцієнт тертя (0,02–0,05 для мідних труб);
- $L$  — довжина труби, м;
- $D$  — внутрішній діаметр труби, м;
- $\rho$  — густина холодоагенту, кг/м<sup>3</sup>;
- $v$  — швидкість потоку, м/с.

## 12.4. Розрахунок втрат на прикладі (всмоктувальна лінія)

### Припустимо:

- Потужність: 36 кВт (шокова камера);
- Ентальпія випару (приблизно):  $h_{\text{вип}}=200$  кДж/кг
- Масова витрата:

$$m' = 36000 : 200 \cdot 1000 = 0,18 \text{ кг/с}$$

Приймаємо діаметр труби  $D = 28$  мм (0,028 м);

- Густина холодоагенту:  $\rho = 40$  кг/м<sup>3</sup>
- Площа перерізу труби:

$$A = \pi D^2 / 4 = 6,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$A = 4 \pi D^2 = 6,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

- Швидкість:

$$v = m' \cdot \rho \cdot A = 0,1840 \cdot 6,15 \cdot 10^{-4} \approx 7,3 \text{ м/с}$$

$$v = \rho \cdot A \cdot m' = 40 \cdot 6,15 \cdot 10^{-4} \cdot 0,18 \approx 7,3 \text{ м/с}$$

- Довжина труби  $L = 30$  м, коефіцієнт тертя  $\lambda = 0,03$

### Підставляємо:

$$\Delta P = 0,03 \cdot 300,028 \cdot 40 \cdot (7,3)^2 \approx 0,03 \cdot 1071 \cdot 1066 \approx 34,2 \cdot 10^3 = 34,2 \text{ кПа}$$

$$\Delta P = 0,03 \cdot 0,02830 \cdot 240 \cdot (7,3)^2 \approx 0,03 \cdot 1071 \cdot 1066 \approx 34,2 \cdot 10^3 = 34,2 \text{ кПа}$$

## 12.5. Питомі гідравлічні втрати для орієнтовного підбору труб

Діаметр труби (зовн./внутр.), мм	Макс. довжина, м	Втрати тиску на 10 м, кПа (середнє)
28 / 25	до 40	10–15
35 / 32	до 50	5–8
42 / 38	до 60	3–5

## 12.6. Втрати на фасонних елементах

До гідравлічних втрат додаються:

- Втрати на колінах (приблизно 0,2–0,3  $\Delta P_{\Delta P}$  прямої ділянки);
- Фільтри, клапани, ТРВ — 5–10 кПа.

## Загальні висновки

• Загальні втрати в межах 30–60 кПа для одного контуру вважаються допустимими.

• Для мінімізації втрат необхідно:

- правильно вибрати діаметр труб;
- обмежити кількість поворотів та фітінгів;
- уникати довгих горизонтальних ділянок для всмоктувальної лінії;
- передбачити ухили для повернення мастила.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

### 13. Охорона праці

Охорона праці — це комплекс правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя і здоров'я працівників під час виробничої діяльності. У холодильних підприємствах охорона праці має вирішальне значення через наявність таких небезпек, як низькі температури, холодоагенти під тиском, електричне обладнання, вантажопідйомна техніка, тощо.

#### 13.1. Вимоги до виробничого середовища

Температурні режими:

- У камерах з температурою нижче  $-10^{\circ}\text{C}$  передбачаються постійнодіючі системи вентиляції та відпочинку для персоналу;
- Для обслуговування шоккових камер і морозильних відсіків працівники мають бути забезпечені теплим спецодягом, рукавицями, взуттям з термоізоляцією.

Освітлення:

- Робочі зони повинні бути освітлені згідно з ДБН В.2.5-28:2018, не менше:
  - 200 лк — у виробничих приміщеннях;
  - 100 лк — у холодильних камерах.

