

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



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

На тему: «Проект холодильної установки овочесховища місткістю 1100 тон,
розташованого у м. Вінниця»

Здобувача: Рожнатов О.О.

4-го курсу групи ХМ-741

Керівник: доц. Желіба Ю.О.

Консультанти: доц. Жихарева Н.В.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 28.05.2026 р. _____ протокол № _____ 10 _____

Завідувач кафедри ХУіКП _____ Михайло Хмельнюк

Одеса – 2026 рік

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

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

16 березня 2026 р.

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

Рожнатов Олександр Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: « Проект холодильної установки овочесховища місткістю 1100 тон,
розташованого у м. Вінниця »

Затверджена наказом ОНТУ від № 499-03 від 26.09.25 р.

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 19.06.26 р.

3. Вихідні дані роботи: Холодильна установка овочесховища місткістю 1100 тон
у м. Вінниця

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

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

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

План холодильника; Розрізи по камерам холодильника; Принципіальна схема
холодильної машини; Схема трубопроводів споживачів холоду

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 30.01.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Постановка завдань проєкту.	01.02.- 15.02.2026 р.	виконано
2	Визначення розмірів охолоджувальних приміщень холодильника. Вибір і розрахунок теплоізоляційної конструкції камер.	16.02.- 28.02.2026 р.	виконано
3	Розрахунок теплоприпливів; Тепловий розрахунок холодильної системи	1.03.- 31.03.2026 р.	виконано
4	Розрахунок повітроохолоджувача; Підбір компресорів, системи конденсації агента і допоміжного устаткування; Розрахунок повітряного конденсатора	01.04.- 15.04.2026 р.	виконано
5	Охорона праці	16.04.- 30.04.2026 р.	виконано
6	Розробка креслень проєкту	1.05.-25.05.2026 р.	виконано

Здобувач-дипломник _____ Рожнатов О.О.

Керівник роботи _____ доц. Желіба Ю.О.

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

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

Здобувач-дипломник _____ Рожнатов Олександр Олександрович

Анотація

к кваліфікаційної роботі бакалавра на тему

«Проект холодильної установки овочесховища місткістю 1100 тон,
розташованого у м. Вінниця»

Кваліфікаційна робота включає розрахунково-пояснювальну записку, графічну частину та презентаційні матеріали.

Метою роботи є розробка проекту холодильної установки овочесховища місткістю 1100 тон, розташованого у м. Вінниця.

У роботі проаналізовано особливості сучасних технологій зберігання овочів. Розроблено холодильний ланцюг, який відповідає технологічним умовам холодильної обробки та зберігання картоплі. Відповідно обраної технології спроектовано будівельну та теплоізоляційну конструкцію камер зберігання. Розраховано теплопритоки в камери зберігання в режимах охолодження та зберігання картоплі, підібрано систему повітророзподілу та прилади охолодження. Проведено тепловий розрахунок холодильної машини, учбовий розрахунок повітроохолоджувача та повітряного конденсатора, а також здійснено підбір основного і допоміжного обладнання.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації сучасних підприємств, орієнтованих на охолодження та зберігання овочів.

Ключові слова: Холодильник, повітроохолоджувач, конденсатор, теплопритоки.

Abstract
for the Bachelor's Qualification Thesis on the topic
“Design of a Refrigeration System for a Vegetable Storage Facility with a Capacity
of 1100 Tons Located in Vinnytsia”

The qualification thesis includes an explanatory calculation note, graphical materials, and presentation materials.

The aim of the work is to develop a design project for a refrigeration system of a vegetable storage facility with a capacity of 1100 tons located in the city of Vinnytsia.

The thesis analyzes the features of modern vegetable storage technologies. A refrigeration chain corresponding to the technological requirements for the cooling treatment and storage of potatoes has been developed. According to the selected technology, the building structure and thermal insulation design of the storage chambers were developed. Heat loads for the storage chambers under potato cooling and storage conditions were calculated, and the air distribution system and cooling devices were selected. A thermal calculation of the refrigeration machine, an educational calculation of the air cooler and air condenser, as well as the selection of the main and auxiliary equipment were carried out.

The obtained results can be used in the design and modernization of modern enterprises focused on the cooling and storage of vegetables.

Key words: refrigeration, air cooler, condenser, heat flow.

ЗМІСТ

стор.

1 Постановка завдань проекту	7
2 Вибір і розрахунок теплоізоляційної будівельної конструкції камер.....	19
3 Визначення теплового навантаження камер	24
4 Тепловий розрахунок холодильної системи.....	35
5 Розрахунок повітряного конденсатора	39
6 Розрахунок повітроохолоджувача	45
7 Підбір компресорів та допоміжного устаткування, розрахунок магістральних трубопроводів	55
8 Охорона праці	59
Висновки по роботі	
Список використаної літератури	

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Рожнатов О.О.			Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Желіба Ю.О.					6	78
Реценз.						ОНТУ ХМ-741		
Н. Контр.		Желіба Ю.О.						

1 Постановка завдань проекту

Метою даної роботи є проектування холодильної установки, яка буде забезпечувати роботу приладів охолодження в камерах зберігання овочів. Орієнтовна сумарна місткість овочесховища, виходячи із завдання на проектування, складає 1100 тонн. Місце розміщення холодильника – Вінницька область. Приймаємо, що овочесховище буде орієнтовано на зберігання картоплі.

Картопля є однією з найважливіших сільськогосподарських культур України та займає провідне місце у структурі харчування населення. Вона використовується як продукт щоденного споживання, сировина для переробної промисловості, а також як кормова культура. Україна традиційно входить до числа найбільших виробників картоплі в Європі, а Вінницька область належить до регіонів із найбільш сприятливими умовами для її вирощування. Значні площі орних земель, помірно-континентальний клімат, достатня кількість опадів та розвинений аграрний сектор створюють передумови для стабільного виробництва великих обсягів картоплі.

