

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Холодильні машини і установки»
_____ Омельченко О.В.
«____» _____ 2026 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
за освітньою програмою «Холодильні машини і установки»

на тему: **ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ КАМЕРИ МІСТКІСТЮ
2000 КГ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ФРУКТІВ**

Виконав:
здобувач вищої освіти _____ Кравцов Олександр Сергійович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: _____ зав.каф., к.т.н., доцент, Омельченко О.В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти заочна
Ступінь бакалавр
Галузь знань Енергетична інженерія
Освітня програма Холодильні машини і установки

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Гарант освітньої програми «Холодильні
машини і установки»
_____ Омельченко О.В.
« _____ » _____ 2026 року

З А В Д А Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Кравцову Олександрю Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Проектування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів»

Керівник роботи к.т.н., доцент, Омельченко О.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом ректора Криворізького національного університету від «28» січня 2026 р. № 22-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи « 15 » травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.
2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.
3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.
2. Аналіз холодильних камер для охолодження та заморожування продуктів харчування.
3. Оптимізація системи охолодження холодильної камери.

4. Аналіз результатів досліджень.
 5. Висновки.
 6. Список використаних джерел.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Обладнання для охолодження та заморожування фруктово-овочевої сировини.
Оптимізація системи охолодження холодильної камери.
6. Дата видачі завдання «30» січня 2026 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	31.01.2026-15.02.2026
2	Аналіз холодильних камер для охолодження та заморожування продуктів харчування	16.02.2026-08.03.2026
3	Оптимізація системи охолодження холодильної камери	09.03.2026-05.04.2026
4	Аналіз результатів досліджень	06.04.2026-26.04.2026
5	Висновки по роботі	27.05.2026-10.05.2026
6	Оформлення роботи і подання до захисту	11.05.2026-15.05.2026

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Кравцов О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Омельченко О.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 47 сторінки. Робота містить 12 рисунків, 5 таблиць. Список використаних джерел складається з 25 найменувань.

Об'єкт роботи – холодильна камера з примусовою конвенцією.

Предмет роботи – процес охолодження.

Мета роботи – проектування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів.

У роботі зазначено, що на даний час харчова промисловість відіграє вирішальну роль у розвитку суспільства, де охолодження та заморожування харчових продуктів має на меті головним чином підтримання якості та подовження терміну їх придатності перед споживанням. Підтримуючи відповідну температуру, мінімізується метаболічне та мікробіологічне погіршення продуктів, забезпечуючи їхню якість під час зберігання.

На основі аналізу, було зазначено, що у харчовій промисловості холодильні камери є ключовими для підтримання якості продуктів. Холодильні камери класифікуються відповідно до їх робочої температури та здатності контролювати вологість на охолоджувальні камери, морозильні камери та камери зі контрольованою атмосферою.

Здійснено проектування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів з метою визначення розмірів камери, аналізу теплових навантажень та вибору кінцевих компонентів для її роботи. Камера об'ємом 79,38 м³ з поліуретановою ізоляцією в якій фрукти зберігаються у лотках, які розташовуються на мобільних візках. Холодильна камера з примусовою конвекцією, де використовується вентилятор для нагнітання повітря в камеру та рівномірного розподілу температури від 0°C і -10°C.

Система вентиляції буде забезпечувати збільшення потоку повітря, яке надходить у випарники, і як результат, буде збільшено конвективний коефіцієнт повітря, що рухається від змійовиків до лотків, які містять сировину, підвищуючи теплопередачу у продукті. Беручи до уваги висоту та довжину стелажів для лотків, а також змійовиків, пропонується розташувати 2 рівні вентиляторів на конструкції. Метою конструкції є розташування вентиляторів у точці, що гарантує, що потік повітря матиме необхідний напрямок до продукту, таким чином забезпечуючи більш ефективну теплопередачу.

Запропоновано удосконалену схему системи охолодження з компресійним циклом. Оптимізована система контролю температури полягає в тому, щоб забезпечити підтримання температури всередині холодильного приміщення в межах бажаних значень, створюючи оптимальні умови для збереження продуктів. Точний і стабільний контроль допомагає запобігти значним коливанням, які можуть вплинути на якість і термін придатності продуктів. На основі обраної системи охолодження було здійснено моделювання холодильної камери з примусовою конвекцією.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: холодильна камера, охолодження, заморожування, проектування, моделювання, фрукти.

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ХОЛОДИЛЬНИХ КАМЕР ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ЗАМОРОЖУВАННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ	7
1.1 Типи холодильних камер	7
1.2 Обладнання для охолодження та заморожування фруктів	11
1.3 Цикли охолодження	15
РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ КАМЕРИ	23
2.1 Основні компоненти системи охолодження	23
2.2. Теплове навантаження в холодильній камері	33
2.3 Контроль температури в холодильній камері	37
РОДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	42
3.1 Моделювання холодильної камери	42
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	46
ДОДАТКИ	48

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів				Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.	Кравцов										
Перевір.	Омельченко									5	1
									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
Н. Контр.	Омельченко										
Затверд.	Омельченко										

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що на даний час харчова промисловість відіграє вирішальну роль у розвитку суспільства, де охолодження та заморожування харчових продуктів має на меті головним чином підтримання якості та подовження терміну їх придатності перед споживанням. Підтримуючи відповідну температуру, мінімізується метаболічне та мікробіологічне погіршення продуктів, забезпечуючи їхню якість під час зберігання та транспортування.

Мета та задачі дослідження. Проектування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що у харчовій промисловості холодильні камери є ключовими для підтримання якості продуктів. Холодильні камери класифікуються відповідно до їх робочої температури та здатності контролювати вологість на охолоджувальні камери, морозильні камери та камери зі контрольованою атмосферою.

Здійснено проектування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів з метою визначення розмірів камери, аналізу теплових навантажень та вибору кінцевих компонентів для її роботи. Камера об'ємом 79,38 м³ з поліуретановою ізоляцією в якій фрукти зберігаються у лотках, які розташовуються на мобільних візках. Холодильна камера з примусовою конвекцією, де використовується вентилятор для нагнітання повітря в камеру та рівномірного розподілу температури від 0°C і -10°C.

Система вентиляції буде забезпечувати збільшення потоку повітря, яке надходить у випарники, і як результат, буде збільшено конвективний коефіцієнт повітря, що рухається від змійовиків до лотків, які містять сировину, підвищуючи теплопередачу у продукті. Беручи до уваги висоту та довжину стелажів для лотків, а також змійовиків, пропонується розташувати 2 рівні вентиляторів на конструкції. Метою конструкції є розташування вентиляторів у точці, що гарантує, що потік повітря матиме необхідний напрямок до продукту, таким чином забезпечуючи більш ефективну теплопередачу.

Запропоновано удосконалену схему системи охолодження з компресійним циклом. Оптимізована система контролю температури полягає в тому, щоб забезпечити підтримання температури всередині холодильного приміщення в межах бажаних значень, створюючи оптимальні умови для збереження продуктів. Точний і стабільний контроль допомагає запобігти значним коливанням, які можуть вплинути на якість і термін придатності продуктів.

На основі обраної системи охолодження, яка включає основні елементи, а саме компресор, конденсатор, випарник і розширювальний клапан було здійснено моделювання холодильної камери з примусовою конвекцією.

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Кравцов			Проектування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів				Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевір.		Омельченко									6		1	
									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО					
Н. Контр.		Омельченко												
Затверд.		Омельченко												

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ХОЛОДИЛЬНИХ КАМЕР ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ЗАМОРОЖУВАННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

1.1 Типи холодильних камер

Збереження харчових продуктів стосується практик та методів, які використовуються для підтримання якості, свіжості та безпеки продуктів під час їх зберігання та розподілу. Основна мета збереження полягає в продовженні терміну придатності продуктів та запобіганні або зменшенні деградації та погіршення, викликаних такими факторами, як мікробний ріст, окислення, ферментативний розпад та втрата поживних речовин. Збереження харчових продуктів є необхідним для забезпечення наявності безпечних та поживних продуктів харчування. Важливим є контроль таких параметрів як температура, вологість та атмосфера, щоб уникнути розмноження мікроорганізмів та підтримувати сенсорну якість продуктів. Основними методами збереження є охолодження та заморожування для запобігання псуванню продуктів харчування та збереження їхньої поживної цінності. Контроль температури є фундаментальним для пригнічення росту мікроорганізмів і ферментів, які можуть впливати на якість та безпеку продуктів харчування.

На даний час харчова промисловість відіграє вирішальну роль у розвитку суспільства, де охолодження харчових продуктів має на меті головним чином підтримання якості та подовження терміну їх придатності перед продажем. Підтримуючи відповідну температуру, мінімізується метаболічне та мікробіологічне погіршення продуктів, забезпечуючи їхню якість під час зберігання та транспортування [1-3, 13]. Охолодження є однією з найефективніших та найдешевших стратегій збереження продуктів харчування. Використовуючи різницю температур, тепло видаляється з продуктів за допомогою циклу Карно або інших термодинамічних циклів, охолоджуючи сировину та продовжуючи термін її зберігання. У харчовій промисловості холодильні камери є ключовими для підтримання якості продуктів, особливо у таких секторах, як аграрна галузь, де час зберігання є вирішальним для уникнення псування фруктів та овочів. Належне збереження органічних продуктів відіграє ключову роль у забезпеченні їхньої якості, безпеки та тривалості зберігання. У цьому контексті холодильні камери стали незамінними елементами для зберігання цих швидкопсувних продуктів.

Неналежний дизайн холодильної камери може призвести до значних економічних втрат через зниження якості та терміну придатності продуктів харчування. Холодильні камери – це установки, спеціально розроблені для зберігання та консервування продуктів харчування при низьких температурах, забезпечуючи контрольоване середовище, яке допомагає підтримувати якість та

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Кравцов			Проектування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів				Літ.		Арк.	Аркуші		
Перевір.		Омельченко									7	16		
									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО					
Н. Контр.		Омельченко												
Затверд.		Омельченко												

продовжувати термін придатності швидкопсувних продуктів. Холодильні камери обладнані системами охолодження та термоізоляції, щоб підтримувати відповідні температури та запобігати розмноженню мікроорганізмів і псуванню продуктів харчування. Холодильні камери – це термоізовані конструкції, які дозволяють точно контролювати температуру, вологість та інші параметри середовища для забезпечення збереження продуктів харчування. Ці установки є життєво важливими у ланцюзі постачання продуктів, оскільки вони дозволяють зберігати та розповсюджувати швидкопсувні продукти, такі як м'ясо, риба, фрукти та овочі в оптимальних умовах [1-3]. Холодильні камери класифікуються відповідно до їх робочої температури та здатності контролювати вологість. Існують різні типи камер, такі як охолоджувальні камери, морозильні камери та камери зі контрольованою атмосферою, кожна з яких призначена для підтримки конкретних умов температури та вологості відповідно до вимог зберігання продуктів харчування.

Існують дві основні категорії холодильних камер, а саме ті, що призначені для охолодження та ті, що призначені для заморожування. Холодильні камери використовуються для зберігання та збереження товарів при температурі, близькій до 0°C, зазвичай вони відповідають за збереження свіжих продуктів, таких як овочі, фрукти, м'ясо, риба або молочні продукти. З іншого боку, морозильні камери спеціально призначені для зберігання продуктів при морозильних температурах (нижче 0°), відповідно до потреб збереження кожного типу товару [13]. Ці системи холодного зберігання широко використовуються у всьому світі завдяки їх здатності підтримувати продукти харчування та товари в оптимальних умовах. Завдяки ефективній ізоляції та здатності до збереження, холодильні камери гарантують якість і свіжість збережених продуктів. Крім того, вони дозволяють подовжити термін придатності продуктів і товарів, запобігаючи їх псуванню та зменшуючи відходи.

Охолоджуючі камери також відомі як холодильні камери з позитивною температурою. Це приміщення в яких температура коливається від 0°C до 10°C, і які використовуються головним чином для зберігання свіжих продуктів таких як фрукти та овочі, оскільки це дозволяє підтримувати необхідну для них вологість. Камери заморозки також відомі як холодильні камери з негативною температурою. Температура в таких камерах знаходиться в середньому діапазоні від 0°C до -28°C, а їх конструкція розроблена для заморожування збережених продуктів, зберігаючи атмосферну вологість і температуру. Основні характеристики для збереження фруктів такі: відносна вологість від 85% до 90%, температура охолодження від 0°C до 4°C та температура заморожування від -18°C до -22°C [18]. Холодильна камера є необхідною для досягнення цієї мети, оскільки вона дозволяє контролювати температуру для збереження органолептичних властивостей сировини в оптимальних умовах та продовження його терміну придатності.

Холодильна камера – це спеціалізована система, яка призначена для підтримки постійної низької температури всередині, що є фундаментальним для збереження продуктів, чутливих до тепла, таких як швидкопсувні продукти.

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення цієї мети холодильна камера має різні основні компоненти, які виконують ключові функції у її роботі [13, 18]. Холодильні камери розроблені для забезпечення необхідної ізоляції та підтримки постійних внутрішніх умов, особливо температури в діапазоні від 5°C до -18°C. Теплоізоляційний шар з низьким тепловідведенням ефективно контролює температуру, вологість і внутрішню атмосферу, забезпечуючи належне середовище для зберігання та консервації продуктів.

Холодильні камери використовуються для збереження, охолодження або заморожування продуктів, особливо харчових при яких необхідно підтримувати стабільну та попередньо встановлену температуру. Температурний режим залежить від функції камери і може варіюватися від +18°C для дозрівання до -28°C для заморожування продукту [18]. Холодильні камери з температурою нижче 10°C використовуються для охолодження та заморожування швидкопсувних продуктів. Конструкція може бути стаціонарною або мобільною, а всередині може знадобитися контрольована атмосфера. Холодильні камери забезпечують належне середовище для збереження та заморожування продукту з ефективним контролем температури, вологості та внутрішньої атмосфери завдяки ізоляційним покриттям з низькою теплопровідністю та тепловим розсіюванням.

Існує різноманітність типів та розмірів холодильних камер, щоб відповідати різним потребам та застосуванням [1-3, 18]:

- камери збереження використовуються для підтримання продуктів при температурах трохи вище точки замерзання;
- камери заморожування ідеально підходять для збереження продуктів при температурах -18°C;
- камери швидкого заморожування знижують температуру продуктів значно швидше, ніж традиційні методи збереження, що допомагає уникнути утворення великих кристалів льоду, які можуть пошкодити клітинну структуру продуктів, що сприяє збереженню їхньої якості та текстури.

Вибір відповідного типу холодильного приміщення залежить від таких факторів, як необхідна температура, тип продуктів для зберігання та специфічні потреби галузі або застосування.

Холодильна камера складається з основних елементів, які працюють разом для підтримки холодного та контрольованого середовища при цьому дизайн та конкретна конфігурація цих елементів можуть змінюватися залежно від призначення камери та вимог до температури зберігання продуктів. Для ідентифікації основних елементів холодильних камер було проведено ретельний огляд літератури [12, 13, 18]. Після аналізу різних джерел було встановлено основні компоненти холодильних камер (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Основні компоненти холодильної камери

Компонент	Параметри
Ізоляційна панель	Структура, яка формує стіни, дах і підлогу холодильної камери. Вона складається з ізоляційних панелей, зазвичай з поліуретану або спіненого полістиролу, які допомагають підтримувати постійну температуру та запобігати передачі тепла ззовні.