Вентиляція та повітрообмін:

- Установки мають бути обладнані примусовою вентиляцією для видалення тепла, вологи, випарів холодоагенту у разі витoku.
- У компресорному відсіку – аварійна вентиляція на випадок витoku фреону.

#### 13.2. Безпечна експлуатація холодильного обладнання

Вимоги до персоналу:

- До роботи з холодильними установками допускаються тільки спеціально навчені працівники, які пройшли медичний огляд, інструктаж та мають групу з електробезпеки не нижче II.

Технічний стан обладнання:

- Усі елементи холодильної системи мають бути герметичними, оснащені запобіжною арматурою та індикаторами тиску/температури.
- Передбачене регулярне технічне обслуговування з відповідними записами в журналі.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

### Робота з фреоном:

- Холодоагенти (R507A, R448A) належать до групи слаботоксичних і негорючих, але при витоку можуть витіснити кисень.
- Заправка та злив фреону проводиться тільки в провітрюваних приміщеннях, у ЗІЗ (окуляри, рукавиці, фартух).

### 13.3. Електробезпека

- Всі електроустановки (компресори, вентилятори, автоматика) мають бути:
  - Заземлені;
  - Забезпечені автоматами захисту від короткого замикання;
  - Оснащені індикаторами аварійного стану;
  - Обслуговуються тільки фахівцями з групою допуску III або вище.

### 13.4. Пожежна безпека

#### Джерела загрози:

- Електрообладнання (коротке замикання);
- Мастила, пакувальні матеріали;
- Вентиляційні канали.

#### Засоби захисту:

- Наявність вогнегасників ВВК-2 або ВВК-5 у кожному приміщенні;
- Система пожежної сигналізації та вогнестійкі двері;
- Проведення інструктажу з пожежної безпеки.

### 13.5. Ергономіка і організація робочого місця

- Підлога — протипожежна, протиковзка (антиковзне покриття);
- Робочі зони мають бути вільними від зайвих предметів;
- Усі важелі, пульти та сенсори розміщені на зручній висоті (не вище 1,5 м);
- Маркування трубопроводів і панелей – кольорове з підписами згідно ДСТУ.

### 13.6. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Професія	ЗІЗ
Монтажник, технік	Каска, захисні окуляри, рукавиці, комбінезон, взуття з металевим носком
Працівник морозильної камери	Термокомбінезон, рукавиці з утепленням, термочоботи, шапка, маска
Електрик	Діелектричні рукавиці, килимки, щиток, спецодяг з вогнезахистом

### 13.7. Надання першої допомоги

- На території підприємства повинна бути обладнана аптечка з інструкцією користування.
- Персонал має пройти інструктаж по:
  - Наданні допомоги при обмороженнях;
  - Наданні допомоги при ураженні електрострумом;
  - Евакуації при витоку фреону.

### 13.8. Перевірки та контроль

- Проводиться щоквартальний плановий інструктаж;
- Щорічна переатестація персоналу;
- Технічні огляди та випробування обладнання — згідно з графіком обслуговування;
- Журнали обліку інструктажів, допусків, перевірок ведуться відповідальним спеціалістом.

#### **Висновок**

Комплекс заходів з охорони праці на підприємстві заготівлі та зберігання лісових ягід забезпечує:

- Безпечну експлуатацію холодильного обладнання;
- Захист здоров'я персоналу від дії низьких температур, електрики, тиску;
- Збереження матеріальних цінностей та продукції.

Реалізація заходів охорони праці відповідає вимогам ЗУ «Про охорону праці», ДБН, ДСТУ EN та рекомендаціям галузевих норм.

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>57</b>

### 13.1 Умови праці

Умови праці — це сукупність факторів виробничого середовища та трудового процесу, які впливають на здоров'я і працездатність працівника. На холодильному підприємстві ці умови формуються під впливом температурних режимів, рівня шуму, вологості, вібрацій, хімічних речовин (холодоагентів), фізичного навантаження, а також психоемоційного стану працівників.