Разом із тим вирощування картоплі супроводжується рядом проблем, пов'язаних із сезонністю виробництва, втратами продукції під час зберігання та коливаннями ринкових цін. Значна частина врожаю реалізується одразу після збирання за мінімальними цінами через відсутність сучасних овочесховищ. У результаті виробники недоотримують прибуток, а споживачі взимку та навесні стикаються з дефіцитом якісної продукції та суттєвим підвищенням вартості картоплі.

У сучасних умовах будівництво спеціалізованих овочесховищ стає важливою складовою розвитку аграрної інфраструктури. Наявність сучасного сховища дозволяє не лише зберігати продукцію протягом тривалого часу без значних втрат маси та якості, а й формувати стабільний ринок постачання овочів упродовж усього року. Особливо актуальним це

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

питання є для Вінницької області, яка має потужний потенціал виробництва картоплі та вигідне географічне розташування.

Вінницька область є одним із провідних аграрних регіонів України. Значна частина економіки області базується на сільському господарстві, а картоплярство займає важливе місце серед овочевих культур. За обсягами виробництва картоплі область стабільно входить до числа лідерів України.

На території області функціонує велика кількість фермерських господарств, які спеціалізуються на вирощуванні картоплі. Розвиток малого та середнього аграрного бізнесу сприяє збільшенню площ під цією культурою та формуванню стабільного попиту на сучасні сховища.

Картопля має стратегічне значення для продовольчої безпеки регіону. Вона використовується не лише для забезпечення внутрішнього споживання населення, а й для постачання в інші області України. Окрім того, картопля є важливою сировиною для підприємств харчової промисловості, зокрема виробництва крохмалю, чипсів, заморожених напівфабрикатів та інших продуктів переробки.

Висока врожайність у Вінницькій області пояснюється сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами. Чорноземні ґрунти характеризуються високою родючістю, а помірний клімат забезпечує достатню кількість вологи для формування врожаю. Це створює передумови для отримання стабільних урожаїв навіть у складних погодних умовах.

Однак розвиток картоплярства стримується недостатньою кількістю сучасних сховищ. Частина продукції зберігається у застарілих приміщеннях без належної системи вентиляції, контролю температури та вологості. Через це виникають значні втрати продукції, які можуть досягати 20–30 % від загального врожаю.

Особливої актуальності питання будівництва овочесховищ набуло в останні роки через нестабільність аграрного ринку та підвищення ролі продовольчої безпеки. В умовах воєнного стану та складної економічної

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ситуації Україна потребує ефективної системи зберігання сільськогосподарської продукції.

Сучасні картоплесховища дозволяють:

- забезпечити цілорічне постачання продукції;
- уникнути сезонного дефіциту;
- стабілізувати ціни на ринку;
- зменшити втрати продукції;
- підвищити прибутковість аграрного виробництва.

Одним із головних аргументів на користь будівництва овочесховища є економічна ефективність такого проєкту. Вартість картоплі суттєво змінюється протягом року. Після збору врожаю восени ціни є найнижчими через надлишок продукції на ринку. Взимку та навесні вартість картоплі значно зростає.

У 2025 році на Вінниччині ціна на картоплю зросла майже вдвічі порівняно з попереднім роком і досягала 20–25 грн за кілограм. Це свідчить про високий потенціал прибутковості при довготривалому зберіганні продукції.

Фермери, які мають власні овочесховища, отримують можливість:

- реалізовувати продукцію у період найвищих цін;
- уникати вимушеного продажу після збору врожаю;
- формувати стабільні контракти з торговельними мережами;
- планувати виробничу діяльність на тривалий період.

За сучасних умов вирощування картоплі потребує значних фінансових витрат. Витрати на один гектар можуть становити 120–150 тисяч гривень. Тому ефективне зберігання врожаю є важливою умовою повернення інвестицій та отримання прибутку.

Будівництво овочесховища також сприяє:

- створенню нових робочих місць;
- розвитку логістичної інфраструктури;
- збільшенню податкових надходжень;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- підвищенню інвестиційної привабливості регіону.

Додатковою перевагою є можливість залучення державної підтримки. В Україні діють програми фінансування будівництва овочесховищ для виробників картоплі. Зокрема, державою виділялися значні кошти на підтримку картоплярства та створення сучасних сховищ.

Сучасне овочівництво неможливо уявити без ефективної системи тривалого зберігання продукції. Овочі є біологічно активними об'єктами, у яких навіть після збирання продовжуються процеси дихання, випаровування вологи, дозрівання та старіння. Саме тому післязбиральна обробка і підтримання відповідних температурних умов мають визначальне значення для збереження товарної якості продукції, мінімізації втрат маси та запобігання розвитку мікрофлори.

Одним із найважливіших елементів сучасної системи забезпечення якості овочевої продукції є холодильний ланцюг. Під холодильним ланцюгом розуміють комплекс взаємопов'язаних технологічних операцій, під час яких підтримуються необхідні температурні та вологісні параметри на всіх етапах руху продукції — від моменту збирання врожаю до реалізації споживачу. Порушення хоча б однієї ланки такого ланцюга може призвести до значних втрат продукції, погіршення її смакових властивостей, зниження харчової цінності та скорочення терміну зберігання.

Особливої актуальності питання тривалого зберігання овочів набуває в умовах необхідності забезпечення населення свіжою продукцією протягом усього року. В Україні значна частина врожаю овочів збирається в осінній період, тоді як споживання здійснюється безперервно. Тому створення ефективних холодильних систем зберігання дозволяє уникнути сезонного дефіциту продукції, стабілізувати ціни та забезпечити продовольчу безпеку.

Основними овочами, що підлягають тривалому холодильному зберігання, є картопля, морква, буряк, капуста, цибуля, часник та інші коренеплоди. Для кожного виду продукції необхідно підтримувати індивідуальні параметри температури, відносної вологості та швидкості руху

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повітря. Наприклад, картопля зберігається при температурі від +2 до +4 °С, тоді як для цибулі оптимальною є температура близько 0 °С при зниженій вологості повітря.

Сучасний холодильний ланцюг включає не лише стаціонарні холодильники, але й спеціалізований транспорт, сортувальні комплекси, камери попереднього охолодження, системи вентиляції та автоматизованого контролю мікроклімату. Велике значення має також правильна організація технологічних процесів, що дозволяє мінімізувати механічні пошкодження овочів, які часто стають причиною розвитку гнильних процесів.