Двері	Двері холодильної камери є важливим компонентом, який повинен забезпечувати хороше ущільнення, щоб уникнути потрапляння теплого повітря та підтримувати внутрішню температуру. Зазвичай вони оснащені гумовими ущільнювачами або бортками для забезпечення герметичного закриття.
Охолоджувальна система	Система відповідає за генерацію та підтримання низької температури всередині холодильної камери. Вона може включати компресор, випарник, конденсатор та систему циркуляції холодоагенту, таку як цикл охолодження за допомогою стиску або цикл охолодження за допомогою абсорбції.
Контроль температури	Фундаментальний елементом для підтримання бажаної температури всередині холодильної камери. Може складатися з термостата або електронного контролера, який дозволяє регулювати та контролювати температуру.

Система охолодження є основним елементом холодильної системи і складається з кількох компонентів, включає компресор, конденсатор, випарник і розширювальний клапан. Разом ці компоненти працюють над зниженням температури повітря всередині камери та підтриманням постійної температури. Ізоляційні панелі, які формують стіни, стелі та підлоги холодильної камери виготовлені з матеріалів високої щільності, що допомагають підтримувати бажану температуру з мінімальною передачею тепла. Двері морозильної камери спеціально розроблені для підтримання внутрішньої температури та запобігання витоку тепла. Контролери та датчики є пристроями, які контролюють і регулюють температуру всередині морозильної камери.

Холодильні камери за допомогою примусової подачі повітря зазвичай використовуються, коли продукт має нерегулярну форму або коли бажано одночасно заморозити продукти різних розмірів. Зазвичай середня швидкість повітря коливається від 2,5 до 7,5 м/с, при цьому 6 м/с є найбільш використовуваним значенням у промисловості заморожування сировини. Холодильна камера складається з наступних елементів [10, 12]:

- дах і ізольовані стіни: складаються з ізоляційного матеріалу для підтримання внутрішньої температури в тунелі заморожування;
- бокові дефлектори: встановлюються у бічних кутах тунелю заморожування для покращення руху повітря всередині;
- стелажі для лотків: конструкція, функцією якої є зберігання продукту для заморожування під час процесу;
- випарний змішувач: обладнання, функція якого полягає в охолодженні повітря, що проходить через нього, а обладнання працюватиме разом з іншими компонентами системи охолодження (компресор, конденсатор, проміжний теплообмінник), які не будуть знаходитися всередині морозильної камери;

– вентиляційна система: обладнання, функція якого полягає в збільшенні обсягу повітря до випарних змішувачів та забезпеченні кращого теплообміну на стелажах із сировиною;

– підвісна стеля: структура, функція якої полягає в каналу видалення повітря від випарних змішувачів до стелажів із сировиною.

Спочатку холодне повітря буде проштовхнуте через систему вентиляції до випарних змішувачів, які знизять температуру повітря до необхідного значення. Після цього повітря пройде над контейнерами з сировиною, нагріється та підніметься до верхньої частини тунелю і переміститься над підвісною стелею до вентиляторів, щоб знову охолонути.

1.2 Обладнання для охолодження та заморожування фруктів

Охолодження зазвичай визначається як процес у якому відбувається видалення тепла із сировини. Охолодження є галуззю науки, що займається процесами зниження та підтримки температури матеріалу на рівні, нижчому за відповідну температуру навколишнього середовища. У цьому процесі тепло береться з тіла, яке потрібно охолодити і передається тілу з температурою, нижчою за температуру тіла, яке потрібно охолодити. Оскільки тепло, вилучене з охолоджуваного об'єкта передається іншому об'єкту, очевидно, що охолодження та нагрівання насправді є протилежними сторонами одного і того самого процесу. Охолоджувачем називають будь-яке тіло або речовину яке поглинає тепло від іншого тіла або речовини, що дозволяє знизити температуру. У випадку циклу з паровим компресором, охолоджувач є робочою рідиною циклу, яка по черзі випаровується і конденсується, відповідно поглинаючи та віддаючи тепло. Для того, щоб охолоджувач міг використовуватися в циклі з паровим компресором він повинен мати певні хімічні, фізичні та термодинамічні характеристики, які забезпечують безпечне та економічне використання. Серед найважливіших характеристик зазначаються наступні [11]:

– термодинамічні характеристики: щоб використовуватися як охолоджувачі, елементи повинні мати високу здатність поглинати та віддавати теплову енергію, що означає, що ефект маси циркулюючого охолоджувача є більшим;

– низька температура замерзання: речовина, що використовується як холодоагент, повинна мати низьку температуру замерзання, оскільки, якщо досягти точки замерзання, для процесу стиснення буде потрібна дуже висока потужність;

– позитивна температура випаровування: тиск у випарнику повинен перевищувати атмосферний тиск, це запобігатиме потраплянню повітря в систему;

– відносно низький тиск конденсації: важливо підтримувати цю умову, оскільки в іншому випадку знадобляться дорогі труби та обладнання;

– фізичні та хімічні характеристики і висока діелектрична міцність пари, що робить можливим використання герметичних компресорів, де пара може

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контактувати з обмотками двигуна.

Заморожування базується на температурі як основного показника функціонування. Температура є фундаментальним параметром стану системи. Якщо температура знижується, рух молекул сповільнюється, так само як і швидкість реакцій. Вона представляє енергію активації окремих реакцій. Критерієм, який слід враховувати є тепло. Його необхідно видаляти з системи і це називається теплопередачею. Таким чином кількість тепла, що переходить від одного тіла до іншого, визначається, і вона пов'язана з його температурою. Першою характеристикою замороженої системи є співіснування двох фаз: рідкої та твердої. Тверду фазу можна додатково розділити на дві категорії: аморфний стан і кристалічний стан. Ще одним важливим явищем є те, що при температурі нижче 0°C утворення льоду не відбувається автоматично [6]. Хоча термодинаміка показує лід як найбільш стабільну форму води, кінетика відіграє ключову роль. Щоб потрапити в кристалічну фазу, повинні існувати ядра ініціації. Однак навіть за наявності ядер рівновага не досягається одразу, а настає фаза поширення, яка залежить від властивостей системи та швидкості теплопередачі. При температурі 0°C перехід від води до льоду займає близько 1 години – це стосується чистої води. У присутності розчиненої речовини насичена пара розчинника має нижчий тиск, що призводить до того, що температура фазового переходу нижча.

Всі харчові продукти містять деякі розчинені речовини. Неможливо заморозити всю воду, що міститься в харчовому продукті при точній температурі, тобто в точці замерзання. У міру того як все більше води перетворюється на лід, концентрація розчинених речовин збільшується, викликаючи зниження температури замерзання. Дуже складно визначити точну кінцеву точку процесу заморожування [1, 6]. При розрахунку часу, необхідного для завершення процесу заморожування, як кінцеву точку заморожування беруть час, необхідний для зниження температури продукту, виміряної в його тепловому центрі до необхідної температури, яка призводить до кристалізації більшої частини води і деяких розчинених речовин.

Існують різні методи заморожування, більшість з яких базуються на механічній системі стискання пари, що складається з наступних основних елементів: компресор, конденсатор, розширювальний клапан та випарник.

Найбільш широко використовуваний метод заморожування продуктів харчування – це заморожування за допомогою контакту з холодним повітрям. Природне заморожування конвекцією, що передбачає низькі швидкості заморожування (а отже, великі часи заморожування) на промисловому рівні не використовується через ці обмеження. Коли тепло видаляється з продукту за допомогою примусової конвекції (вентилятори, що збільшують швидкість холодного повітря), ефективність процесу зростає [2, 6]. Температура повітря стає більш рівномірною, а швидкість повітря можна контролювати для полегшення теплопередачі на поверхню продуктів. Однак час заморожування завжди залежить від характеристик і форми продукту. У тонких продуктах з великою відкритою поверхнею час заморожування можна скоротити шляхом збільшення швидкості холодного повітря. У товстих продуктах із обмеженою

					ННІЕТ КНУ.142.ЗЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

відкритою поверхнею час заморожування буде в основному обмежений швидкістю проведення тепла через товщину продукту. Зазвичай температура повітря в морозильнику з механічним охолодженням коливається від -32°C до -40°C . Цей метод дозволяє ефективно заморожувати широкий спектр продуктів харчування, зберігаючи їх якість та безпеку.

Камери заморожування з прямим контактом. Контактні морозильники – це морозильники, які використовуються переважно для блоків правильної форми та напіврідких пастоподібних матеріалів. Крім того, цей метод заморожування застосовується частіше для шарів, товщина яких не перевищує 50–60 мм. Пластинчасті морозильники можуть бути вертикальні або горизонтальні. Вони заморожують блоки, поміщаючи упакований або неупакований продукт між пластинами морозильника, зазвичай таких пластин 15–20. Процес проводиться «партиями» і зазвичай використовується для риби або м'яса [4, 6]. Метод передбачає розміщення харчового продукту між двома надзвичайно холодними металевими плитами, які виготовленими з алюмінію або нержавної сталі. Плити підтримуються за дуже низьких температур за допомогою системи охолодження. Прямий контакт із плитами дозволяє швидко передавати тепло, ефективно заморожуючи сировину. Технологія часто використовується для продуктів, таких як гамбургери, риба та тонке м'ясо.

Конвеєрні або стрічкові морозильники використовуються головним чином для заморожування досить тонких шарів рідких або пастоподібних продуктів, підготовленого м'яса та рибних філе. Вони можуть мати одну або дві стрічки з нержавної сталі. Барабанні морозильники заморожують ті ж продукти, що й стрічкові морозильники, але є більш компактною системою. Цей метод заморожування має обертовий барабан з нержавної сталі, на поверхню якого наносяться продукти для заморожування. Ротаційні морозильники використовуються головним чином для заморожування м'яса, молочних продуктів, риби. Мають продуктивність 15 тон на день і можуть заморожувати товщину від 60 до 85 мм.

2. Морозильники з примусовою циркуляцією повітря. Статичні тунелі заморожування – це камери, оснащені випарниками та вентиляторами, де холодне повітря циркулює через продукти, які можуть бути розміщені на підносах, розташованих на стаціонарних полицях. Це дуже гнучке обладнання, яке підходить для продуктів будь-яких розмірів та форм. Конвеєрні морозильники – це морозильники можуть мати одну конвеєрну стрічку, дві або більше накладених стрічок, а також стрічки, намотані навколо обертового барабана. Вони використовуються головним чином для неупакованих продуктів, наприклад, індивідуально заморожених продуктів. У двох наступних методах використовується одна й та сама технологія, оскільки обидва вони використовують струмінь холодного повітря для контакту з харчовим продуктом [4, 6]. Безперервне або стрічкове заморожування – це процес, при якому продукти харчування розміщують на конвеєрі, що рухається через камеру заморожування. Холодне повітря циркулює навколо продуктів, відводячи тепло та поступово їх заморожуючи. Технологія зазвичай використовується для таких продуктів, як гамбургери, картопля та сипкі

					ННІЕТ КНУ.142.ЗЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

продукти. Спіральне або тунельне заморожування – це інша техніка при якій харчові продукти транспортуються через спіральний тунель для заморожування. Під час проходження тунелю холодне повітря продувається на продукти, щоб відвести тепло. Метод дуже ефективний і використовується для упакованих або насипних продуктів, таких як овочі та фрукти.

Оцінка часу заморожування є основним фактором у будь-якій операції з продуктами харчування. Потужність холодильного обладнання визначається часом, необхідним для операції заморожування. У розрахунках використовується поняття термічного часу зупинки, тобто часу, необхідного для зниження температури продукту до встановленої температури нижче початкової точки замерзання. Під час заморожування тепло поширюється від внутрішньої частини продукту до поверхні, а потім передається або теплопровідно або конвективно до середовища заморожування [1-3, 6]. Фактори, що впливають на цей процес, включають теплопровідність, товщину, щільність, площу поверхні продукту, різницю температур між продуктом і середовищем заморожування та опір, який створює прикордонний шар навколо продукту. Прогнозування часу заморожування ускладнене тим, що властивості продукту, такі як теплопровідність, щільність і питомий теплоємність, змінюються з температурою, так само як і різниця в початковій температурі, розмірі та форма продуктів харчування.

Заморожування зануренням – це ще один метод, що передбачає занурення харчових продуктів у дуже холодну охолоджуючу рідину, таку як рідкий азот або розчин солі з водою. Прямий контакт з рідиною за низьких температур спричиняє миттєве заморожування продуктів. Метод часто використовується для делікатних або дрібних продуктів, таких як фрукти, овочі або рибні продукти. У кріогенному заморожуванні використовується кріогенний газ, такий як рідкий азот або твердий діоксид вуглецю (сухий лід), для швидкого заморожування продуктів. Кріогенні гази надзвичайно холодні і можуть дуже швидко заморожувати сировину [4, 6]. Технологія часто використовується в промислових застосуваннях та для кріозберігання біологічних матеріалів. Кріогенне заморожування може проводитися трьома різними способами: рідкий кріогенний газ розпилюється безпосередньо на сировину в тунельній морозильній камері, рідкий кріогенний газ випаровується і продувається на їжу в спіральній або пакетній морозильній камері, або харчовий продукт занурюється в рідкий кріогенний газ у занурювальній морозильній камері. Однак найпоширенішим методом є пряме нанесення кріогенних розчинів на продукт під час його транспортування через ізольований тунель.

Заморожувачі з псевдозрідженим шаром використовуються для невеликих продуктів однакових розмірів, які піддаються дії восхідного повітряного потоку. Крім того, при відповідній швидкості повітря ці маленькі частинки зависають у потоці разом із рідиною. Також, коли стрічка, що їх переміщує, має нахил, вони ковзають, переміщаючись і одночасно заморожуючись без необхідності механічної допомоги. Цей метод має кілька переваг порівняно з заморожуванням на конвеєрі: продукт заморожується індивідуально, при зменшенні завантаження це не впливає на розподіл повітря, і можна обробляти дуже вологі продукти. Зазвичай цей процес має дві частини:

					ННІЕТ КНУ.142.ЗЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

перша – дуже швидке заморожування для досягнення поверхневого замерзання; друга – більш повільне заморожування, при якому завершуються процеси заморожування. Обидві частини відбуваються на двох різних стрічках, але всередині однієї машини [4]. Сталеві морозильники для занурення використовуються для продуктів неправильної форми, оскільки продукт занурюють у холодну речовину або обприскують нею. Речовина, що використовується, може бути водним розчином солі (розсіл), цукру, алкоголю або іншої нетоксичної речовини. Заморожувачі з використанням рідкого або твердого випаровування (заморожувачі на рідкому азоті) засновані на принципі розпилення рідкого азоту при -196°C на конвеєрну стрічку. Після цього газоподібний азот, який утворюється під час заморожування, видаляється. Цей метод використовується для первинного поверхневого заморожування. Також він застосовується для повного заморожування маленьких високовартісних продуктів. Морозильники на основі діоксиду вуглецю CO_2 існує за атмосферного тиску у вигляді газу або твердого стану. Тому продукт контактує з шматками сухого льоду.