#### 1. Температурний режим

- У камерах зберігання підтримується температура від  $-18^{\circ}\text{C}$  до  $-35^{\circ}\text{C}$  (шокова заморозка).

- Обслуговуючий персонал може перебувати у таких умовах лише обмежений час (не більше 20 хв безперервно), після чого — обов'язковий відпочинок у теплому приміщенні (не нижче  $+20^{\circ}\text{C}$ ).

- Робота в середовищі з низькими температурами відноситься до важких умов праці за класифікацією Державних санітарних норм (ДСН 3.3.6.042-99).

#### 2. Шкідливі та небезпечні виробничі фактори

Фактор	Характеристика	Джерело
Низька температура	Охолодження організму, обмороження	Холодильні камери
Підвищений шум	Рівень до 85 дБ, особливо в компресорній	Компресори, вентилятори
Висока вологість	Підвищена через конденсацію при відкриванні дверей	Камери зберігання
Можливість витоку фреону	Може спричинити задуху при високій концентрації	Холодильна установка
Фізичні навантаження	Підйом вантажів, переміщення тари	Робота зі збирання, складування
Освітлення	Недостатній рівень при неправильному проектуванні	Камери, компресорне відділення

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

00.КР.142.008.007.ПЗ

Арк.

58

### 3. Категорія умов праці

Згідно з класифікацією (ДСТУ EN ISO 10075), умови праці на холодильних підприємствах відносяться до:

- 3 класу (шкідливі умови) — за температурними факторами;
- 2 класу (допустимі) — за шумом (при забезпеченні шумоізоляції);
- 3 класу (шкідливі) — за фізичним навантаженням при ручній праці.

#### 4. Робочий час і відпочинок

• Для працівників, які працюють у низькотемпературному середовищі, встановлюються скорочені робочі зміни (до 6 годин);

• Робота виконується циклічно, з обов'язковими перервами в теплих кімнатах;

• Працівники забезпечуються гарячим харчуванням, напоями, місцями відпочинку.

#### 5. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Умови праці зобов'язують роботодавця забезпечити персонал відповідними ЗІЗ, включно з:

- Термозахисним спецодягом (до  $-40^{\circ}\text{C}$ );
- Рукавицями та шкарпетками з утепленням;
- Окулярами, що запобігають обмерзанню очей;
- Масками або балаклавами;
- Протиковзним взуттям.

#### 6. Санітарно-побутові умови

- На підприємстві мають бути передбачені:
  - Пункт обігріву персоналу;
  - Санвузли з гарячою водою;
  - Приміщення для переодягання;
  - Душові кабінки;
  - Медпункт або аптечний пункт першої допомоги.

#### Висновок

Умови праці на холодильному підприємстві потребують підвищеної уваги до організації безпечного середовища, режиму праці та відпочинку, постачання ЗІЗ, дотримання нормативів мікроклімату, контролю за технічним

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

станом обладнання. При правильному дотриманні цих вимог рівень виробничих ризиків знижується до допустимого.

### 13.2 Нормативно–технічна документація на робочому місці.

Нормативно-технічна документація (НТД) на робочому місці є основою для організації безпечної та ефективної праці. Вона містить вимоги до обладнання, експлуатації, охорони праці, пожежної безпеки, поводження з небезпечними речовинами тощо. Наявність, доступність і актуальність НТД — обов’язкова вимога для будь-якого підприємства.

#### 1. Основні категорії НТД, що повинні бути на робочому місці

Категорія документації	Зміст/Призначення
Інструкції з охорони праці	Правила безпечного виконання робіт для кожної професії
Технологічні інструкції	Порядок обслуговування холодильного обладнання
Паспорти на обладнання	Технічні характеристики, умови експлуатації
Інструкції з експлуатації	Вимоги до безпечного використання компресорів, конденсаторів
Схеми трубопроводів і автоматики	Функціональні та принципові схеми для обслуговування системи
Пожежна інструкція	Дії при виникненні пожежі, евакуація, розміщення вогнегасників
План евакуації та безпеки праці	Схема маршрутів евакуації та інструкції при аварійних ситуаціях
Журнал інструктажів	Облік проведення вступного, первинного та періодичного інструктажу
Журнал обліку технічного обслуговування	Фіксація перевірок і ремонтів обладнання
Акт-дозвіл на виконання робіт підвищеної небезпеки	Для робіт з тиском, в холоді, з електрообладнанням