ХОЛОДИЛЬНИЙ ЛАНЦЮГ ПРИ ЗБЕРІГАННІ ОВОЧІВ

Збереження якості сьогодні – здоров'я і довіра споживачів завтра

Холодильний ланцюг – це безперервне підтримання оптимальних температурних, в'логісних та санітарних умов на всіх етапах руху овочів від моменту збирання врожаю до споживача.

ЕТАПИ ХОЛОДИЛЬНОГО ЛАНЦЮГА

1. ЗБИРАННЯ ВРОЖАЮ

- Збирати у сприятливих умовах
- Не допускати механічних пошкоджень
- Уникати перегрівання продукції

2. ПОПЕРЕДНЄ ОХОЛОДЖЕННЯ

- Швидке зниження температури до оптимальної
- Методи охолодження: повітряне, вакуумне, гідролоджувальне, льодяне

3. ТРАНСПОРТУВАННЯ У ХОЛОДИЛЬНИХ УМОВАХ

- Використання рефрижераторного транспорту
- Підтримання стабільної температури
- Захист від перегрівання та утворення конденсату

4. СОРТУВАННЯ ТА ПІДГОТОВКА

- Сортування за розмірами та якістю
- Виявлення пошкоджених та шкідливих овочів
- Очищення, пакування, формування партій

5. ТРИВАЛЕ ЗБЕРІГАННЯ

- Підтримання оптимальних температури та вологості
- Система вентиляції та зволоження
- Контроль мікроклімату та санітарний режим

6. ДОСТАВКА ДО СПОЖИВАЧА

- Збереження температурного режиму під час доставки
- Оперативна логістика
- Контроль якості при прийомі

7. РЕАЛІЗАЦІЯ СПОЖИВАЧУ

- Дотримання умов зберігання у торговельних точках
- Збереження свіжості та товарного вигляду
- Безпечна та якісна продукція

ОПТИМАЛЬНІ УМОВИ ЗБЕРІГАННЯ ОСНОВНИХ ОВОЧІВ

Овочі	Температура, °С	Відносна вологість, %	Особливості зберігання
Картопля	+2...+4	85-95	Захистити від світла. Низька температура викликає накопичення цукру.
Морква	0...+1	95-98	Потрібен високий вологість. Зберігати у контейнерах або пакетах.
Буряк	0...+2	90-95	Підвищена вологість запобігає в'янінню коренеплодів.
Капуста	-1...+1	90-95	Забезпечити вентиляцію між кочанами. Уникати надмірної вологості.
Цибуля	0...+1	70-75	Суша вентиляція. Висока вологість спричиняє гниль.
Часник	0...+2	65-75	Добра вентиляція, уникати конденсату.

ОБЛАДНАННЯ ОВОЧЕСХОВИЩ

ХОЛОДИЛЬНА МАШИНА

Забезпечує відведення теплоти та підтримання необхідної температури.

ПОВІТРООХОЛЮЮЧІ

Охолоджують повітря та забезпечують його циркуляцію.

ВЕНТИЛЯЦІЙНА СИСТЕМА

Виводять теплоту з приміщення, підтримують вологість та рівномірний розподіл температури.

СИСТЕМА ЗВОЛОЖЕННЯ

Підтримують оптимальний рівень вологості для кожного виду овочів.

АВТОМАТИКА ТА ДАТЧИКИ

Контроль температури, вологості, швидкості опускання та порівняння обладнання.

ПРАВИЛА УСПІШНОГО ЗБЕРІГАННЯ

Дотримуватись оптимальних температурних режимів

Потримувати необхідну вологість

Забезпечити циркуляцію вентиляції

Сортувати та видаляти пошкоджені овочі

Дотримуватись санітарно-гігієнічних вимог

ПЕРЕВАГИ ХОЛОДИЛЬНОГО ЛАНЦЮГА

Збереження свіжості та смакових якостей овочів

Мінімізація втрат маси та псування

Запобігання розвитку мікроорганізмів та гниттю

Можливість реалізації продукції в міжсезонний період

Стабільне постачання якісної продукції споживачам

Підвищення рентабельності підприємства

ВАЖЛИВО ПАМ'ЯТАТИ!

Порушення хоча б однієї ланки холодильного ланцюга призводить до втрати якості, зменшення терміну зберігання та економічних збитків.

САНІТАРНО-ГІГІЄНИЧНІ ВИМОГИ

- Регулярна дезінфекція камер і обладнання
- Очищення вентиляційних систем
- Контроль розвитку мікрофлори

- Дотримання особистої гігієни персоналу
- Ведення журналу контролю параметрів
- Швидке видалення зіпсованої продукції

ЯКІСНИЙ ХОЛОДИЛЬНИЙ ЛАНЦЮГ – від врожаю до столу!

У сучасних умовах зростає роль енергозберігаючих технологій у холодильній галузі. Використання сучасних холодильних агентів, автоматизованих систем керування та енергоефективного обладнання дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати овочесховищ. Окрім цього, все більше уваги приділяється екологічній безпеці холодильних установок та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Зм.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11

Арк.

11

Таким чином, холодильний ланцюг є складною багаторівневою системою, від ефективності якої залежить збереження якості овочевої продукції, економічна доцільність роботи овочесховищ та забезпечення населення якісними харчовими продуктами протягом року.

Зберігання овочів є важливим етапом агропромислового виробництва, оскільки саме від правильності організації післязбиральної обробки залежить кількість продукції, яка буде реалізована без втрати якості. Відомо, що без застосування сучасних систем охолодження втрати овочів можуть досягати 30–40 % від загального врожаю. Тому холодильний ланцюг виступає ключовим фактором забезпечення стабільного збереження продукції.

Основною метою холодильного ланцюга є уповільнення фізіологічних процесів у продуктах рослинного походження. Після збирання овочі продовжують дихати, споживаючи кисень та виділяючи вуглекислий газ і тепло. Чим вища температура навколишнього середовища, тим інтенсивніше проходять ці процеси. Саме тому швидке охолодження овочів після збирання дозволяє суттєво продовжити термін їх зберігання.