Традиційне заморожування в основному засноване на теплопровідності та конвекції для передачі тепла, що обмежує видалення тепла від поверхні і поступовим проникненням глибше у внутрішню частину, що призводить до повільної швидкості заморожування та утворення великих кристалів льоду. Заморожування потоком повітря, заморожування на псевдозрідженому шарі та заморожування із примусовим впливом є удосконаленнями традиційного механічного заморожування, тоді як їхні основні обмеження – це велике енергоспоживання. Кріогенне заморожування, яке використовує твердий чи рідкий вуглекислий газ або рідкий азот у прямому контакті з продуктом має вищі теплопередавальні коефіцієнти та швидко швидкість заморожування. Однак воно також дорожче, оскільки холодоагент не рециркулюється і втрачається в атмосферу [5]. Кріогенне заморожування може мати показники в рази вищі, ніж у механічних систем охолодження. Хоча конвективний теплообмін між середовищем заморожування та продуктом можна покращити, збільшуючи витрати та додаткову енергію, у багатьох випадках низька теплопровідність самих продуктів обмежує його відносну перевагу теплообміну, що можна скоригувати, контролюючи розмір харчових матеріалів. Нові методи спрямовані на вдосконалення процесу заморожування та мінімізації пошкоджень, пов'язаних із традиційними методами прискорення теплообміну та/або зменшення розміру кристалів льоду.

1.3 Цикли охолодження

Системи охолодження призначені насамперед для зниження температури продукту, що зберігається у холодильних камерах або камерах для охолодження, які можуть містити різноманітні продукти харчування. Різні цикли охолодження виконують ту ж функцію, але деякі з них більш ефективні, ніж інші, з урахуванням деяких додаткових компонентів. Цикли складаються з чотирьох основних процесів [18]:

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- випаровування: на цьому етапі холодоагент поглинає тепло з навколишнього простору і, відповідно, його охолоджує;
- стиснення: після випаровування холодоагент на виході з випарника потрапляє до компресора, де він стискається, збільшуючи свій тиск і температуру;
- конденсація: тут газоподібний холодоагент під високим тиском і високою температурою віддає тепло навколишньому середовищу, переходячи з газоподібного стану в рідкий під високим тиском;
- розширення: цей етап здійснюється за допомогою механізму контролю потоку, де холодоагент під низьким тиском повертається до випарника для поглинання тепла та початку нового циклу.

1. Простий холодильний цикл із паровим стисненням використовується в звичайних холодильниках та складається з чотирьох процесів: випаровування, стиснення, конденсація та розширення. На рисунку 1.1 показано діаграму температура-ентропія цього циклу та компоненти, які його утворюють.

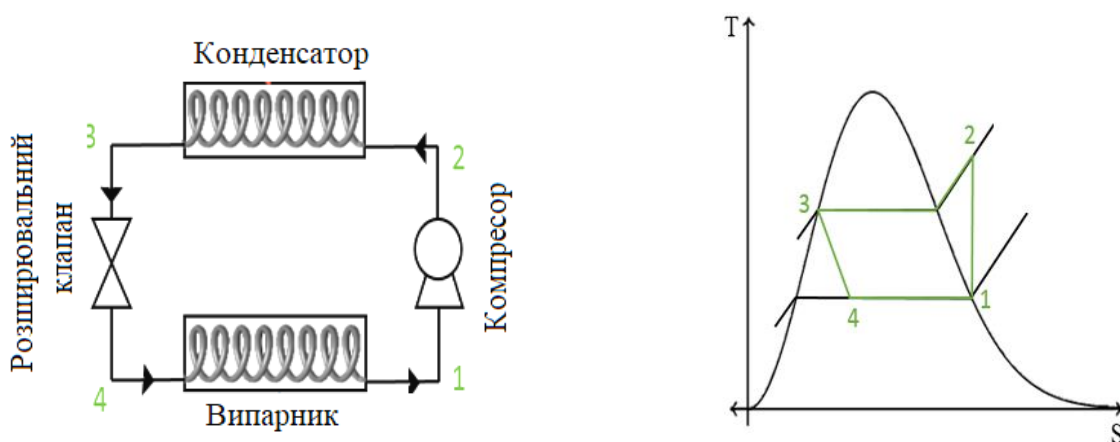


Рисунок 1.1 – Простий холодильний цикл із паровим стисненням

Основні характеристики циклу [18]:

- ентропія від стану 1 до стану 2 залишається сталою;
- ентальпія від стану 3 до стану 4 підтримується сталою;
- стан 1 – насичена пара;
- стан 2 – перегріта пара;
- стан 3 – насичена рідина;
- стан 4 – суміш.

$$\dot{m}_R = \frac{\dot{Q}_l}{h_1 - h_4}$$

$$\dot{Q}_l = \dot{m}_R (h_1 - h_4)$$

$$\dot{W}_C = \dot{m}_R (h_2 - h_1)$$

де $\dot{Q}_l$ – це тепло або навантаження для охолодження;

W_C – це робота компресора;
 m_R – це масовий потік холодоагенту.

2. Холодильний цикл з компресією. Цей холодильний цикл стискає холодоагент у два етапи, вимагаючи компресорів з нижчим тисковим співвідношенням, ніж у базовому циклі з проміжним теплообмінником. Додатково включає відокремлюючий резервуар для фаз, у якому розділяються пар та рідина, що беруть участь у циклі. Серед його переваг можна зазначити, що він має більшу здатність до охолодження тепла в випарнику, ніж базовий холодильний цикл. Іншим аспектом на який варто звернути увагу, є те, що потрібні компресори меншої потужності, ніж у базовому холодильному циклі.

Компоненти системи охолодження з компресією в два етапи [10]:

– випарник: у цьому обладнанні відбувається передача тепла з оточенням, яке потрібно охолодити, де холодильний агент переходить з стану (волога пара) у стан (насичена пара);

– компресор 1-го етапу: у цьому обладнанні відбувається ізотропне стиснення холодильного агента, який переходить зі стану (насичена пара) у стан (перегріта пара);

– компресор 2-го етапу: у цьому обладнанні відбувається ізоентропне стиснення холодильного агента, який переходить зі стану (насичена пара) у стан (перегріта пара);

– конденсатор: у цьому обладнанні відбувається передача тепла до зовнішнього середовища, де холодоагент переходить зі стану (перегріта пара) у стан (насичена рідина);

– розширювальна заслінка: у цьому пристрої відбувається ізоентальпійний процес, під час якого тиск зменшується зі стану (насичена рідина) до стану (волога пара);

– роздільник фаз: у цьому обладнанні здійснюється розділення рідини та пари холодоагенту.

3. Каскадний холодильний цикл складається з двох етапів – ці етапи з'єднуються за допомогою теплообмінника, який слугує випарником для верхнього етапу та конденсатором для нижнього етапу (рис. 1.2).

У цьому циклі можна використовувати два або більше типів холодоагенту залежно від наявних етапів, множинні етапи дозволяють зменшити роботу стиснення та збільшити холодопродуктивність, проте він потребує більшого обслуговування, оскільки містить кілька обладнань. Основні характеристики циклу [18]:

1-й етап

– ентродія від стану 1 до стану 2 залишається сталою;

– ентальпія від стану 3 до стану 4 залишається сталою;

– стан 1 – насичена пара;

– стан 2 – перегріта пара;

– стан 3 – насичена рідина;

– стан 4 – суміш;

– температура у стані 3 вища за температуру станів 8 та 5, у цьому

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процесі відбувається обмін теплом.

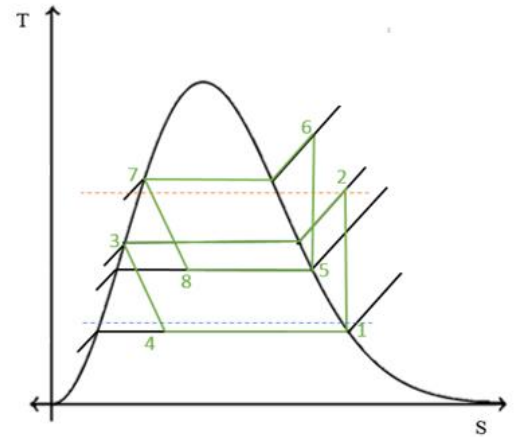
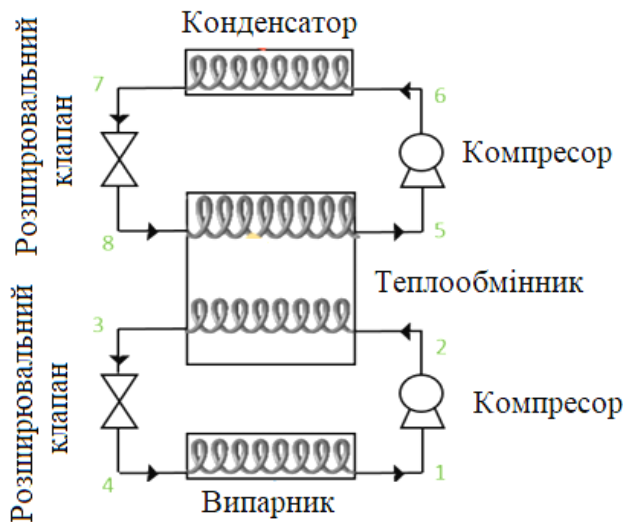


Рисунок 1.2 – Каскадний холодильний цикл

2-й етап

- ентродія від стану 5 до стану 6 залишається постійною;
- ентальпія від стану 7 до стану 8 залишається постійною;
- стан 5 – насичена пара;
- стан 6 – перегріта пара;
- стан 7 – насичена рідина;
- стан 8 – суміш.

Холодильний цикл стискає холодоагент у 2 етапи, вимагаючи компресорів із меншою співвідношенням тисків, ніж базовий цикл із регенератором або проміжним теплообмінником. Додатково він включає сепараторний резервуар фаз у якому відбудеться розділення пари та рідини, що беруть участь у циклі, а також проміжний теплообмінник (у якому відбувається передача тепла між потоком холодоагенту на виході з випарника та потоком на виході з конденсатора). Серед його переваг можна відзначити, що він має більшу теплову потужність охолодження у випарнику, ніж холодильний цикл із сепараторним резервуаром фаз.

$$\dot{m}_R = \frac{h_5 - h_8}{h_2 - h_3}$$

$$\dot{Q}_l = \dot{m}_R (h_1 - h_4)$$

$$\dot{W}_{C.1} = \dot{m}_R (h_2 - h_1)$$

$$\dot{W}_{C.2} = \dot{m}_R (h_6 - h_5)$$

$$\dot{W}_T = \dot{W}_{C.1} + \dot{W}_{C.2}$$

де $\dot{W}_{C1}$ – це робота компресора першого ступеня;

$\dot{W}_{C2}$ – це робота компресора другого ступеня;

W_T – це загальна робота, необхідна компресорам.

Компоненти системи охолодження з компресією у 2 етапи, 1 резервуар для розділення фаз та регенератор [10]:

- випарник: у цьому обладнанні відбувається передача тепла з навколишнім середовищем, що охолоджується, де холодильний агент переходить зі стану (волога пара) у стан (насичена пара);

- компресор 1-ї стадії: у цьому обладнанні відбувається ізоентропійне стиснення холодоагенту, переходячи зі стану (перегріта пара) у стан (перегріта пара);

- компресор 2-ї стадії: у цьому обладнанні відбувається ізоентропійне стиснення холодоагенту, переходячи зі стану (насичена пара) у стан (перегріта пара);

- конденсатор: у цьому обладнанні відбувається передача тепла до зовнішнього середовища, де холодоагент переходить зі стану (перегріта пара) у стан (насичена рідина);

- клапан високого тиску розширення: у цьому пристрої відбувається ізоентальпійний процес, під час якого тиск зменшується зі стану (насичена рідина) до стану (волога пара);

- клапан розширення низького тиску: у цьому пристрої відбувається ізоентальпійний процес, під час якого знижується тиск від стану (перохолоджена рідина) до стану (волога пара);

- резервуар-сепаратор фаз: у цьому обладнанні розділяється рідина та пар охолоджувача.

4. Охолоджувальний цикл з камерою спалаху складається з камери, яка розділяє пар та рідину з суміші, пар безпосередньо подається до компресора через трубопровід, а рідина направляється до випарника з метою вилучення теплового навантаження. Оскільки холодоагент входить у випарник у рідкій фазі, можна отримати більшу охолоджувальну здатність (рис. 1.3).

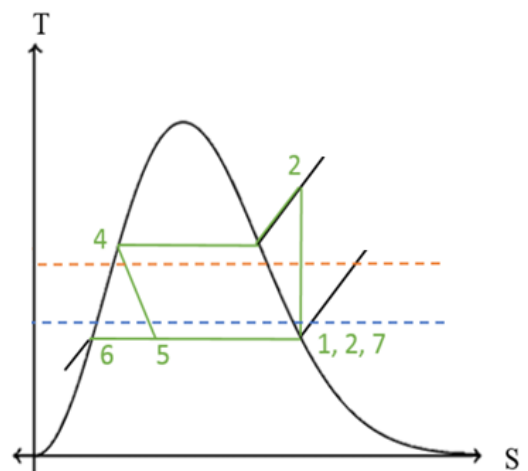
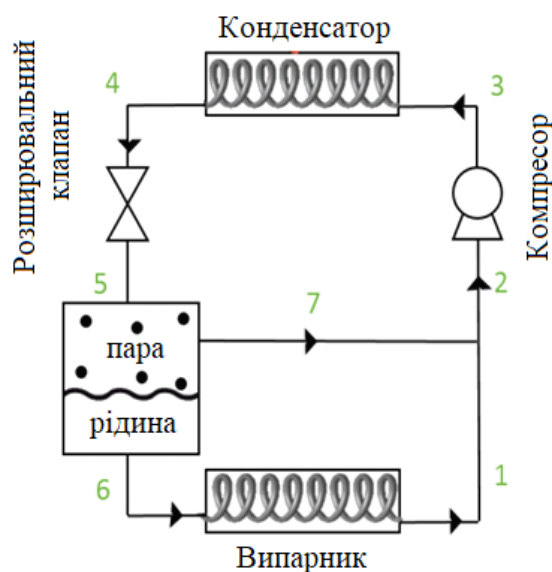


Рисунок 1.3 – Цикл охолодження з камерою спалаху

Основні характеристики цього циклу [18]:

- ентродія від стану 1 до стану 2 залишається сталою;
- ентальпія від стану 4 до стану 5 підтримується сталою;
- стані 1, 2 і 7 є насиченою парою;
- стан 3 – перегріта пара;
- стані 4 і 6 – рідина.

$$\dot{m}_L = \dot{m}_R - \dot{m}$$

$$\dot{m}_V = X * \dot{m}_R$$

$$\dot{Q}_l = \dot{m}_L (h_1 - h_6)$$

$$\dot{W}_C = \dot{m}_R (h_3 - h_2)$$

$$\dot{m}_R = \dot{m}_V + \dot{m}_L$$

де $\dot{m}_l$ – це масовий потік рідкого холодоагенту;

$\dot{m}_v$ – це масовий потік пароподібного хладагента.