#### 2. Нормативна база, що регулює охорону праці на підприємстві

Усі документи мають відповідати вимогам чинного законодавства України, зокрема:

- Закон України «Про охорону праці»;
- Кодекс законів про працю України (КЗпП);
- Закон України «Про пожежну безпеку»;
- ДСН 3.3.6.042-99 – державні санітарні норми мікроклімату;

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- ДБН В.2.5-28:2018 – вимоги до інженерних систем будівель (зокрема вентиляції);

- ДСТУ EN 378-1,2,3 – безпека холодильних систем і теплових насосів;

- НАПБ А.01.001-2004 – правила пожежної безпеки в Україні;

- **Порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05).**

### **3. Вимоги до організації документації на робочому місці**

- Документація повинна зберігатися у **спеціально обладнаних шафах або стендах** у легкодоступному місці;

- Всі інструкції мають бути:

- Затверджені керівником підприємства;

- Погоджені з відповідальним за охорону праці;

- Переглянуті не рідше ніж раз на 3 роки (або при зміні обладнання/умов праці);

- На робочому місці має бути **доступ до актуального плану евакуації**, місць розташування вогнегасників, аптечки та засобів сигналізації.

### **4. Електронна документація (за наявності)**

У сучасних умовах допускається використання електронної версії НТД через локальну мережу або планшет, з обов'язковим:

- Підписанням електронної версії цифровим підписом;

- Захистом даних від несанкціонованого редагування;

- Регулярним резервним копіюванням.

### **Висновок**

Наявність і правильна організація нормативно-технічної документації на робочому місці є **необхідною умовою для забезпечення безпеки праці, відповідності до законодавчих вимог та уникнення аварійних ситуацій.**

Роботодавець зобов'язаний забезпечити актуальність, доступність та контроль використання такої документації для всіх категорій працівників.

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

## 14. Економічний розрахунок

### 14.1 Вихідні дані для розрахунку

#### 14.1.1 Основні техніко-економічні показники проекту

Параметр	Значення
Потужність камер зберігання	400 тонн
Кількість холодильних камер	5 (4 заморожування + 1 охолодження)
Період зберігання ягід	8 місяців на рік
Середній тариф на електроенергію	4,20 грн/кВт·год
Холодопродуктивність системи	90 кВт
Вартість будівництва та обладнання	15 000 000 грн
Кількість персоналу	10 осіб
Амортизаційний строк	10 років
Ставка дисконту	12%

#### 14.1.2 Ринкові показники

- Середня ціна заморожених ягід: 80 грн/кг
- Очікуваний обсяг реалізації: 1500 т/рік
- Виручка від реалізації: 120 млн грн/рік
- Сезон активної роботи: травень-жовтень

#### 14.2 Розрахунок капітальних витрат

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

### 14.2.1 Структура інвестицій

Стаття витрат	Сума, тис. грн	Питома вага, %
Проектно-вишукувальні роботи	350	2,3
Будівництво основних приміщень	6 000	40,0
Холодильне обладнання (агрегати, компресори)	4 200	28,0
Камери шокового заморожування	1 800	12,0
Стелажі, тара, логістичне обладнання	600	4,0
Системи електропостачання, вентиляції	950	6,3
Системи пожежогасіння	300	2,0
Монтажні роботи, пусконаладження	800	5,3
<b>ЗАГАЛЬНА ВАРТІСТЬ</b>	<b>15 000</b>	<b>100,0</b>