Однією з важливих функцій холодильного ланцюга є збереження товарного вигляду продукції. Втрата вологи призводить до в'янення, зморщування та зменшення маси овочів. Особливо чутливими до цього є морква, буряк та капуста. Підтримання високої відносної вологості повітря у камерах зберігання дозволяє мінімізувати втрати маси та зберегти свіжість продукції.

Крім того, холодильний ланцюг запобігає розвитку патогенних мікроорганізмів. Низькі температури значно пригнічують розвиток бактерій, плісняви та грибків. Однак повністю припинити мікробіологічні процеси неможливо, тому велике значення має дотримання санітарних вимог під час транспортування та зберігання продукції.

Економічна ефективність холодильного ланцюга полягає у можливості реалізації продукції в міжсезонний період за вищими цінами. Завдяки цьому

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підприємства можуть отримувати додатковий прибуток, а споживачі — доступ до свіжих овочів протягом усього року.

Не менш важливою є логістична складова холодильного ланцюга. Сучасні овочесховища інтегруються у систему постачання продукції до торговельних мереж, переробних підприємств та експорту. У таких умовах безперервність підтримання температурного режиму є критично важливою.

Основні етапи холодильного ланцюга

Холодильний ланцюг при тривалому зберіганні овочів складається з декількох послідовних етапів, кожен із яких має важливе значення для забезпечення якості продукції.

Збирання врожаю

Першою ланкою є правильне збирання овочів. Важливо проводити його у сприятливих погодних умовах, уникаючи механічних пошкоджень продукції. Будь-які удари, тріщини або порізи значно знижують стійкість овочів до тривалого зберігання.

Особливо важливо уникати перегрівання продукції після збирання. Якщо овочі тривалий час знаходяться під сонячним промінням, температура їх поверхні може значно підвищуватися, що активізує процеси дихання.

Попереднє охолодження

Одразу після збирання овочі повинні пройти стадію попереднього охолодження. Цей процес дозволяє швидко знизити температуру продукції до оптимального рівня.

Для охолодження застосовують:

- повітряне охолодження;
- вакуумне охолодження;
- гідроохолодження;
- льодяне охолодження.

Найбільш поширеним у овочесховищах є повітряне охолодження, яке реалізується за допомогою потужних вентиляторів та повітроохолоджувачів.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Транспортування

Після попереднього охолодження овочі транспортують до овочесховищ спеціалізованим транспортом. Важливо підтримувати стабільний температурний режим під час перевезення.

Для цього використовуються:

- рефрижераторні автомобілі;
- ізотермічні контейнери;
- холодильні вагони.

Порушення температурного режиму під час транспортування може викликати утворення конденсату та розвиток мікрофлори.

Сортування та підготовка

Перед закладанням на зберігання продукцію сортують за розмірами та якістю. Видаляються пошкоджені та хворі овочі, які можуть стати джерелом зараження всієї партії.

На цьому етапі також проводиться:

- очищення продукції;
- пакування;
- формування партій;
- контроль якості.

Тривале зберігання

Основним етапом холодильного ланцюга є безпосереднє зберігання продукції в холодильних камерах або овочесховищах.

Для забезпечення стабільних умов використовуються:

- холодильні установки;
- системи вентиляції;
- системи зволоження;
- автоматика контролю температури.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливості зберігання різних видів овочів

Картопля

Картопля є однією з найпоширеніших культур тривалого зберігання. Для неї оптимальною є температура $+2...+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ та відносна вологість 85–95 %.

При надто низьких температурах у картоплі накопичуються цукри, що погіршує її смакові властивості. Підвищена температура сприяє проростанню бульб.

Велике значення має вентиляція, яка забезпечує відведення теплоти дихання та підтримання рівномірного мікроклімату.

Морква

Морква потребує високої вологості повітря — до 95–98 %. Температура зберігання становить близько $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Недостатня вологість призводить до швидкого в'янення коренеплодів. Для зменшення втрат маси моркву часто зберігають у контейнерах або поліетиленових пакетах.

Капуста

Капуста добре зберігається при температурі від -1 до $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Важливо забезпечити ефективну циркуляцію повітря між качанами.

При підвищеній температурі активізуються процеси гниття та розвитку грибкових захворювань.

Цибуля

Цибуля потребує зниженої вологості повітря — близько 70–75 %. Висока вологість може спричинити розвиток плісняви.

Температура зберігання зазвичай становить $0...+1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Холодильне обладнання овочесховищ

Сучасні овочесховища оснащуються складними інженерними системами, що забезпечують підтримання необхідних параметрів мікроклімату.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Холодильні машини

Основою системи є холодильна машина, яка забезпечує відведення теплоти з камер зберігання.

Найчастіше використовуються:

- компресорні холодильні установки;
- аміачні системи;
- хладонові системи.

Для великих овочесховищ перевагу часто надають аміачним установкам через їх високу енергоефективність.

Повітроохолоджувачі

Повітроохолоджувачі забезпечують охолодження та циркуляцію повітря у камерах.

Основними елементами є:

- теплообмінник;
- вентилятори;
- система відтаювання.

Правильне розміщення повітроохолоджувачів дозволяє уникнути зон застою повітря.

Вентиляційні системи

Вентиляція забезпечує:

- видалення теплоти дихання;
- підтримання вологості;
- рівномірний розподіл температури.

У сучасних овочесховищах використовують системи активного вентилявання продукції.

Автоматизація холодильного ланцюга

Сучасні системи автоматизації дозволяють значно підвищити ефективність зберігання овочів.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Автоматизовані системи виконують:

- контроль температури;
- контроль вологості;
- регулювання роботи компресорів;
- управління вентиляцією;
- аварійний захист.

Використання датчиків та комп'ютерних систем дозволяє оперативно реагувати на зміну параметрів мікроклімату.

Енергозбереження у холодильному ланцюзі

Овочесховища споживають значну кількість електроенергії, тому питання енергоефективності є надзвичайно актуальним.