5. Охолоджувальний цикл з регенератором. Цей охолоджувальний цикл схожий на базовий цикл охолодження за компресією пари з різницею в тому, що він включає регенератор – обладнання є проміжним теплообмінником з протитечією в якому відбувається передача тепла між двома потоками, що рухаються в протилежному напрямку. У цьому випадку передача тепла відбуватиметься між потоком холодоагенту на виході з випарника та потоком на виході з конденсатора. Серед його переваг можна зазначити, що він має більшу холодопродуктивність в випарнику, ніж базовий холодильний цикл. Іншим аспектом на який варто звернути увагу, є те, що холодоагент повністю надходить у вигляді перегрітого пару до компресора, запобігаючи можливості часткового надходження його у вигляді рідини.

Компоненти системи охолодження з регенератором [10]:

- випарник: у цьому обладнанні відбувається передача тепла з навколишнім середовищем для охолодження, де холодоагент переходить зі стану (волога пара) у стан (насичена пара);
- компресор: у цьому обладнанні відбувається ізоентропічне стискання холодоагенту, який переходить зі стану (перегрита пара) у стан (перегрита пара);
- конденсатор: у цьому обладнанні відбувається передача тепла до зовнішнього середовища, де холодоагент переходить зі стану (перегрита пара) у стан (насичена рідина);
- розширювальний клапан: у цьому обладнанні відбувається ізоентальпійний процес, під час якого знижується тиск із стану (переохолоджена рідина) у стан (волога пара);
- регенератор: у цьому обладнанні відбувається передача тепла між потоком холодоагенту та потоком.

6. Цикл охолодження з підохолодженням рідина-пар складається з теплообмінника для створення підохолодження, який працює у поєднанні з простим холодильним циклом. Процес підохолодження призводить до того, що

					ННІЕТ КНУ.142.ЗЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

холодоагент переходить від насиченої рідини на виході з конденсатора до стисненої рідини перед розширювальним клапаном, що забезпечує більшу охолоджувальну здатність (рис. 1.4). Суміш холодоагенту, що виходить з випарника підігрівается теплообмінником підохолодження до насиченої пари при більш високому тиску, що призводить до зменшення роботи компресора.

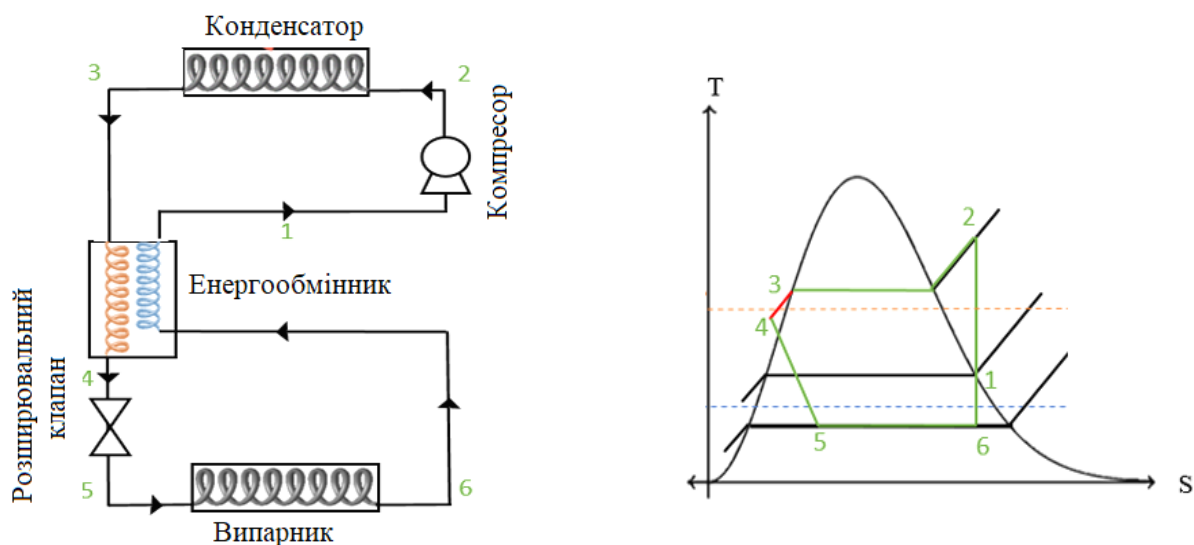


Рисунок 1.4 – Цикл охолодження з підохолодженням рідина-пар

Основні характеристики цього циклу [18]:

- ентропія станів 1, 2 і 6 залишається сталою;
- ентальпія від стану 4 до 5 підтримується сталою;
- стан 1 – насичена пара;
- стан 2 – перегріта пара;
- стан 3 – насичена рідина;
- стан 4 – стиснена рідина;
- стани 5 і 6 – суміш.

$$\dot{m}_L = \dot{m}_T - \dot{m}_V$$

$$\dot{m}_V = X * \dot{m}_T$$

$$\dot{Q}_l = \dot{m}_T (h_6 - h_5)$$

$$\dot{W}_C = \dot{m}_T (h_2 - h_1)$$

На основі вище зазначеного можна вважати, що на даний час харчова промисловість відіграє вирішальну роль у розвитку суспільства, де охолодження та заморожування харчових продуктів має на меті головним чином підтримання якості та подовження терміну їх придатності перед споживанням. Підтримуючи відповідну температуру, мінімізується метаболічне та мікробіологічне погіршення продуктів, забезпечуючи їхню якість під час зберігання та транспортування. Важливим є контроль таких параметрів як температура, вологість та атмосфера, щоб уникнути розмноження мікроорганізмів та підтримувати сенсорну якість продуктів.

Вважається, що основними методами збереження є охолодження та заморожування для запобігання псуванню продуктів харчування та збереження їхньої поживної цінності. Контроль температури є фундаментальним для пригнічення росту мікроорганізмів і ферментів, які можуть впливати на якість та безпеку продуктів харчування. У харчовій промисловості холодильні камери є ключовими для підтримання якості продуктів. Холодильні камери – це установки, спеціально розроблені для зберігання та консервування продуктів харчування при низьких температурах, забезпечуючи контрольоване середовище, яке допомагає підтримувати якість та продовжувати термін придатності швидкопсувних продуктів. Холодильні камери обладнані системами охолодження та термоізоляції, щоб підтримувати відповідні температури та запобігати розмноженню мікроорганізмів і псуванню продуктів харчування.

Аналіз наукових джерел дав змогу виявити, що холодильні камери класифікуються відповідно до їх робочої температури та здатності контролювати вологість. Існують різні типи камер, такі як охолоджувальні камери, морозильні камери та камери зі контрольованою атмосферою, кожна з яких призначена для підтримки конкретних умов температури та вологості відповідно до вимог зберігання продуктів харчування. Існують дві основні категорії холодильних камер, а саме ті, що призначені для охолодження та ті, що призначені для заморожування. Холодильні камери з температурою нижче 10°C використовуються для охолодження та заморожування швидкопсувних продуктів. Конструкція може бути стаціонарною або мобільною, а всередині може знадобитися контрольована атмосфера. Холодильні камери забезпечують належне середовище для збереження та заморожування продукту з ефективним контролем температури, вологості та внутрішньої атмосфери завдяки ізоляційним покриттям з низькою теплопровідністю та тепловим розсіюванням.

Зазначено, що холодильна камера складається з основних елементів, які працюють разом для підтримки холодного та контрольованого середовища при цьому дизайн та конкретна конфігурація цих елементів можуть змінюватися залежно від призначення камери та вимог до температури зберігання продуктів. Система охолодження є основним елементом холодильної системи і складається з кількох компонентів, включає компресор, конденсатор, випарник і розширювальний клапан. Разом ці компоненти працюють над зниженням температури повітря всередині камери та підтриманням постійної температури. Ізоляційні панелі, які формують стіни, стелі та підлоги холодильної камери виготовлені з матеріалів високої щільності, що допомагають підтримувати бажану температуру з мінімальною передачею тепла. Двері морозильної камери спеціально розроблені для підтримання внутрішньої температури та запобігання витоку тепла. Контролери та датчики є пристроями, які контролюють і регулюють температуру всередині морозильної камери.

Системи охолодження призначені насамперед для зниження температури продукту, що зберігається у холодильних камерах або камерах для охолодження, які можуть містити різноманітні продукти харчування. Різні цикли охолодження виконують ту ж функцію, але деякі з них більш ефективні, ніж інші, з урахуванням деяких додаткових компонентів.

					ННІЕТ КНУ.142.ЗЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ КАМЕРИ

2.1 Основні компоненти системи охолодження

Через різні потреби у збереженні якості продуктів для їх подальшого використання існує низка можливостей і конфігурацій холодильного обладнання залежно від температури, потужності, потоку повітря, типу установки, об'єму контролю та інших факторів. Спосіб збереження продукту за допомогою системи охолодження може здійснюватися шляхом: охолодження, холодильного зберігання, замороження та кріогенерації, а саме процесом від якого залежатиме характеристика продукту та час на який його потрібно зберегти. Зберігання використовується для обмеженого продовження терміну зберігання певних продуктів, зберігаючи їх свіжими при температурах від 15°C до 2°C (мінімум 0°C), процес охолодження не запобігає поступовому псуванню продукту, але може його уповільнити, відповідно до вимог продукту. Охолодження може бути методом для тимчасового збереження трохи довшого, ніж загальне збереження, його досягають системами, які виробляють температури між 0°C і -10°C.

У процесі заморожування ферментативна активність пригнічується, як і розмноження бактерій, за рахунок зниження температури продуктів нижче температури заморожування, що коливається від -18°C до -40°C, через те, що частина води, що міститься в продуктах, замерзає, утворюючи кристали льоду. Фіксація води та збільшення концентрації розчинених речовин у незамерзлій воді призводять до зменшення активності води в продукті; таким чином можна зберігати продукт довший час, оскільки цей метод використовує дію низьких температур та зниження активності води. Зазвичай низькі температури називають кріогенними температурами [7-9, 17]. У харчовій промисловості швидке заморожування застосовується до широкого спектра продуктів, серед яких виділяються хлібобулочні вироби, м'ясо, риба, морепродукти, овочі та готові страви і проводиться воно за допомогою кріогенних тунелів, які використовують рідкий азот як робочу рідину. Його переваги перед механічним заморожуванням численні, але висока вартість цього методу робить його не одним із найбільш використовуваних методів збереження продуктів.

Щоб зменшити або сповільнити природне розкладання продуктів за допомогою систем охолодження, необхідно враховувати умови зберігання, такі як: температура всередині охолоджуваного приміщення, відносна вологість, освітлення, теплове навантаження та утворення газів внаслідок метаболічної активності. Зміни зовнішнього вигляду, смаку та запаху продуктів, що зберігаються є наслідком атаки мікроорганізмів таких як бактерії внаслідок

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Кравцов			Проектування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів				Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.		Омельченко									23	19
									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО			
Н. Контр.		Омельченко										
Затверд.		Омельченко										

хімічних і біохімічних процесів, що відбуваються в природному процесі розкладання. Швидкість реакції цих процесів і ріст мікроорганізмів залежатиме від сприятливих умов, які їм надаються при даній температурі

Втрата води через живі тканини продуктів під час їх зберігання відбувається через те, що тиск водяної пари в охолоджену просторі менший за тиск водяної пари на поверхні продукту. Випаровування води призводить до втрати ваги, скорочення поверхні, її зовнішній вигляд стає світло-жовтим і волокнистим, втрачаються специфічний смак та запах. Втрата ваги через випаровування зменшується зі збільшенням відносної вологості повітря в складі [17]. Чим сухіше повітря в умовах зберігання, тим швидше відбувається втрата води продуктами, що зберігаються. Оптимальна відносна вологість для зберігання більшості овочевих культур складає від 85 до 100 відсотків. Кількість тепла, яку потрібно забрати з охолоджуваного приміщення, залежатиме від збережуваного продукту, від обсягу збереженого, характеристик, безпосередньо пов'язаних з його зберіганням.

Оскільки охолодження є процесом, який широко використовується в харчовій промисловості з метою забезпечення якості та безпечності виробленої продукції, цей процес значно споживає енергетичні ресурси через деякі несправності та невідповідності, і саме тут слід впроваджувати методи, які дозволяють значну економію, але в межах встановлених параметрів ефективності обладнання та машин.

Енергоефективність у холодильних камерах відноситься до здатності систем охолодження мінімізувати споживання енергії, підтримуючи при цьому належні температурні умови для збереження продуктів. Енергоефективна холодильна камера оптимально використовує енергетичні ресурси, тим самим зменшуючи експлуатаційні витрати та вплив на навколишнє середовище. Енергоефективність у холодильних камерах досягається через різні стратегії. До них належить використання вискоелективного холодильного обладнання, належна теплоізоляція приміщень, ефективне управління тепловим навантаженням та оптимізація систем управління та регулювання [11]. Крім того важливим є моніторинг та періодичне обслуговування систем охолодження в холодильних камерах приміщеннях для забезпечення їх енергоефективності у довгостроковій перспективі. Раннє виявлення можливих проблем, таких як витоки холодоагенту або неправильна робота компонентів, може допомогти уникнути втрат енергії та максимізувати ефективність системи.

Компресор вважається найважливішим органом холодильної установки, він відповідає за прийом холодильного газу, що надходить з випарника через запірний клапан. Після того як газ потрапляє в конденсатор, він стискає його за допомогою поршня, а потім виштовхує його до конденсатора [10, 11, 21]. Компресор – пристрій, який відповідає за підвищення тиску холодоагенту з метою забезпечення його належного надходження до подальшого обладнання (конденсатора). Іншою його функцією є регулювання циркуляції газу-холодоагенту для забезпечення безперервного потоку в конденсаторі та в системі охолодження (рис. 2.1). Компресор та специфікації відповідно до

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

виробників. Коли холодоагент виходить з випарника в газоподібному стані, де він стискається в компресорі, де підвищується тиск і температура робочої речовини, щоб пізніше бути вивантаженим у конденсатор.