### 14.2.2 Джерела фінансування

- Власні кошти: 60% (9 000 тис. грн)
- Кредитні кошти: 40% (6 000 тис. грн)
- Ставка кредиту: 18% річних

### 14.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

#### 14.3.1 Витрати на електроенергію

Розрахунок енергоспоживання за розділами:

1. **Теплонадходження через конструкції:** 306,4 кВт·год/добу
2. **Заморожування продукту:** 40 133 кВт·год на партію (400 т)
3. **Експлуатаційні теплонадходження:** 152,6 кВт·год/добу

Річне споживання електроенергії:

- Базове навантаження:  $306,4 \times 365 = 111\ 836$  кВт·год/рік
- Заморожування (30 партій):  $40\ 133 \times 30 = 1\ 203\ 990$  кВт·год/рік
- Експлуатаційне:  $152,6 \times 365 = 55\ 699$  кВт·год/рік

**Загальне споживання:** 1 371 525 кВт·год/рік

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Вартість електроенергії:  $1\,371\,525 \times 4,20 = 5\,760\,405$  грн/рік

### 14.3.2 Витрати на оплату праці

Посада	Кількість, чол.	Оклад, грн/міс	Сума за рік, грн
Начальник цеху	1	25 000	300 000
Інженер-холодильник	1	20 000	240 000
Машиніст холодильних установок	2	18 000	432 000
Вантажники	4	15 000	720 000
Електрик	1	17 000	204 000
Слюсар-ремонтник	1	16 000	192 000
<b>Разом основна зарплата</b>	<b>10</b>		<b>2 088 000</b>
Премії та доплати (20%)			417 600
<b>Фонд оплати праці</b>			<b>2 505 600</b>
Соціальні внески (22%)			551 232
<b>Разом з нарахуваннями</b>			<b>3 056 832</b>

### 14.3.3 Інші експлуатаційні витрати

Стаття витрат	Сума, грн/рік	Обґрунтування
Матеріали для ремонту	200 000	1,3% від вартості обладнання
Запасні частини	150 000	1% від вартості обладнання
Холодоагент (дозаправка)	50 000	Плановий розрахунок
Амортизація	1 500 000	10% річних
Страхування	225 000	1,5% від вартості майна
Адміністративні витрати	400 000	5% від ФОП
Витрати на логістику	800 000	Транспорт, пакування
Комунальні послуги	180 000	Вода, каналізація, опалення
Податки та збори	120 000	Земельний податок, інше
<b>Разом інші витрати</b>	<b>3 625 000</b>	

## 14.4 Розрахунок собівартості

### 14.4.1 Зведення річних витрат

Стаття витрат	Сума, грн/рік	Питома вага, %
Електроенергія	5 760 405	44,8
Оплата праці з нарахуваннями	3 056 832	23,8
Амортизація	1 500 000	11,7
Витрати на логістику	800 000	6,2
Адміністративні витрати	400 000	3,1
Страхування	225 000	1,8
Матеріали та запчастини	350 000	2,7
Комунальні послуги	180 000	1,4
Інші витрати	570 000	4,4
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИТРАТИ</b>	<b>12 842 237</b>	<b>100,0</b>

### 14.4.2 Розрахунок собівартості одиниці продукції

**Собівартість зберігання 1 тонни ягід:** Собівартість = 12 842 237 грн / 1500 т = **8 561 грн/т**

**Собівартість зберігання 1 кг продукції:** Собівартість = 8 561 грн/т / 1000 кг/т = **8,56 грн/кг**

### 14.4.3 Собівартість виробництва холоду

**Холодопродуктивність системи:** 90 кВт **Час роботи:** 6000 год/рік (сезонна робота) **Річна кількість холоду:** 90 кВт × 6000 год = 540 000 кВт·год/рік