Основними напрямками енергозбереження є:

- використання сучасних компресорів;
- застосування частотного регулювання;
- покращення теплоізоляції;
- рекуперація теплоти;
- автоматичне керування обладнанням.

Велике значення має якісна теплоізоляція стін, підлоги та стелі камер.

Санітарно-гігієнічні вимоги

Для забезпечення безпечного зберігання овочів необхідно дотримуватися санітарних норм.

Основні вимоги:

- регулярна дезінфекція камер;
- очищення вентиляційних систем;
- контроль розвитку мікрофлори;
- видалення пошкодженої продукції.

Недотримання санітарних вимог може спричинити масове псування продукції.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перспективи розвитку холодильного ланцюга

Сучасний розвиток холодильних технологій спрямований на:

- підвищення енергоефективності;
- автоматизацію процесів;
- використання екологічних холодильних агентів;
- цифровий моніторинг;
- впровадження штучного інтелекту.

Все більшого поширення набувають системи дистанційного контролю параметрів зберігання.

Холодильний ланцюг при тривалому зберіганні овочів є складною технологічною системою, що охоплює всі етапи руху продукції — від моменту збирання врожаю до реалізації споживачу. Основною метою такого ланцюга є забезпечення стабільної якості овочів, мінімізація втрат маси та запобігання розвитку мікробіологічних процесів.

Ефективність холодильного ланцюга значною мірою залежить від правильності організації попереднього охолодження, транспортування, сортування та тривалого зберігання продукції. Особливе значення має підтримання оптимальних параметрів температури та вологості для кожного виду овочів.

Сучасні овочесховища оснащуються високоефективними холодильними установками, системами вентиляції та автоматизованими комплексами контролю мікроклімату. Використання енергоефективного обладнання дозволяє знизити експлуатаційні витрати та підвищити економічну доцільність зберігання продукції.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер

Дані для розрахунку:

Овочесховище для зберігання овочів ($G_k=1100$ тон, $t_k=2^\circ\text{C}$, $\varphi_k=0.9$).

Холодильник розташовано в Вінницької області ($t_n=32^\circ\text{C}$, $\varphi_n=0.62$).

2.1 Розрахунок площ зберігання вантажу

Приймаємо норму завантаження для зберігання овочів в мішках $g_w=0.5$ т/м³. Тоді вантажний об'єм складе: $V_{гр}=G/g_w=1100/0.55=2000$ м³.

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

$$F_{гр}=V_{гр}/h_{гр}=2000/4=500 \text{ м}^2$$

Приймаємо коефіцієнт використання будівельної площі $\beta_F=0.8$, тоді будівельна площа камер:

$$F_{стр}=F_{гр}/\beta_F=500/0.8=625 \text{ м}^2$$

За необхідною площею вибираємо 6 камер 9×12 м для зберігання картоплі.

Місткість камери зберігання:

$$G_k=9\cdot 12\cdot 0.8\cdot 4\cdot 0.55=190 \text{ тон}$$

Дійсна місткість овочесховища:

$$G=6\cdot G_k=1140 \text{ тони}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Визначення коефіцієнтів теплопередачі огорож

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

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін:

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

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

Коефіцієнт теплопередачі стелі з горищем:

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

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

Коефіцієнт теплопередачі внутрішніх стін і перегородок:

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

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

Товщина ізоляційного шару:

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

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

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

δ_i и λ_i – товщина і коефіцієнт теплопровідності кожного будівельного шару;

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо дійсний коефіцієнт теплопередачі для зовнішніх стін.

Таблиця 2.1 – Конструкція зовнішніх стін

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

Приймаємо для відповідних умов $\alpha_n=23$ Вт/(м²К), для камер з примусовою циркуляцією $\alpha_k=9$ Вт/(м²К), $k_{nc}=0.4$ Вт/(м²К)

Орієнтовна товщина ізоляції:

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

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

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{nc}'=1/(1/23+1/9+(0.02+0.013+0.022+0.469+0.22+0.1/0.05))=$$

$$=0.34 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

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

Визначення дійсного коефіцієнта теплопередачі для стелі.

Таблиця 2.2 – Конструкція стелі

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

Приймаємо для відповідних умов $\alpha_n=23$ Вт/(м²К), для камер з примусовою циркуляцією $\alpha_k=9$ Вт/(м²К), $k_{чп}=0.42$ Вт/(м²К)

Орієнтовна товщина ізоляції:

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

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

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{чп}'=1/(1/23+1/9+(0.079+0.1/0.05))=0.42 \text{ Вт/(м²К).}$$

Товщина стелі: $\delta=0.188$ м.

Визначення дійсного коефіцієнта теплопередачі для зовнішніх стін.

Таблиця 2.3 – Конструкція внутрішніх стінів

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

Приймаємо для відповідних умов $\alpha_n=8$ Вт/(м²К) для коридору, для камер з примусовою циркуляцією $\alpha_k=9$ Вт/(м²К), $k_n=0.47$ Вт/м²·К.

Орієнтовна товщина ізоляції:

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

приймаємо $\delta_{из}=0.1$ м.

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

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

Товщина внутрішньої стінки: $\delta=0.204$ м.

3 Визначення теплового навантаження камер

Загальне теплове навантаження на холодильне устаткування:

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

Q_1 – теплопритоки через огорожі;

Q_2 – теплопритоки від холодильної обробки вантажів;

Q_3 – теплопритоки, пов'язані з вентиляцією приміщень;

Q_4 – експлуатаційні теплопритоки;

Q_5 – теплопритоки від дихання охолоджених плодів.

3.1 Розрахунок теплопритоків через огорожі

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

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

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

F – площа огорожі м^2 ;

Δt – різниця між зовнішньою і внутрішньою температурою камери;

Δt_c – різниця температур від дії сонячного випромінювання.