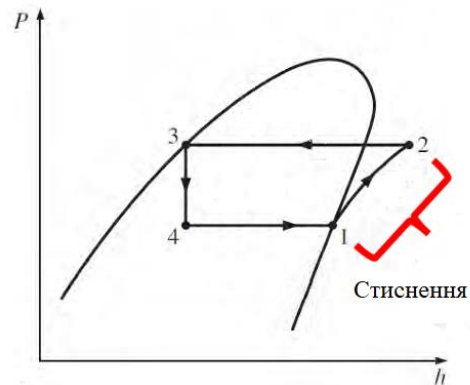


Рисунок 2.1 – Поршневий компресор
(процес стиснення на діаграмі P проти h)

На рисунку 2.1 на діаграмі P проти h позначено процес у якому бере участь компресор у системі охолодження з паровою компресією. Компресор працює підвищуючи тиск холодоагенту від стану 1 (насичена пара) до 2 (перегріта пара) ізоеентропічно. Технічні характеристики компресора наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики компресора

Тип	Поршневий компресор
Модель	Z50-185Y
Кількість	2
Холодоагент	R-404A
Температура випаровування	-37°C
Температура конденсації	20°C
Холодопродуктивність	63,52 кВт
Вхідна потужність	22,35 кВт
Частота роботи	60 Гц
Тиск випаровування	151,76 кПа
Тиск конденсації	1088,61 кПа

Конденсатор є теплообмінником і, як вказує його назва, відповідає за конденсацію холодоагенту, тобто він відповідає за зміну фізичного стану холодоагенту, коли він переходить з газоподібного стану в рідкий. Щоб викликати зміну фізичного стану холодоагенту, конденсатор повинен передавати тепло, яке холодоагент поглинає під час процесів випаровування та стиснення, в середовище з нижчою температурою, яким зазвичай є атмосфера, але це також може бути будь-яке інше середовище або процес, що служить приймачем тепла [14-17]. Газоподібний холодоагент, температура якого вища за температуру навколишнього середовища, при попаданні в конденсатор почне знижувати свою температуру через цю теплопередачу, викликаючи зміну фази

до виходу з конденсатора у вигляді рідини.

Конденсатори – це пристрої, які відповідають за передачу тепла, поглинутого в випарнику та під час фази стиснення циклу охолодження. Це здійснюється шляхом конденсації холодоагенту з компресора. Існує три типи конденсаторів: охолоджувані повітрям, водою та випарні [10, 11, 25]. У цьому обладнанні холодоагент зменшує свою температуру, переходячи зі стану газу в рідкий стан, щоб бути повторно використаним у циклі охолодження (рис. 2.2).

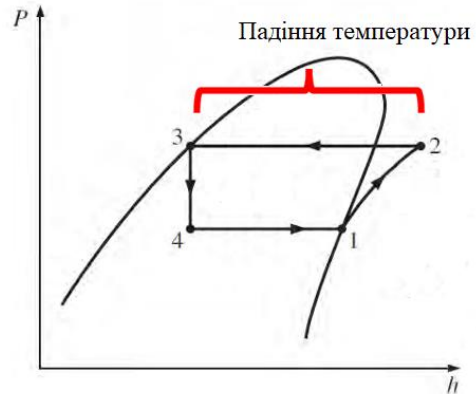


Рисунок 2.2 – Повітряний конденсатор (падіння температури на діаграмі P проти h)

На ідеальній діаграмі на рисунку 2.2 на діаграмі P проти h показано процес в якому бере участь конденсатор у системі охолодження з паровим компресійним циклом. У конденсаторі температура холодоагенту знижується від стану 2 (перегріта пара) до 3 (насичена рідина).

Ідеальний конденсатор конденсував би холодоагент за тієї ж температури навколишнього середовища, але він мав би бути настільки великим, що не був би практичним у жодному випадку. Високоєфективний конденсатор може конденсувати холодоагент приблизно на 8°C вище температури навколишнього середовища. Тиск на виході компресора, який працює з таким типом конденсатора, буде меншим, ніж у компресора з конденсатором нормальної ефективності. Це зниження тиску на виході означає, що система є більш ефективною, оскільки витрачається менше енергії для отримання тієї ж кількості охолодження. У деяких установках застосовують різницю температур з навколишнім середовищем приблизно 6°C , особливо в установках дуже низької температури.

Температура та тиск холодоагенту на стороні конденсатора залежать від середовища, яке служить як приймач. Можливо підтримувати нижчі температури в конденсаторі, якщо холодоагент охолоджується водою замість повітря, проте використання охолоджуючої води не має економічного обґрунтування, окрім великих промислових холодильних систем [14-17]. Існує інший спосіб конденсувати холодоагент, що застосовується переважно в холодильниках, морозильниках та інших побутових приладах, який називається статична конденсація (процес природної конвекції). Випаровувальний конденсатор компактного типу та забезпечує нижчі температури конденсації, ніж конденсатор з повітряним охолодженням та охолоджуваний водою. Ці

низькі температури конденсації допомагають економити енергію. Установки використовують осьові або відцентрові вентилятори, але перший переважає над другим. Використовуються пластини-захоплювачі крапель, щоб уникнути зайвого капання за межі обладнання. Містить систему поповнення води та піддон, який допомагає видаленню мінералів з води. Насос циркулює воду до розпилювальних пристроїв. На роботу випаровувального конденсатора впливають три змінні: потік повітря, потік води та температура вологості. Остання змінна залежить від умов навколишнього середовища на робочому місці (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики конденсатора

Тип	Повітряний конденсатор
Модель	GVH 090.5C/3-NL.M
Кількість	1
Холодоагент	R-404A
Температура повітря	30°C
Температура конденсації	35°C
Потужність	125 кВт
Потік повітря	93450 м³/год
Кількість вентиляторів	3
Діаметр вентилятора	900 мм

Розширювальний клапан – це елемент, який відповідає за контроль потоку холодоагенту, що надходить в випарник, залежно від кількості тепла, що міститься в перегрітому газі, який виходить з випарника в компресор, таким чином вирівнюється потік холодоагенту, що надходить з вихідним потоком (рис. 2.3). Серед функцій розширювальних клапанів є [10, 11]:

- регулює кількість холодоагенту, що надходить у випарник;
- відповідає за регулювання тиску на кінцях самого клапана;
- діє як точка переходу між високим і низьким тиском.

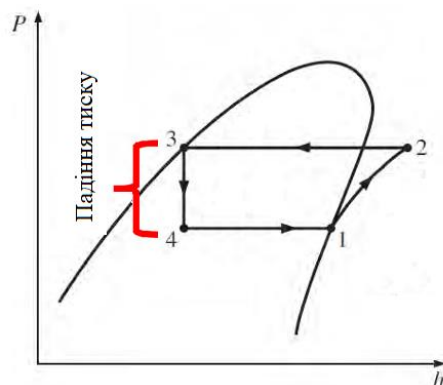


Рисунок 2.3 – Розширювальний клапан (падіння тиску на діаграмі P проти h)

У ідеальній схемі на рисунку 2.3 на діаграмі P проти h показано процес у

якому бере участь розширювальний клапан у системі охолодження з використанням стиску пари. У розширювальному клапані тиск холодоагенту зменшується від стану 3 (насичена рідина) до стану 4 (волога пара).

Більшість систем охолодження для збереження оснащені термостатичним розширювальним клапаном. Розширювальний клапан є пристроєм у системі охолодження, який відповідає за подачу випарнику достатньої та необхідної кількості холодоагенту, щоб він мав свою найвищу продуктивність, але також слід гарантувати, що на виході з випарника холодоагент буде повністю випарований, навіть з невеликим перегріванням [17]. Це означає, що частина випарника використовується для перегрівання газоподібного холодоагенту. Існує кілька типів клапанів, серед найпоширеніші є ручні клапани, капілярні, термостатичні розширювальні клапани та поплавкові клапани.

Циркуляція охолоджувача в рідкому стані контролюється за допомогою розширювального клапана або пристрою, який спричиняє різке падіння тиску на вході в випарник. У системах прямого розширення цей клапан випускає тонке поєднання рідини та пари з низьким тиском і температурою. Завдяки термодинамічним властивостям холодоагентів, падіння тиск пов'язаний зі зміною агрегатного стану і, насамперед, зі зниженням температури охолоджувача. Таким чином, випарник забирає чуттєве тепло у охолоджувача, що охолоджується і перетворює його на приховане тепло, яке переходить у газоподібний стан охолоджувача. Це приховане тепло буде виділятися в іншому теплообміннику холодильного комплексу з компресором, який називається конденсатором, де відбувається зворотна зміна агрегатного стану, тобто з газоподібного в рідкий стан.

У холодильних системах пристрій, який відповідає за поглинання теплового навантаження з простору, що охолоджується, є теплообмінником, відомим як випарник, через який циркулює холодоагент, що змінює свій стан з рідини на пару. Енергію, необхідну холодоагенту для переходу зі стану рідини в пару, забезпечують продукти, що охолоджуються та оточення випарника, таким чином досягається ефект охолодження. Оскільки випарник може бути будь-якою поверхнею, що використовується як засіб для передачі тепла від охолоджуваного простору або продукту до холодоагенту, випарники розробляються у великому різноманітті типів, потужностей та розмірів, які можна класифікувати різними способами.

Випарник діє як теплообмінник, через який протікає холодоагент, зазнаючи перетворення з рідкого стану в газоподібний. Під час зміни стану холодоагент набуває здатності поглинати акумульоване навколо випарника чуттєве тепло, тому газ, що виходить з випарника, має значно більшу внутрішню енергію завдяки збільшенню його ентальпії і таким чином відбувається процес охолодження [10, 11, 17]. У цьому обладнанні холодоагент поглинає тепло від середовища, що охолоджується, після чого потрапляє в компресор для повторної циркуляції в системі охолодження. На рисунку 2.4 показано випарник сухого розширення, який зазвичай використовується в холодильних циклах.

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

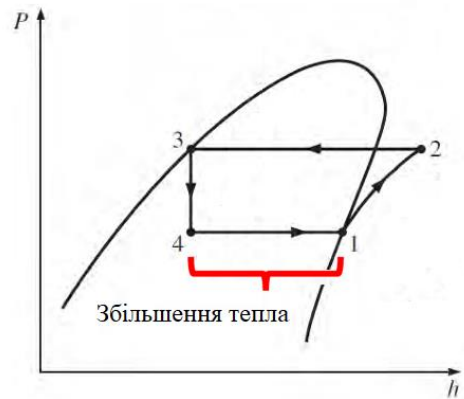


Рисунок 2.4 – Випарник (приріст тепла на діаграмі P проти h)

На ідеальній діаграмі на рисунку 2.4 на діаграмі P проти h показано процес в якому бере участь випарник у системі холодопостачання з паровим стисненням. У випарнику температура холодоагенту підвищується від стану 4 (волога пара) до 1 (насичена пара).

Для правильного вибору випарника виробник надає такі фізичні та експлуатаційні характеристики [17, 24]:

- холодопродуктивність, яка відповідає кількості тепла, яке можна видалити з простору для охолодження за годину роботи;
- тепловий перепад, який відповідає різниці температур між температурою повітря, що надходить в випарник і температурою випаровування холодоагенту;
- температура випаровування – це температура, при якій холодоагент випаровується під час циркуляції через випарник;
- встановлення вентиляторів для забезпечення більшої циркуляції та розподілу повітря через випарник, всередині охолоджуваного простору та між збереженими продуктами. Ця циркуляція повітря здійснюється двома способами: за допомогою примусової конвекції вентиляторів (центробіжних або осьових) та природної конвекції (через різницю щільності повітря). Таким чином, коли це необхідно, вказується кількість вентиляторів у випарнику, об'ємний потік повітря, діаметр та відстань, на яку досягає потік повітря.

Кожен виробник випарників чітко визначає тепловий перепад, який можна отримати за допомогою кожного з його випарників відповідно до його умов проектування та експлуатації. Ця різниця температур є важливою для створення температурних та відносно-вологісних умов, необхідних для зберігання продукту, оскільки відповідно до властивостей повітря на психрометричній діаграмі, чим холодніше повітря, тим менше водяної пари воно може вмістити [17]. Камери, призначені для охолодження продуктів, які потребують високого рівня вологості в навколишньому середовищі, таких як фрукти та овочі, повинні бути обладнані випарниками, що працюють з невеликим тепловими перепадами, що передбачає більшу площу теплопередачі випарника для задоволення передачі тепла. З іншого боку, слід враховувати, що для визначення температури при якій має працювати випарник і забезпечувати передачу тепла з відповідною швидкістю, необхідно підтримувати різницю

температур від 5 до 10°C між холодоагентом і середовищем з яким він обмінюється теплом.

Оскільки продукт повинен залишатися в замкненому та термічно ізолюваному приміщенні для зниження його температури та підтримки в кінцевій точці заморожування не дозволятиметься ні вхід, ні вихід повітря з холодильної камери, а тип випарника, що використовується буде з примусовою конвекцією [10]. Напрямок повітря має бути таким, щоб воно спрямовувалося туди, де може відбуватися приріст тепла, щоб охолоджувати приміщення і, насамперед, продукт, крім того, їх не слід розміщувати перед дверима або отворами, що можуть спричинити потрапляння стороннього повітря в холодильну камеру. Через те, що продукт повинен залишатися у закритому та термічно ізолюваному приміщенні, щоб знизити його температуру та підтримувати на кінцевій точці заморожування, не буде дозволено ні вхід, ні вихід повітря і тип випарника, який буде використовуватися, буде з примусовою конвекцією. Напрямок повітря має бути таким, щоб воно рухалося до тих місць, де може відбуватися надходження теплоти, щоб охолоджувати повітряне середовище і головним чином продукт; також їх не слід розміщувати навпроти дверей або отворів, що можуть спричинити надходження повітря ззовні тунелю заморожування [10]. Через довжину групи стелажів, що присутні ($L=8,9$ м) в холодильній камері будуть використані два випарні серпантинні теплообмінники, кожен з тією ж холодопродуктивністю, але що дорівнює половині загальної необхідної потужності. З іншого боку, оскільки ще не було враховано навантаження на вентиляційні двигуни, будуть розглядатися випарники з більшою потужністю.

Система охолодження є основним елементом холодильної системи і складається з кількох компонентів, включає компресор, конденсатор, випарник і розширювальний клапан. Разом ці компоненти працюють над зниженням температури повітря всередині камери та підтриманням постійної температури. Ізоляційні панелі, які формують стіни, стелі та підлоги холодильної камери виготовлені з матеріалів високої щільності, що допомагають підтримувати бажану температуру з мінімальною передачею тепла. Двері морозильної камери спеціально розроблені для підтримання внутрішньої температури та запобігання витоку тепла. Контролери та датчики є пристроями, які контролюють і регулюють температуру всередині морозильної камери.

Вибір охолоджувача є критичним аспектом у розрахунку та проектуванні систем охолодження та холодильних камер, оскільки він безпосередньо впливає на їх продуктивність та вплив на довкілля. Коли обирають охолоджувач, важливо враховувати кілька ключових факторів [13]:

- потужність охолодження: охолоджувач повинен мати здатність ефективно видаляти тепло з простору, що охолоджується. Потужність охолодження охолоджувача виражається через його теплоємність та коефіцієнт теплопередачі;

- енергоефективність: вибір холодоагенту може значно вплинути на енергоефективність системи. Деякі холодоагенти мають більший потенціал виснаження озонового шару та більший потенціал глобального потепління, що

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

може негативно впливати на довкілля. Важливо обирати природні холодоагенти, щоб мінімізувати вплив на довкілля;

- температура випаровування та конденсації: діапазон температур випаровування та конденсації холодоагенту повинен відповідати вимогам температури холодильної камери. Деякі холодоагенти більш придатні для низьких температур (заморожування), тоді як інші більше підходять для вищих температур (охолодження);

- стабільність і сумісність: холодоагент повинен бути хімічно стабільним і сумісним з матеріалами системи охолодження, включаючи компоненти, такі як компресори, випарники, конденсатори та трубопроводи. Слід уникати охолоджувачів, які можуть спричинити корозію або пошкодження компонентів системи.