**Собівартість 1 кВт·год холоду:** 12 842 237 грн / 540 000 кВт·год = **23,78 грн/кВт·год холоду**

### 14.4.4 Структура собівартості

**Питома вага основних елементів у собівартості холоду:**

- Енергетичні витрати: 44,8%
- Трудові витрати: 23,8%
- Амортизація: 11,7%

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

- Інші витрати: 19,7%

## 14.5 Розрахунок економічної ефективності

### 14.5.1 Показники прибутковості

#### Доходи від реалізації послуг:

- Заморожування та зберігання: 120 000 000 грн/рік
- Додаткові послуги (сортування, пакування): 5 000 000 грн/рік
- **Загальний дохід:** 125 000 000 грн/рік

#### Показники прибутковості:

- Валовий прибуток:  $125\,000\,000 - 12\,842\,237 = 112\,157\,763$  грн/рік
- Рентабельність продукції:  $(112\,157\,763 / 12\,842\,237) \times 100\% = \mathbf{873\%}$
- Рентабельність продажів:  $(112\,157\,763 / 125\,000\,000) \times 100\% = \mathbf{90\%}$

### 14.5.2 Показники ефективності інвестицій

**Простий термін окупності:**  $T_{ок} = \text{Капітальні витрати} / \text{Річний прибуток} = 15\,000\,000 / 112\,157\,763 = \mathbf{0,13}$  року (**1,6 місяці**)

**Чиста приведена вартість (NPV) за 10 років:** При ставці дисконту 12%:  $NPV = \sum(CF_t / (1+0,12)^t) - 15\,000\,000 \approx \mathbf{618}$  млн грн

**Внутрішня норма прибутковості (IRR):**  $IRR > 700\%$  (надвисока прибутковість)

**Індекс прибутковості (PI):**  $PI = (NPV + K) / K = (618\,000\,000 + 15\,000\,000) / 15\,000\,000 = \mathbf{42,2}$

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

## 14.6 Аналіз чутливості проекту

### 14.6.1 Вплив основних факторів на собівартість

Фактор	Зміна на +10%	Зміна собівартості
Тариф на електроенергію	+10%	+4,48%
Зарплата персоналу	+10%	+2,38%
Вартість обладнання	+10%	+1,17%
Завантаження потужностей	-10%	+11,11%

### 14.6.2 Критичні точки проекту

**Точка безбитковості:** При поточній собівартості 8,56 грн/кг та ціні реалізації 80 грн/кг точка безбитковості досягається при завантаженні **12,8% потужності**.

**Мінімальна ціна реалізації:** При повному завантаженні мінімальна ціна для покриття витрат: **8,56 грн/кг**

## 14.7 Висновки економічного розрахунку

### 14.7.1 Основні техніко-економічні показники

Показник	Значення
Капітальні витрати	15 000 тис. грн
Річні експлуатаційні витрати	12 842 тис. грн
Собівартість зберігання 1 т	8 561 грн
Собівартість 1 кВт·год холоду	23,78 грн
Термін окупності	1,6 місяці
Рентабельність продукції	873%
NPV (10 років)	618 млн грн

### 14.7.2 Економічна доцільність проекту

1. **Проект є високоефективним** з надзвичайно коротким терміном окупності
2. **Основною статтею витрат** є електроенергія (44,8% собівартості)
3. **Собівартість зберігання** значно нижча за ринкові ціни, що забезпечує високу конкурентоспроможність
4. **Проект має низькі ризики** завдяки стабільному попиту на послуги заморожування ягід

										Арк.
										67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	00.КР.142.008.007.ПЗ					

### 14.7.3 Рекомендації щодо оптимізації

1. **Енергоефективність:** Впровадження системи рекуперації тепла може знизити енергоспоживання на 15-20%
2. **Автоматизація:** Скорочення персоналу на 2-3 особи знизить собівартість на 5-7%
3. **Завантаження:** Максимальне використання потужностей критично важливе для ефективності
4. **Диверсифікація:** Надання додаткових послуг може збільшити прибутковість на 10-15%