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

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

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

ε_c – коеф. поглинання сон. випромінювання поверхнею огорожі;

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо різницю температур від сонячного випромінювання для покриття камер: $\Delta t_c = 1 \cdot 789 \cdot 0.65 / 23 = 22.3 \text{ } ^\circ\text{C}$

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

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

де F_i – площі відповідних зон, м^2 ;

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

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

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

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

Таблиця 3.1 – Розрахунок підлоги по зонах

	1-я зона, $F_1, \text{м}^2$	2-я зона, $F_1, \text{м}^2$	3-я зона, $F_1, \text{м}^2$	4-я зона, $F_1, \text{м}^2$	$\sum_{i=1}^4 (k_{yc})_i F_i, \text{Вт/К}$
Камера №1	24	24	24	36	22.68
Камера №2	42	30	22	18	31.26
Камера №3	24	24	24	36	22.68
Камера №4	42	30	22	18	31.26
Камера №5	42	30	22	18	31.26
Камера №6	42	30	22	18	31.26

Розрахунки теплопритоків через огорожування по усіх камерах зводимо в загальну таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Теплопритоки крізь огорожі

Камера №1		К, Вт/(м²К)	F, м²	тк, °С	тн, °С	Δtc, °С	Q1, Вт
	Північ	0,34	72	2	32	0	734
	Захід	0,47	54	2	2	0	0
	Південь	0,47	72	2	2	0	0
	Схід	0,47	54	2	2	0	0
	Підлога	Кусл	108	2	32	0	680
	Стеля	0,42	108	2	32	22,3	2372
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт						3786
Камера №2		К, Вт/(м²К)	F, м²	тк, °С	тн, °С	Δtc, °С	Q1, Вт
	Північ	0,34	72	2	32	0	734
	Захід	0,47	54	2	2	0	0
	Південь	0,47	72	2	2	0	0
	Схід	0,34	54	2	32	0	551
	Підлога	Кусл	108	2	32	0	938
	Стеля	0,42	108	2	32	22,3	2372
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ2, Вт						4595
Камера №3		К, Вт/(м²К)	F, м²	тк, °С	тн, °С	Δtc, °С	Q1, Вт
	Північ	0,47	72	2	2	0	0
	Захід	0,47	54	2	2	0	0
	Південь	0,34	72	2	32	0	734
	Схід	0,34	54	2	2	0	0
	Підлога	Кусл	108	2	32	0	680
	Стеля	0,42	108	2	32	22,3	2372
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ3, Вт						3786
Камера №4		К, Вт/(м²К)	F, м²	тк, °С	тн, °С	Δtc, °С	Q1, Вт
	Північ	0,47	72	2	2	0	0
	Захід	0,47	54	2	2	0	0
	Південь	0,34	72	2	32	0	734
	Схід	0,34	54	2	32	0	551
	Підлога	Кусл	108	2	32	0	938
	Стеля	0,42	108	2	32	22,3	2372
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ4, Вт						4595
Камера №5		К, Вт/(м²К)	F, м²	тк, °С	тн, °С	Δtc, °С	Q1, Вт
	Північ	0,47	72	2	2	0	0
	Захід	0,47	54	2	18	0	482
	Південь	0,34	72	2	32	0	734
	Схід	0,47	54	2	2	0	0
	Підлога	0,48	108	2	32	0	938
	Стеля	0,42	108	2	32	22,3	2372
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ5, Вт						4526
Камера №6		К, Вт/(м²К)	F, м²	тк, °С	тн, °С	Δtc, °С	Q1, Вт
	Північ	0,34	72	2	32	0	734
	Захід	0,47	54	2	18	0	482
	Південь	0,47	72	2	2	0	0
	Схід	0,47	54	2	2	0	0
	Підлога	0,48	108	2	32	0	938
	Стеля	0,42	108	2	32	22,3	2372
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ6, Вт						4526

Розрахунки решти теплопритоків проводимо по двох режимах:
первинне охолодження вантажу і подальше його тривале зберігання.

3.2 Розрахунок теплопритоків від вантажів при їх холодильній обробці

Теплопритокі від холодильної обробки вантажу розраховують по формулі:

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

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

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

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

$\tau_{\text{р}}$ – час, в перебігу якого споживається холод, год;

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

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

$G_{\text{к}}$ – ємність камери, кг.

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо теплоприток при охолодженні вантажу:

$$Q_{2гр}=190000 \cdot 4 / (3.6 \cdot 24) = 8796 \text{ Вт.}$$

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

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

де C_T – теплоємність тари, приймаємо для дерева $C_T = 2.5 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$,
для джутових мішків $C'_T = 1.2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

G_T – маса тари, кг, приймаємо для дерев'яних ящиків в кількості 20%
від маси вантажу, для джутових мішків 10%.

t_1, t_2 – температура тари при початковій і кінцевій температурі,
відповідно $^{\circ}\text{C}$.

Визначуваний теплоприток від охолодження тари:

$$Q_{2тары}=0.1 \cdot 190000 \cdot 1.2 \cdot 1 / (3.6 \cdot 24) = 264 \text{ Вт.}$$

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

Загальний теплоприток від обробки вантажу в режимі охолодження:

$$Q_2 = (8796 + 264) \cdot (24/24) = 9060 \text{ Вт}$$

У режимі зберігання $Q_2 = 0$

3.3. Розрахунок теплопритоків при вентиляції камери

Теплопритокі від вентиляції камери визначаються по формулі:

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $V_{\text{стр}}$ – будівельний об'єм камери м^3 , $V_{\text{стр}}=12 \cdot 9 \cdot 6=648 \text{ м}^3$;

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

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

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

Теплоприток від вентиляції:

у режимі охолодження: $Q_3=648 \cdot 6 \cdot 1.016 \cdot (74-12)/(3.6 \cdot 24)=2834 \text{ Вт}$

у режимі зберігання: $Q_3=648 \cdot 3 \cdot 1.016 \cdot (74-12)/(3.6 \cdot 24)=1417 \text{ Вт}$.