Хороший охолоджуючий агент повинен мати кілька властивостей, яких, на жаль, не всі можна задовольнити одночасно. До сьогодні ще не вдалося створити «ідеальний» охолоджуючий агент. Стає очевидним, що чим більше природа охолоджуючого агента такі, що температури та тиск конденсації наближаються до умов навколишнього середовища, тим менше енергії нам знадобиться для його стиснення і охолодження, і тим менший буде показник споживання на одиницю холодильного обладнання [17]. Водночас, якщо різниця його прихованої теплоти (щодо навколишнього середовища) була достатньо велика для здійснення теплопередачі, нам знадобиться менша кількість охолоджуючого агента для виконання роботи і, відповідно, менше стиснення. Обидві властивості є першочерговими для споживання енергії. Додаються інші властивості, притаманні хімічній природі охолоджуючого агента, які забезпечують можливість виконувати холодильну роботу з більшою або меншою ефективністю.

Системи охолодження проєктуються та налаштовуються з метою зниження температури в приміщенні відносно температури навколишнього середовища та підтримки цієї температури протягом невизначеного часу. Залежно від потрібної температури, системи охолодження зазвичай працюють за принципом термодинамічних циклів охолодження шляхом компресії та абсорбції. Існують два основні варіанти: компактне холодильне обладнання та роздільні або напівкомпактні системи охолодження. Компактне холодильне обладнання, також відоме як моноблоки є інтегрованими системами, які включають двигун і вихід повітря в одному корпусі. Залежно від моделі їх можна розміщувати у трьох різних місцях [13]:

- моноблок на стіну встановлюється безпосередньо на стіну, можна вибирати місце розташування відповідно до потреб. Зазвичай його розміщують на передній частині камери та біля дверей. Деякі моделі навіть можуть працювати з дистанційним керуванням;

- моноблок на стелі розташовуються на стелі камери і також можуть працювати з дистанційним керуванням. Вимагають мінімального простору від 50 до 100 см між камерою та стелею приміщення;

- моноблок двері встановлюються безпосередньо над дверима. У деяких випадках може використовуватися повітряна завіса для запобігання втраті

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

температури при входах і виходах із камери.

Системи охолодження типу спліт або напівкомпактні складаються з конденсаторного блоку (двигуна) та низькопрофільного випарного блоку (спліт або повітряний вихід). Встановлення цих систем є більш складним, оскільки потребує прокладки каналів від конденсатора до спліту. Стандартне холодильне обладнання – системи забезпечують вирівнювання температури всередині камери за допомогою потужної вентиляції [13]:

- напівстатичні охолоджувальні установки – тип системи, який має меншу потужність вентиляції, що допомагає зберігати вологу та запобігає висиханню таких продуктів, як м'ясо;

- обладнання для охолодження з високою вологістю – системи дозволяють підтримувати високий рівень вологості всередині камери, зберігаючи свіжість таких продуктів, як фрукти, овочі, квіти та рослини. Вони можуть досягати діапазону вологості 65-95% і спеціально розроблені для бізнесів, таких як квіткові магазини, фруктові та овочеві крамниці.

Циркуляція повітря всередині холодильної камери є важливим параметром для забезпечення рівномірної температури у всьому просторі зберігання, що включає стратегічне розміщення вентиляторів, які відповідають за пропуск повітря через систему охолодження. Крім того, встановлюють решітки для входу та виходу повітря, щоб забезпечити правильну циркуляцію та розподіл потоку [13]. Ключовим аспектом є визначення швидкості повітряного потоку. Швидкість вибирається залежно від типу збереженого продукту та вимог до його збереження. Наприклад, деякі продукти, чутливі до холоду, можуть вимагати нижчої швидкості, щоб уникнути висихання або псування, тоді як інші продукти можуть витримувати більш високу швидкість. Під час процесу встановлення вентиляторів враховуються такі фактори, як розмір і геометрія холодильної камери, розташування полиць або стелажів для зберігання, а також розподіл теплового навантаження, що виникає від збережених продуктів.

Належна циркуляція повітря забезпечує не лише рівномірну температуру, але й сприяє енергоефективності системи охолодження. Добре спроектований потік повітря мінімізує зони застою і забезпечує надходження холодного повітря у всі куточки камери, таким чином оптимізуючи збереження температури та зменшуючи навантаження на охолоджувальне обладнання. Визначення розмірів циркуляції повітря в холодильній камері передбачає розрахунок необхідної потужності, визначення розташування вентиляторів і повітряних решіток, а також встановлення відповідної швидкості потоку. Це забезпечує рівномірну температуру по всій зоні зберігання, створюючи оптимальні умови для збереження продуктів та енергоефективності системи охолодження.

Система вентиляції буде відповідальна за збільшення потоку повітря, який надходить у випарні змішувачі, і як результат, буде збільшено конвективний коефіцієнт повітря, що рухається від змішувачів до лотків, які містять сировину, підвищуючи теплопередачу у продукті. Беручи до уваги висоту та довжину стелажів для лотків, а також змішувачів, пропонується

розташувати 2 рівні вентиляторів на конструкції. Метою конструкції є розташування вентиляторів у точці, що гарантує, що потік повітря матиме необхідний напрямок до продукту, таким чином забезпечуючи більш ефективну теплопередачу (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Параметри роботи вентиляційних двигунів

Характеристика	Значення	
Потужність	3,6 кВт	
Частота	60 Гц	
Швидкість обертання	1720 об/хв	
Холостий хід	3.49 - 3.34 А	
Номінальна напруга	440 - 460 В	
Пусковий струм	47,5 - 45,5 А	

Теплопровідність – це процес за якого тепло передається через твердий матеріал. У холодильній камері це відбувається через стіни та підлогу, проте її вважають незначною. Для зменшення теплопровідності використовують ізоляційні матеріали, такі як поліуретан або спінений полістирол у стінах і стелях камери. Конвекція передбачає рух рідини (наприклад, повітря) для передачі тепла. У холодильній камері [22]:

– природна конвекція – це коли: холодне, більш щільне повітря має тенденцію опускатися, тоді як тепле повітря піднімається, створюючи конвекційний потік;

– примусова конвекція використовується вентилятор для нагнітання повітря в камеру та рівномірного розподілу температури.

Радіація – це спосіб передачі тепла через електромагнітні хвилі (наприклад, світло від освітлювальних приладів). У холодильній камері це відбувається між поверхнями та зберіганими продуктами: гарячіші поверхні випромінюють радіацію до холодніших.

2.2. Теплове навантаження в холодильній камері

Теплове навантаження – це кількість тепла, яку необхідно видалити з метою підтримки бажаної температури в холодильній камері, щоб зберегти продукт у оптимальних умовах. Теплові навантаження, що враховуються у холодильній камері, включають: надходження тепла через стіни, надходження тепла через вентиляцію, нагрівання через електричне обладнання, нагрівання через продукт [11, 13, 18]. Теплові навантаження – загальне навантаження холодильної камери, а саме загальна кількість теплоти, що повинні бути вилучена з метою підтримання бажаної температури. Точний розрахунок теплового навантаження відіграє ключову роль при визначенні точної кількості тепла, яке має бути видалене з холодильної камери. Коли йдеться про заморожування або зберігання продуктів за температур нижчих за їхню температуру замерзання, теплове навантаження продукту розкладається на три основні компоненти:

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Компонент 1. Тепло, виділене при охолодженні – компонент відображає теплову енергію, віддану продуктом при зниженні його температури від початкової до досягнення бажаної температури заморожування.

Компонент 2. Теплота, що виділяється під час затвердіння – розглядається теплова енергія, що виділяється продуктом під час процесу затвердіння або заморожування, коли він переходить із рідкого стану в твердий.

Компонент 3. Теплота, що виділяється при досягненні кінцевої температури зберігання – цей компонент охоплює теплову енергію, що виділяється продуктом під час охолодження від його температури заморожування до досягнення кінцевої температури зберігання.

Теплове навантаження, яке потрібно видалити для підтримання температури всередині холодильної камери є сумою факторів, що викликають надходження тепла або втрату холоду: через стіни, стелю та підлогу, зовнішнє повітря, освітлювальні елементи, людей і, нарешті, тепло, що виділяється механічним обладнанням. Теплове навантаження від надходжень тепла через стіни залежить від трьох факторів:

- загальна зовнішня площа холодильної камери;
- використаний ізоляційний матеріал;
- різниця температур між зовнішнім середовищем, де встановлена холодильна камера, та робочою температурою всередині. Чим більша загальна зовнішня площа тим більше тепла потрібно видаляти, якщо ізоляція товстіша, тим меншими будуть надходження тепла через неї.

Через стіни, стелю та підлогу [11, 18]

$$Qt1 = S * k * (Te - Ti) * 24h$$

$$Qt1 = 126,09 \text{ m}^2 * 0,235 \text{ W/h m}^2\text{°C} * (22 \text{ °C} - (-20 \text{ °C})) * 24 \text{ h}$$

$$Qt1 = 29\,868,20 \text{ W}$$

Кількість тепла, що потрапляє в холодильну камеру, залежить від кількох факторів, таких як різниця температур між внутрішньою і зовнішньою стороною, площа дверей, кількість разів, коли відкривали двері, та проникність будівельного матеріалу. Навантаження через обмін повітря [11, 18-20]

$$Qt3 = V * (\Delta h)n$$

$$Qt3 = 79,38 \text{ m}^3 * (10,70 \text{ W/m}^3) * 12,10$$

$$Qt3 = 10\,277,33 \text{ W}$$

Людське теплове навантаження стосується кількості тепла, яку виробляють люди всередині закритого приміщення – це теплова навантаження є результатом метаболічної активності присутніх, які виробляють тепло як побічний продукт. Чим більше людей знаходиться в приміщенні і чим активніші вони, тим більша буде теплова навантаження. Навантаження за кількістю осіб передбачається максимальна кількість 4 осіб одночасно всередині камери протягом 2 годин.

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$Qt4 = q * n * t$$

$$Qt4 = 3\,120,00\,W$$

Збільшення тепла через електричне обладнання стосується тепла, що виділяється цими пристроями. Щоб розрахувати це теплове навантаження, слід визначити номінальну електричну потужність кожного обладнання і помножити її на коефіцієнт перетворення, який представляє частку електричної потужності, що перетворюється на тепло замість виконання корисної роботи. Навантаження на освітлення вибирається в залежності від розміру приміщення (26,46 м²) передбачається використання 5 світильників промислового типу, кожен з яких має 2 лампи по 100 Вт, також на максимальний час роботи 2 години.

$$Qt5 = P * t$$

$$Qt5 = 10 * 100\,W * 2\,h$$

$$Qt5 = 2\,000,00\,W$$

Прибуток тепла від продукту при зберіганні продуктів при низьких температурах, необхідно знати такі фактори [11, 18-20]:

- кількість кілограмів продукту, що надходить щоденно в камеру;
- різницю температури продукту при вході і внутрішньої температури;
- питому теплоту продукту, який охолоджуватиметься;
- час, протягом якого продукт охолоджуватиметься.

$$Qt6 = (Te - Ti) * m * Ce$$

$$Qt6 = (22\,^{\circ}C - (-20\,^{\circ}C)) * 2\,000\,kg * 3,3\,Kj/kg * ^{\circ}C * 0,278\,W/kj$$

$$Qt6 = 77\,061,60\,W$$

Було враховано кількість пересувних візків, що містять фрукти вагою 10 кілограмів.

$$Qt7 = 0,879\,Kj/kg * ^{\circ}C * 0,278\,W/kj * 10\,kg * (22\,^{\circ}C - (-20\,^{\circ}C)) * 16$$

$$Qt7 = 1\,642,11\,W$$

Було враховано 1 вентилятор, включений на 15 годин на день. Враховуючи потужність 1 150 Вт

$$Qt8 = 1 * 400 * 15$$

$$Qt8 = 1\,758,43\,W$$

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Загальне навантаження відповідає сумі часткових навантажень

$$Q_t = 125\,727,67\text{ W}$$

Процес проектування та визначення розмірів холодильних камер зазвичай включає наступні етапи [13]:

- визначення бажаної температури для камери (охолодження або заморожування), необхідної ємності для зберігання, типів продуктів для зберігання, частоти завантаження та розвантаження, а також будь-яких інших специфічних вимог;

- розрахунок теплового навантаження: виконується розрахунок теплового навантаження холодильної камери, який визначає кількість тепла, що повинно бути видалено для підтримки внутрішньої температури. Цей розрахунок враховує такі фактори, як теплопровідність матеріалів, втрати тепла через стіни, двері, стелю та підлогу, теплове навантаження через завантаження та розвантаження продукції;

- вибір системи охолодження: після розрахунку теплового навантаження вибирається відповідна система охолодження, яка може задовольнити вимоги щодо температури та потужності, що передбачає вибір типу системи (компресійна, абсорбційна тощо), розмір і потужність компресора, випарника, конденсатора та інших компонентів системи;

- конструктивне проектування холодильної камери, враховуючи розмір, форму та необхідне внутрішнє розташування: визначається тип ізоляційних панелей та їх товщина, а також будівельні матеріали, щоб забезпечити належну теплову ізоляцію;

- система герметизації: розраховуються розміри дверей холодильної камери та обираються ефективні системи герметизації, щоб уникнути проникнення теплого повітря. Враховуються розмір, морозостійкість та герметичність дверей;

- система контролю: розробляється система контролю температури та нагляду за холодильним приміщенням, що може включати вибір та налаштування температурних сенсорів, термостатів, електронних контролерів та сигналізаційних систем;

- вентиляція та розподіл повітря: розробляються системи вентиляції та розподілу повітря для забезпечення належної циркуляції холоду у всьому приміщенні та уникнення зон з нерівномірною температурою;

- освітлення: визначається тип та розташування внутрішнього освітлення, забезпечуючи відповідність нормам безпеки та енергоефективності.

Оцінка необхідних розмірів холодильної камери ґрунтувалася на кількості продукту для зберігання, розташуванні елементів, що забезпечують утримання та просторі, необхідному для його обробки. У роботі зазначено кількість 2000 кг фруктів, яка зберігатиметься в підносах, а підноси – у мобільних візках. Виходячи з цього, було оцінено необхідну площу для зберігання на основі наступних висновків (табл. 2.4). До вищезазначеного додано простори для переміщення персоналу, відстань 60 сантиметрів від стін, а також округлено розміри з будівельною метою, що призвело до розташування із загальною площею 26,46 м² та загальним об'ємом 79,38 м³.