**Загальний висновок:** Проект будівництва заготівельного холодильника для лісових ягід є економічно обґрунтованим та високоефективним, з мінімальними ризиками та швидкою окупністю інвестицій.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

## Список літератури

1. Антонов А.А. Системи холодопостачання та їх енергетична ефективність / А.А. Антонов, В.А. Данилова. – К.: Техніка, 2019. – 280 с.
2. Бабакін В.А. Холодильні машини та установки / В.А. Бабакін, В.М. Постолатій. – К.: ІЗМН, 2018. – 320 с.
3. Василенко С.М. Проектування холодильних підприємств / С.М. Василенко, О.В. Литовченко. – К.: Центр учбової літератури, 2017. – 256 с.
4. Гандзюк М.П. Основи охорони праці / М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський. – К.: Каравела, 2004. – 408 с.
5. Гуцол Т.Д. Технологія зберігання та переробки плодів і овочів / Т.Д. Гуцол, В.І. Сідько. – К.: Аграрна освіта, 2016. – 375 с.
6. Загоруйко В.В. Обладнання підприємств харчування / В.В. Загоруйко, А.С. Кулик. – К.: Центр учбової літератури, 2015. – 496 с.
7. Іванченко В.М. Процеси та апарати харчових виробництв / В.М. Іванченко, О.І. Пилипенко. – К.: НУХТ, 2014. – 412 с.
8. Кулик А.С. Холодильне та морозильне обладнання підприємств харчування / А.С. Кулик, В.В. Загоруйко. – К.: Техніка, 2020. – 340 с.
9. Литовченко О.В. Технологічне обладнання підприємств переробної промисловості / О.В. Литовченко, С.М. Василенко. – К.: Форум, 2016. – 440 с.
10. Малишев В.М. Холодильні установки та системи / В.М. Малишев, В.Б. Вовк. – Одеса: Поліграф, 2019. – 288 с.
11. Нечаєв А.В. Енергоефективні технології в харчовій промисловості / А.В. Нечаєв, В.І. Сідько. – К.: Аграрна наука, 2018. – 356 с.
12. Пилипенко О.І. Машини та апарати харчових виробництв / О.І. Пилипенко, І.І. Стадник, В.М. Іванченко. – К.: НУХТ, 2017. – 520 с.
13. Постолатій В.М. Теплотехніка та холодильна техніка / В.М. Постолатій, В.А. Бабакін. – К.: Вища школа, 2015. – 360 с.
14. Сідько В.І. Технологія зберігання харчових продуктів / В.І. Сідько, Т.Д. Гуцол. – К.: Аграрна освіта, 2019. – 428 с.

					00.КР.142.008.007.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

15. Стадник І.І. Обладнання для виробництва продуктів харчування / І.І. Стадник, О.І. Пилипенко. – К.: НУХТ, 2016. – 384 с.
16. Хмельнюк М.Г. Основи холодильної техніки / М.Г. Хмельнюк, О.Я. Хлумський. – Одеса: ОНАХТ, 2018. – 312 с.
17. Черевко О.І. Обладнання переробних і харчових виробництв / О.І. Черевко, В.П. Попович. – К.: НУХТ, 2014. – 468 с.
18. Шаповал С.Л. Холодильні системи та енергозбереження / С.Л. Шаповал, В.А. Данилова. – Харків: НТУ "ХП", 2017. – 296 с.
19. Янчевський І.В. Теплотехніка та енергоефективність / І.В. Янчевський, О.А. Редько. – К.: Академвидав, 2016. – 352 с.
20. ДБН В.2.5-28:2018 Вимоги до інженерних систем будівель (зокрема вентиляції). – К.: Мінрегіон України, 2018. – 84 с.
21. ДСТУ EN 378-1,2,3 Безпека холодильних систем і теплових насосів. – К.: ДП "УкрНДНЦ", 2019. – 156 с.
22. НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки в Україні. – К.: МВС України, 2004. – 142 с

					<i>00.КР.142.008.007.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70