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Оцінка необхідної площі для зберігання

Параметр	Характеристика	Значення
Розміри підноса	Висота	0,07 м
	Ширина	0,3 м
	Довжина	0,5 м
	Об'єм	0,0105 м ³
Характеристика сировини	Щільність	330 кг/м ³
	Кількість	2000 кг
Кількість необхідних лотків	Необхідний об'єм	6,05 м ³
	Кількість піддонів	П'ятсот сімдесят шість
Лотки для мобільного візка	Ряди	9
	Колонки	4
	Всього	36

2.3 Контроль температури в холодильній камері

Промислові холодильні камери є критичним компонентом у ланцюзі постачання швидкопсувних продуктів, де точність контролю температури та вологості є необхідною для забезпечення якості та безпеки продукту. Автоматичне керування цими камерами стало стандартом у промисловості, дозволяючи ефективно та надійно управляти умовами навколишнього середовища. Автоматичне керування промисловою холодильною камерою базується на безперервному зворотному зв'язку даних, отриманих через стратегічно розташовані датчики, які контролюють такі змінні, як температура, вологість та тиск. Ці дані обробляються програмованим логічним контролером, який регулює виконавчі механізми для підтримання бажаних умов у камері. Метою контролю температури в холодильній камері є підтримання температури в межах бажаних значень та уникнення значних коливань. Насамперед обирають надійні та точні температурні сенсори, які постійно контролюють температуру всередині камери [22, 23]. Цими сенсорами можуть бути термістори, термопари або інші прилади для вимірювання температури. Стратегічне розташування сенсорів є ключовим для забезпечення точного вимірювання температури в різних точках холодильного приміщення. Крім того, встановлюють термостати та електронні контролери для регулювання роботи системи охолодження та підтримання температури в бажаному діапазоні. Пристрої дозволяють встановлювати температурні межі та задавати параметри управління для роботи холодильного обладнання.

Важливо враховувати стратегічне розташування датчиків температури для отримання правильних вимірювань. Їх розміщують у ключових зонах камери, наприклад, біля дверей, у точці повернення повітря або у місцях, де температура може значно змінюватися, що дозволяє системі керування швидко виявляти та виправляти будь-які відхилення від заданої температури. Мета визначення розмірів системи контролю температури полягає в тому, щоб забезпечити підтримання температури всередині холодильного приміщення в межах бажаних значень, створюючи оптимальні умови для збереження

продуктів. Точний і стабільний контроль допомагає запобігти значним коливанням, які можуть вплинути на якість і термін придатності продуктів.

Контроль температури в холодильнику є критично важливим для збереження сировини свіжістю та безпекою. Контроль температури в холодильній камері досягається лише за допомогою термостата, де досягається температура сигналу при якій включається компресор і вступає в дію термостат. Процес починається з термостата, який виконує роль мозку системи охолодження. Його основна функція – постійно контролювати внутрішню температуру пристрою та підтримувати її в оптимальному діапазоні. Коли температура всередині холодильника перевищує встановлений рівень, термостат надсилає сигнал для активації компресора [22, 23]. Цей компонент відповідає за циркуляцію холодоагенту по системі, поглинання тепла та охолодження повітря всередині відсіку. Як тільки датчик виявляє досягнення бажаної температури, термостат вимикає компресор, щоб запобігти переохолодженню. Цей цикл увімкнення/вимкнення компресора повторюється за потреби, забезпечуючи контрольоване середовище, що продовжує термін зберігання продуктів. Завдяки цій технології холодильники можуть забезпечувати ефективну та надійну роботу, зберігаючи свіжість і якість збережених продуктів.

Регулювання температури в холодильнику здійснюється за допомогою системи керування, яка поєднує кілька важливих компонентів. По-перше, внутрішній термометр безперервно вимірює температуру простору, передаючи цю інформацію контролеру, який обробляє дані. Коли температура перевищує встановлений поріг, контролер активує компресор, який охолоджує холодоагент і знижує внутрішню температуру. Цей процес повторюється циклічно, забезпечуючи оптимальне середовище для збереження продуктів харчування в холодильнику. Крім того, користувачі можуть регулювати бажану температуру за допомогою термостата, який дозволяє налаштовувати параметри.

Автоматичні керування використовуються для оптимізації роботи холодної системи за будь-яких умов експлуатації та підтримки продуктів у хорошому стані протягом тривалого часу. Пристрої керування та безпеки, такі як термостатичні розширювальні клапани, електромагнітні клапани, контролю тиску та температури тощо, використовуються з наступними цілями:

- оптимізувати роботу випарника;
- контролювати температуру камери;
- контролювати вентилятори та насос конденсатора;
- розморожувати труби випарника.

Основні контрольні пристрої в холодильній камері [22, 23]:

Електромагнітний клапан – пристрій, який приводиться в дію електричними імпульсами. Основна його функція полягає у контролі проходження холодоагенту шляхом відкриття та закриття клапана. Існують дві конфігурації електромагнітних клапанів: зазвичай відкритий та зазвичай закритий. У першому випадку клапан повинен отримати сигнал, щоб перекрити проходження холодоагенту, з іншого боку, у другому випадку клапан повинен

отримати сигнал, щоб дозволити проходження холодоагенту через контур. Підключення цих клапанів може бути зварним або різьбовим.

Регулятор тиску – це клапан, який контролює характеристику системи. Існують чотири типи регуляторів тиску: для контролю тиску випарника, для контролю тиску в картері компресора, для контролю відведення гарячого газу, для контролю тиску викиду конденсатора. Найбільш використовуваний регулюючий клапан тиску – для контролю тиску випарника. Клапан контролює постійний всмоктувальний тиск під час запуску та роботи системи.

Зворотний клапан також відомі під назвами клапан перевірки та зворотний клапан. Клапани призначені для повного перекриття проходу холодоагенту, будь то в газоподібному, рідкому стані або обох, в одному напрямку і для вільного проходу в протилежному напрямку.

Запірний клапан встановлюються в різних зонах холодильного контуру з метою полегшення обслуговування компонентів цього контуру. Вони виконують функцію перекривання проходу холодоагенту (увімк./вимк.).

Термостат – пристрої, що використовуються для підтримання температури всередині охолоджуваного приміщення шляхом увімкнення електричного кола, яке залежить від зміни температури охолоджуваного приміщення.

Пресостат – пристрій, який вимірює тиск всередині системи, який відкриває або закриває електричний ланцюг для активації або деактивації якого-небудь електричного елемента. У холодильній техніці пресостати використовуються для захисту компресора від збоїв системи, які можуть спричинити низький або високий тиск. Існують три типи пресостатів: високого, низького і подвійного тиску. Пресостат низького тиску налаштований так, щоб при низькому тиску відкривати свої контакти і перешкоджати запуску компресора, поки тиск не відновиться. Аналогічно, пресостати високого тиску налаштовані так, щоб при високому тиску відкривати свої контакти і перешкоджати запуску компресора, поки тиск не встановиться на початковому рівні. Нарешті, існує подвійний пресостат, який поєднує функції високого та низького тиску в одному пристрої.

Сушильний фільтр також називаються осушувальними фільтрами, це пристрої, які використовуються головним чином для видалення надлишкової вологи, що міститься в суміші холодоагент – олія, як у паровому, так і у рідкому стані. Осушувач дуже пористий, тому має велику поверхню, відкриту для потоку. У системах охолодження з насосом сушильні фільтри встановлюються на лінії конденсованої рідини.

Масловідокремлювач – у процесі стиснення частинки мастильного масла змішуються з холодоагентом, що призводить до втрати ефективності компресора; оскільки холодоагент має варіації у складі, що призводить до зміни його властивостей. Ці варіації спричиняють зниження холодопотужності системи; з цієї причини використовується масловідокремлювач у лінії викиду компресора. Цей пристрій виконує функцію повернення масла до компресора, запобігаючи передачу цього самого іншим компонентам системи охолодження (конденсатори, баки, випарники тощо).

					ННІЕТ КНУ.142.ЗЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

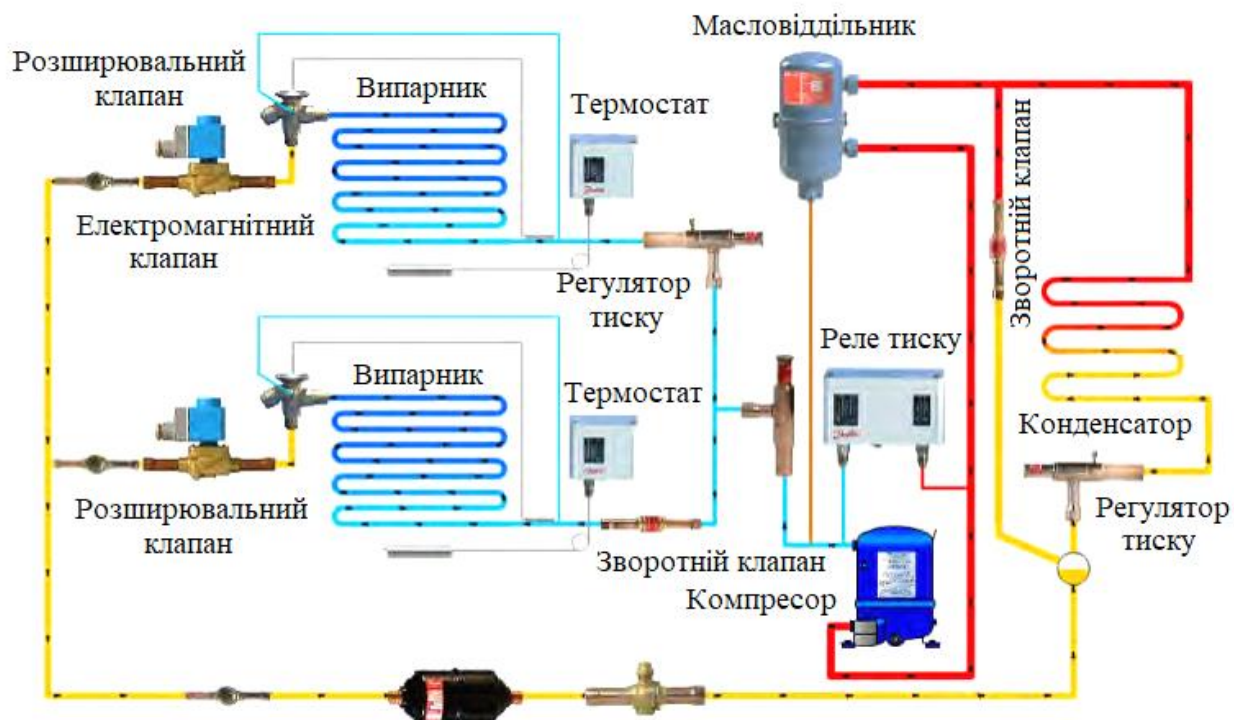


Рисунок 2.5 – Схема системи охолодження з компресійним циклом

Основні компоненти системи: компресор, масловіддільювач, конденсатор, приймальний бак, термостатичний розширювальний клапан, випарники, насоси, клапани та аксесуари для контролю та безпеки. Компресор всмоктує холодоагент у газоподібному стані (насичена пара) з резервуара рециркуляції (або сепаратора). Потім цей холодоагент у стані насиченої пари проходить через компресор, який стискає холодоагент, отримуючи перегріту пару (високий тиск і висока температура). Після цього перегріта пара проходить через конденсатор, який має функцію зменшення температури холодоагенту, що виходить з компресора, при постійному тиску (високий тиск і низька температура). Цей холодоагент у стані насиченої рідини зберігається в резервуарі, який називається приймальником. Далі холодоагент у стані насиченої рідини проходить через термостатичний розширювальний клапан, утворюючи холодоагент у стані стисненої рідини (низька температура і низький тиск). Далі холодоагент у стані стисненої рідини, який зберігається в резервуарі-сепараторі, перекачується до випарників, які за допомогою теплообміну з середовищем, що охолоджується, перетворюють холодоагент у насичену пару.

На основі вище зазначеного можна вважати, що оскільки охолодження є процесом, який широко використовується в харчовій промисловості з метою забезпечення якості та безпечності виробленої продукції, цей процес значно споживає енергетичні ресурси через деякі несправності та невідповідності, і саме тут слід впроваджувати методи, які дозволяють значну економію, але в межах встановлених параметрів ефективності обладнання та машин.

Система охолодження є основним елементом холодильної системи і складається з кількох компонентів, включає компресор, конденсатор, випарник

і розширювальний клапан. Разом ці компоненти працюють над зниженням температури повітря всередині камери та підтриманням постійної температури. На основі розрахунків було обрано основні компоненти системи охолодження. Компресор всмоктує холодоагент у газоподібному стані (насичена пара) з резервуара рециркуляції (або сепаратора). Потім цей холодоагент у стані насиченої пари проходить через компресор, який стискає холодоагент, отримуючи перегріту пару (високий тиск і висока температура). Після цього перегріта пара проходить через конденсатор, який має функцію зменшення температури холодоагенту, що виходить з компресора, при постійному тиску (високий тиск і низька температура). Далі холодоагент у стані насиченої рідини проходить через термостатичний розширювальний клапан, утворюючи холодоагент у стані стисненої рідини (низька температура і низький тиск). Основні компоненти системи: компресор, масловідділювач, конденсатор, термостатичний розширювальний клапан, випарники, насоси, клапани та аксесуари для контролю та безпеки.

Здійснено проєктування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів з метою визначення розмірів камери, аналізу теплових навантажень та вибору кінцевих компонентів для її роботи. Результатом стала камера об'ємом 79,38 м³ з поліуретановою ізоляцією в якій фрукти зберігаються у лотках, які розташовуються на мобільних візках. Встановлено, що найбільший вплив на теплове навантаження має різниця між температурою навколишнього середовища та температурою замерзання плодів, яку можна оптимізувати за допомогою попередньої обробки. Холодильна камера з примусовою конвекцією, де використовується вентилятор для нагнітання повітря в камеру та рівномірного розподілу температури (від 0°C і -10°C).

Система вентиляції буде відповідальна за збільшення потоку повітря, який надходить у випарні змішувачі, і як результат, буде збільшено конвективний коефіцієнт повітря, що рухається від змішувачів до лотків, які містять сировину, підвищуючи теплопередачу у продукті. Беручи до уваги висоту та довжину стелажів для лотків, а також змішувачів, пропонується розташувати 2 рівні вентиляторів на конструкції. Метою конструкції є розташування вентиляторів у точці, що гарантує, що потік повітря матиме необхідний напрямок до продукту, таким чином забезпечуючи більш ефективну теплопередачу.

Зазначено, що контроль температури в холодильній камері є критично важливим для збереження сировини свіжістю та безпекою. Метою контролю температури в холодильній камері є підтримання температури в межах бажаних значень та уникнення значних коливань. Важливо враховувати стратегічне розташування датчиків температури для отримання правильних вимірювань. Запропоновано удосконалену схему системи охолодження з компресійним циклом. Запропонована система контролю температури полягає в тому, щоб забезпечити підтримання температури всередині холодильного приміщення в межах бажаних значень, створюючи оптимальні умови для збереження продуктів. Точний і стабільний контроль допомагає запобігти значним коливанням, які можуть вплинути на якість і термін придатності продуктів.

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Моделювання холодильної камери

Охолоджувальні системи є основними у сучасному житті, оскільки дозволяють контролювати та підтримувати низькі температури в різних середовищах та для різних продуктів. Системи використовують термодинамічні принципи для видалення теплоти з однієї області та перенесення її до іншої, таким чином зберігаючи продукти харчування, ліки та інші температурно чутливі продукти. Охолодження відіграє важливу роль у промислових та технологічних процесах, таких як збереження продуктів харчування. Цикл охолодження в холодильній камері повторюється безперервно, щоб підтримувати бажану внутрішню температуру і забезпечувати збереження продукту. Цей цикл включає чотири основні компоненти: компресор, конденсатор, клапан розширення та випарник.

Холодильна камера – це спеціалізована система, яка призначена для підтримки постійної низької температури всередині, що є фундаментальним для збереження продуктів, чутливих до тепла, таких як швидкопсувні продукти. Для досягнення цієї мети холодильна камера має різні основні компоненти, які виконують ключові функції у її роботі. Компоненти системи охолодження. Холодильні камери з температурою нижче 10°C використовуються для охолодження та заморожування швидкопсувних продуктів.

Система охолодження є основним елементом холодильної системи і складається з кількох компонентів, включає компресор, конденсатор, випарник і розширювальний клапан. Разом ці компоненти працюють над зниженням температури повітря всередині камери та підтриманням постійної температури. Ізоляційні панелі, які формують стіни, стелі та підлоги холодильної камери виготовлені з матеріалів високої щільності, що допомагають підтримувати бажану температуру з мінімальною передачею тепла. Двері морозильної камери спеціально розроблені для підтримання внутрішньої температури та запобігання витоку тепла. Контролери та датчики є пристроями, які контролюють і регулюють температуру всередині морозильної камери.

Компресор вважається серцем системи, що виконує життєво важливу функцію підвищення тиску холодоагенту, що полегшує його рух через систему. Під час стиснення газоподібного холодоагенту компресор не тільки збільшує його тиск, але й його температуру, готуючи його до передачі тепла, яка відбувається на наступних етапах [22]. У компресорі відбувається адіабатичний процес. Конденсатор – компонент виступає як точка віддачі тепла для холодоагенту, який був стиснутий і нагрітий компресором. Проходячи через конденсатор, холодоагент віддає поглинуте тепло навколишньому середовищу,

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів				Літ.	Арк.	Аркуші		
Розроб.		Кравцов										42	2
Перевір.		Омельченко											
Н. Контр.		Омельченко											
Затверд.		Омельченко			ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО								

конденсуючись з газу у рідину. Цей процес є ключовим для відведення тепла та ефективного продовження циклу охолодження. У конденсаторі відбувається ізобаричний процес, тобто тиск залишається постійним.

Розширювальний клапан точно регулює потік рідкого холодоагенту до випарника. Цей елемент є необхідним для контролю кількості холодоагенту, що надходить до випарника, забезпечуючи ефективне проведення процесу поглинання тепла. У розширювальному клапані відбувається ізоентальпійний процес. Випарник розташований безпосередньо після розширювального клапана, випарник є місцем, де холодоагент, вже в стані низького тиску та температури через розширення, поглинає тепло із середовища. Цей процес призводить до охолодження бажаного простору, будь то повітря або навколишня рідина. Так само, як у конденсаторі, у випарнику відбувається ізобаричний процес.

У роботі на основі обраної системи охолодження, яка включає основні елементи, а саме компресор, конденсатор, випарник і розширювальний клапан було здійснено моделювання холодильної камери з примусовою конвекцією з використанням вентиляторів для нагнітання повітря в камеру та рівномірного розподілу температури (рис. 3.1).

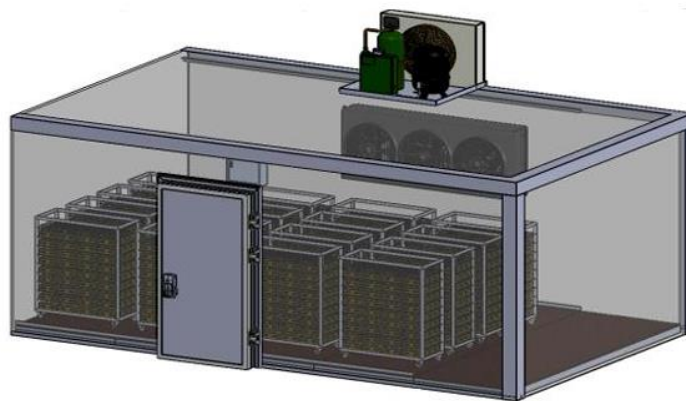


Рисунок 3.1 – 3D-модель холодильної камери

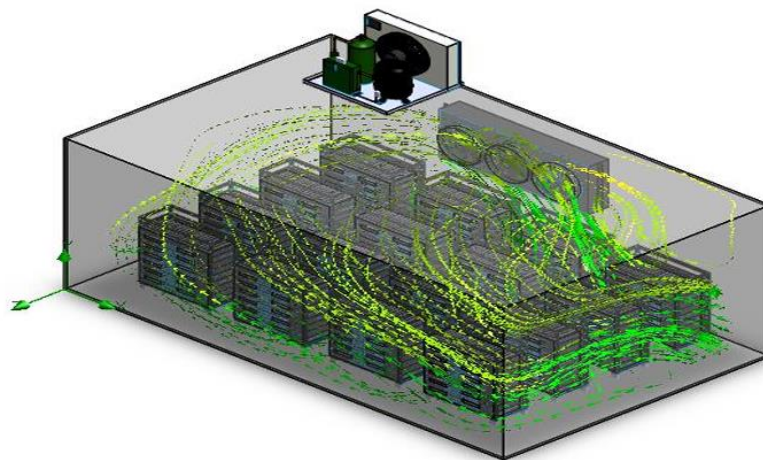


Рисунок 3.2 – Моделювання потоку повітря в холодильній камері

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена проектуванню холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів. У роботі зазначено, що на даний час харчова промисловість відіграє вирішальну роль у розвитку суспільства, де охолодження та заморожування харчових продуктів має на меті головним чином підтримання якості та подовження терміну їх придатності перед споживанням. Підтримуючи відповідну температуру, мінімізується метаболічне та мікробіологічне погіршення продуктів, забезпечуючи їхню якість під час зберігання та транспортування.

У першому розділі здійснено аналіз холодильних камер для охолодження та заморожування продуктів харчування. Зазначено, що у харчовій промисловості холодильні камери є ключовими для підтримання якості продуктів. Холодильні камери – це обладнання, спеціально розроблене для зберігання та консервування продуктів харчування при низьких температурах, забезпечуючи контрольоване середовище, яке допомагає підтримувати якість та продовжувати термін придатності швидкопсувних продуктів. Холодильні камери обладнані системами охолодження та термоізоляції, щоб підтримувати відповідні температури та запобігати розмноженню мікроорганізмів і псуванню продуктів харчування.

Аналіз наукових джерел дав змогу виявити, що холодильні камери класифікуються відповідно до їх робочої температури та здатності контролювати вологість. Існують різні типи камер, такі як охолоджувальні камери, морозильні камери та камери зі контрольованою атмосферою, кожна з яких призначена для підтримки конкретних умов температури та вологості відповідно до вимог зберігання продуктів харчування. Існують дві основні категорії холодильних камер, а саме ті, що призначені для охолодження та ті, що призначені для заморожування. Холодильні камери з температурою від 0°C до -10°C використовуються для охолодження, а нижчі температури застосовуються для заморожування швидкопсувних продуктів. Конструкція може бути стаціонарною або мобільною, а всередині може знадобитися контрольована атмосфера. Холодильні камери забезпечують належне середовище для збереження та заморожування продукту з ефективним контролем температури, вологості та внутрішньої атмосфери завдяки ізоляційним покриттям з низькою теплопровідністю та тепловим розсіюванням.

Другий розділ присвячено оптимізації системи охолодження холодильної камери. Зазначено, що холодильна камера складається з основних елементів, які працюють разом для підтримки холодного та контрольованого середовища при цьому дизайн та конкретна конфігурація цих елементів можуть змінюватися залежно від призначення камери та вимог до температури зберігання продуктів. Система охолодження є основним елементом холодильної системи і

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Кравцов			Проектування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів				Літ.		Арк.		Аркуші	
Перевір.		Омельченко									44		2	
									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО					
Н. Контр.		Омельченко												
Затверд.		Омельченко												

складається з кількох компонентів, включає компресор, конденсатор, випарник і розширювальний клапан. Разом ці компоненти працюють над зниженням температури повітря всередині камери та підтриманням постійної температури. Ізоляційні панелі, які формують стіни, стелі та підлоги холодильної камери виготовлені з матеріалів високої щільності, що допомагають підтримувати бажану температуру з мінімальною передачею тепла. Двері морозильної камери спеціально розроблені для підтримання внутрішньої температури та запобігання витоку тепла. Контролери та датчики є пристроями, які контролюють і регулюють температуру всередині морозильної камери.

На основі розрахунків було обрано основні компоненти системи охолодження з компресійним циклом. Здійснено проектування холодильної камери місткістю 2000 кг для охолодження фруктів з метою визначення розмірів камери, аналізу теплових навантажень та вибору кінцевих компонентів для її роботи. Результатом стала камера об'ємом 79,38 м³ з поліуретановою ізоляцією в якій фрукти зберігаються у лотках, які розташовуються на мобільних візках. Встановлено, що найбільший вплив на теплове навантаження має різниця між температурою навколишнього середовища та температурою замерзання плодів, яку можна оптимізувати за допомогою попередньої обробки. Холодильна камера з примусовою конвекцією, де використовується вентилятор для нагнітання повітря в камеру та рівномірного розподілу температури (від 0°C і -10°C).

Система вентиляції буде забезпечувати збільшення потоку повітря, яке надходить у випарники, і як результат, буде збільшено конвективний коефіцієнт повітря, що рухається від зміювиків до лотків, які містять сировину, підвищуючи теплопередачу у продукті. Беручи до уваги висоту та довжину стелажів для лотків, а також зміювиків, пропонується розташувати 2 рівні вентиляторів на конструкції. Метою конструкції є розташування вентиляторів у точці, що гарантує, що потік повітря матиме необхідний напрямок до продукту, таким чином забезпечуючи більш ефективну теплопередачу.

Зазначено, що контроль температури в холодильній камері є критично важливим для збереження сировини свіжістю та безпекою. Метою контролю температури в холодильній камері є підтримання температури в межах бажаних значень та уникнення значних коливань. Важливо враховувати стратегічне розташування датчиків температури для отримання правильних вимірювань. Запропоновано удосконалити схему системи охолодження з компресійним циклом. Запропонована система контролю температури полягає в тому, щоб забезпечити підтримання температури всередині холодильного приміщення в межах бажаних значень, створюючи оптимальні умови для збереження продуктів. Точний і стабільний контроль допомагає запобігти значним коливанням, які можуть вплинути на якість і термін придатності продуктів.

На основі обраної системи охолодження, яка включає основні елементи, а саме компресор, конденсатор, випарник і розширювальний клапан було здійснено моделювання холодильної камери з примусовою конвекцією з використанням вентиляторів для нагнітання повітря в камеру та рівномірного розподілу температури.

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Види та особливості холодильних камер. Режим доступу: <https://odessa-life.od.ua/uk/article-uk/promo-uk/vidi-ta-osoblivosti-holodilnih-kamer>.
2. Холодильні камери. Режим доступу: <https://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/10.-lekcija-10-holodylni-kamery.pdf>.
3. Повне керівництво з вибору холодильних камер. Режим доступу: <https://termocom.com.ua/ua/povne-kerivnictvo-z-viboru-komponentiv-holodilnoi-kameri/>.
4. Diseño de un congelador de maíz entero con capacidad de 100 kg/hr. URL: <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fedd6842-7803-4104-8c89-749fe2a9d786/content>.
5. Application of vacuum for the intensification of fruits and vegetables freezing. URL: <https://theses.hal.science/tel-04854931v1>.
6. Congelamento isocoro: vantaggi e svantaggi di una tecnologia emergente per la conservazione degli alimenti. URL: <https://thesis.unipd.it/handle/20.500.12608/54036>.
7. Холодильна техніка. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/129c97f0-b4dc-4984-9962-ca88d7419c20/content>.
8. Тітлов О.С., Горикін С.Ф. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості: Львів: Новий світ, 2012. 228 с.
9. Мнацаканов Г.К. Холодильна техніка і технологія. Одесса: ОДАХ, 2008. 128 с.
10. Estudio energético de un congelador estático por aire forzado de caballa con capacidad de 10 toneladas por batch. URL: <https://tesis.pucp.edu.pe/items/299f3612-c0e2-4f37-ab6e-6610d7951338>.
11. Diseño de una cámara frigorífica con capacidad de 2000 kg para la refrigeración de arándanos. URL: <https://repositorio.continental.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/87611f1d-3850-4387-8943-11823b72705f/content>.
12. Класифікація холодильного устаткування за конструкцією, температурою зберігання, способом охолодження. Режим доступу: <https://vpl.org.ua/news/12-25-05-03-12-2023/>.
13. Elaboración de metodología de cálculo de cámaras frigoríficas para industria alimenticia. URL: <https://ribuni.uni.edu.ni/6485/1/200067.pdf>.
14. Холодильні установки: підручник / І.Г. Чумак, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський. Одеса: Рефпринтінфо, 2006. 550 с.
15. Холодильні установки. Проектування / Чумак І.Г., Чепурненко В.П., Лагутін А.Ю., Лар'яновський С.Ю.. Одеса : Друк, 2008. 186 с.
16. Хмельнюк М.Г. Холодильні установки спеціального призначення. Одес. нац. акад. харч. технологій. Херсон : Вид. Грінь Д.С., 2013. 488 с.
17. Propuesta de un algoritmo para la evaluación de un sistema de refrigeración de las cámaras frigoríficas en las pymes. URL:

					ННІЕТ КНУ.142.ЗЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/15130/tesis.pdf?sequence=1>.

18. Diseño y evaluación energética de cámaras frigoríficas para la conservación de carne avícola mediante simulación. URL: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/4972/ATD360.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

19. Проектування і розрахунок холодильних камер. Режим доступу: https://yak.koshachek.com/articles/proektuvannja-i-rozrahunok-holodilnih-kamer.html#google_vignette.

20. Будівництво холодильних та морозильних камер. Режим доступу: <https://readycon.com.ua/articles/budivnyctvo-holodylnyh-ta-morozyllyh-kamer/>.

21. Холодильні компресори: особливості та види. Режим доступу: <https://vdh.com.ua/ua/a470392-holodilnye-kompressory-osobennosti.html>.

22. Modelación, programación y simulación del control automático mediante plc de una cámara frigorífica. URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26052/1/CD%2014519.pdf>.

23. Implementación de una cámara de refrigeración para almacenamiento de palta. URL: <https://tesis.pucp.edu.pe/items/6ea196b3-1f37-4208-8749-f7eea6340926>.

24. Випарники холодильних машин. Режим доступу: <https://tourism-book.com/pbooks/book-22/ua/chapter-1149/>.

25. Конденсатори для холодильних систем: основи, які потрібно знати. Режим доступу: <https://profportal.com.ua/blog/kondensatory-dlya-kholodylnykh-system-osnovy-yaki-potribno-znaty/>.

					ННІЕТ КНУ.142.зЕМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47