3.4. Розрахунок експлуатаційних теплопритоків

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

Сумарні експлуатаційні теплопритоки визначаються по формулі:

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

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

Q_4'' - теплопритоки от електродвигунів, Вт;

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплоприток від електричного освітлення визначається по формулі:

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

де q_4' – норма щільності освітлення, приймаємо 3 Вт/м²;

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

Теплоприток від освітлення:

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

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

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

Теплоприток від електродвигунів повітроохолоджувачів визначаємо по формулі:

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

де $j_{\text{дв}}$ – коефіцієнт одночасності роботи, в режимі охолодження приймаємо $j_{\text{дв}}=0.5$, в режимі зберігання приймаємо $j_{\text{дв}}=0.3$;

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

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

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

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

$$\text{У режимі охолодження: } \sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.23 \cdot (4600 + 9064 + 2834) = 4064 \text{ Вт}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Визначаємо теплоприток від електродвигунів апаратів:

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

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

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

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

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

Визначуваний теплоприток від людей:

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

Теплопритоки від інфільтрації через двері визначаються по формулі:

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

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

Теплоприток від інфільтрації через двері:

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

Сумарні експлуатаційні теплопритоки:

У режимі охолодження: $Q_4 = 162 + 2032 + 516 + 972 = 3682 \text{ Вт}$

У режимі зберігання: $Q_4 = 97 + 173 + 516 + 972 = 1758 \text{ кВт}$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.5 Розрахунок теплопритоків від дихання охолоджених овочів

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

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

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

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

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

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

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

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

Тепловиділення овочів визначаються:

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

де q_0 – тепловиділення овочів при 0 °С;

b – температурний коефіцієнт швидкості дихання, °С⁻¹.

Для $t_{\text{п}} = 20$ °С:

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо теплопритоки від дихання овочів в режимі охолодження:

$$Q_5 = 34.3 \cdot 190 = 6517 \text{ Вт}$$

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

Для $t_{\text{п}} = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и :

$$q_5 = 10 \cdot e^{0.0617 \cdot 2} = 11.3 \text{ Вт/т.}$$

Визначаємо теплопритоки від дихання овочів в режимі зберігання:

$$Q_5 = 11.3 \cdot 190 = 2147 \text{ Вт.}$$

Таблиця 3.3 – Звідна таблиця теплопритоків

		Q ₁ , Вт	Q ₂ , Вт	Q ₃ , Вт	Q ₄ , Вт	Q ₅ , Вт	ΣQ _{кам} , Вт
К. №1	Охолодження	3786	9060	2834	3682	6517	23050
	Зберігання	3786	0	1417	1758	2147	8718
К. №2	Охолодження	4595	9060	2834	3682	6517	23859
	Зберігання	4595	0	1417	1758	2147	9527
К. №3	Охолодження	3786	9060	2834	3682	6517	23050
	Зберігання	3786	0	1417	1758	2147	8718
К. №4	Охолодження	4595	9060	2834	3682	6517	23859
	Зберігання	4595	0	1417	1758	2147	9527
К. №5	Охолодження	4526	9060	2834	3682	6517	21747
	Зберігання	4526	0	1417	1758	2147	9458
К. №6	Охолодження	4526	9060	2834	3682	6517	21747
	Зберігання	4526	0	1417	1758	2147	9458

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

усередині труб, в кількості 4 штук в кожній камері, які забезпечать рівномірне температурно-вологове поле в процесі охолодження.

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

Сумарне навантаження на компресора системи в режимі охолодження вантажу:

$$\Sigma Q_0=23050+23859+21747+23050+23859+21747=137312 \text{ кВт}$$

Сумарне навантаження на компресора системи в режимі зберігання вантажу: $\Sigma Q_0=8718+9527+9458+8718+9527+9458=55406$ кВт.

Встановлюємо паралельно 3 компресори з холодопродуктивністю 55.5 кВт, що мають загальну лінію всмоктування і нагнітання. У режимі охолодження вони забезпечать повний технологічний режим, а в режимі зберігання одночасно працюватиме один з них, з перемиканням по виробленню моторесурсу.

Теплове навантаження на один компресор, визначається з урахуванням втрат в системі при безпосередньому охолодженні у розмірі 3 %, $k=1.03$, і коефіцієнта робочого часу $b=0.9$:

$$Q_{0 \text{ комп}}=k \cdot Q_0/b=1.03 \cdot 55.5/0.9=63 \text{ кВт} \quad (3.19)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Тепловий розрахунок холодильної системи

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

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

Як прилади охолодження в камерах будуть використані підвісні повітроохолоджувачі. Температура кипіння агента в таких апаратах приймається на 7-10 К нижче за розрахункову температуру повітря в камері.

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

При роботі на хладоні R407C, який використовуватиметься як холодильний агент, немає необхідності в додатковому перегріві на всмоктуванні, для забезпечення безпечної роботи компресорів, тому регенеративний теплообмінник в системі відсутній.

Тепловий розрахунок буде проводитись за наступними даними:

- температура кипіння R407C $t_0 = -3 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- потрібна холодопродуктивність $Q_{0 \text{ комп}} = 63 \text{ кВт}$;
- температура конденсації агента $t_k = 42 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- сумарний перегрів на всмоктуванні $\Theta = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- переохолодження після конденсатора $\Delta t_{\text{по}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

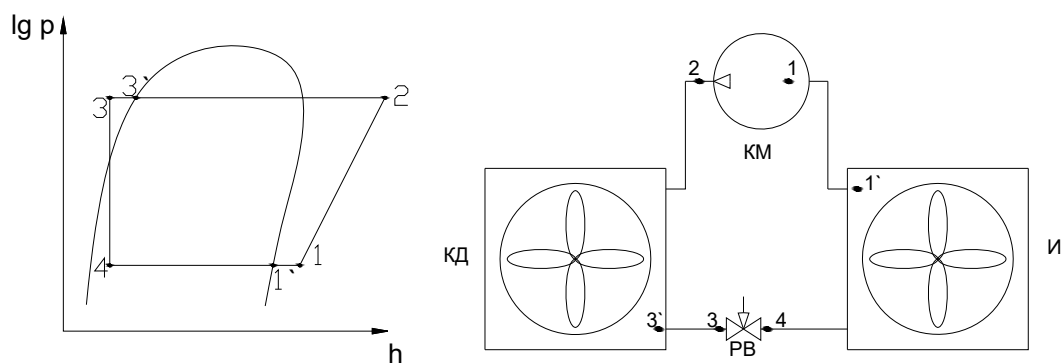


рис. 4.1 – Термодинамічний цикл і умовна схема холодильної машини

Процеси, відбиті в циклі:

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

Питомі характеристики циклу:

Питомі характеристики циклу:

- питома масова продуктивність:

$$q_0 = h_{1'} - h_4 \quad (4.1)$$

- питома об'ємна продуктивність

$$q_v = q_0 / v_1 \quad (4.2)$$

- питома адіабатна робота стискування

$$l = h_2 - h_1 \quad (4.3)$$

Масова витрата агента:

$$M_a = Q_0 / q_0 \quad (4.4)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_d = M_a \cdot v_1 \quad (4.5)$$

Коефіцієнт подачі компресора:

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

$$\lambda'_w = (T_0 + \Theta) / (\alpha \cdot T_k + \beta \cdot \Theta)$$

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda'_w$$

Об'єм, описаний поршнями компресора:

$$V_h = V_d / \lambda \quad (4.7)$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = M_a \cdot l \quad (4.8)$$

Індикаторний ККД компресора:

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

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = N_a / \eta_i \quad (4.10)$$

Потужність тертя:

$$N_{тр} = V_h \cdot P_{тр} \quad (4.11)$$

Ефективна потужність компресора:

$$N_e = N_i + N_{тр} \quad (4.12)$$

Електрична потужність компресора:

$$N_{эл} = N_e / \eta_{эл} \quad (4.13)$$

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок проводимо в середовищі програми CoolPack

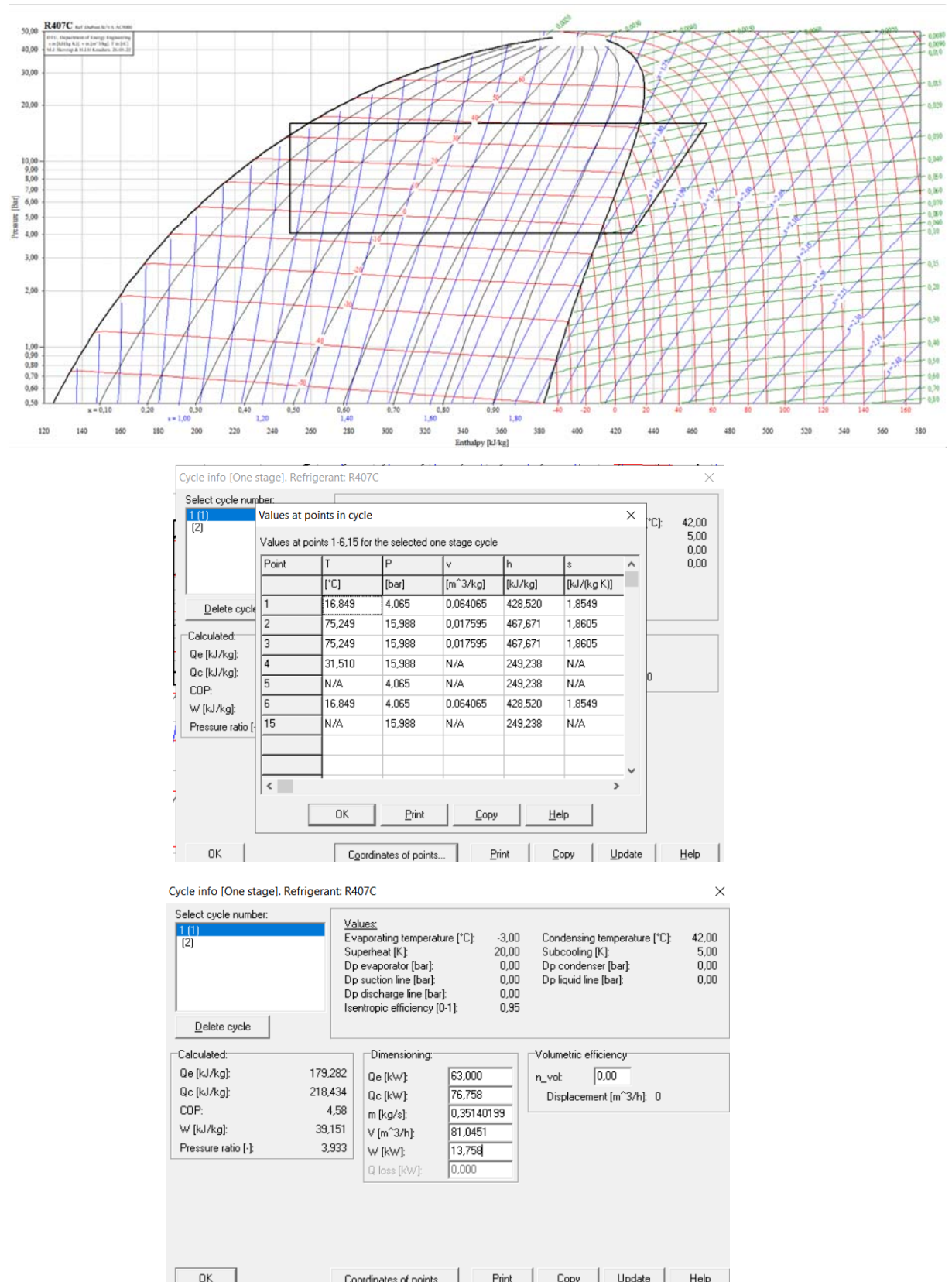


Рис.4.2. – Параметри розрахункового циклу

5 Розрахунок повітряного конденсатора

За результатами теплового розрахунку:

$$\sum Q_k = 3 \cdot 76.8 = 231 \text{ кВт}$$

Приймаємо для відведення теплоти конденсації три повітряні конденсатори з продуктивністю кожного $Q_k = 77 \text{ кВт}$

Дані для розрахунку:

Теплове навантаження: $Q_k = 77 \text{ кВт}$

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

Відносна вологість зовнішнього повітря: $\phi_n = 0.6$

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

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

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

Крок ребер: $u = 0.008 \text{ м}$

Ширина ребра: $B = 0.044 \text{ м}$

Матеріал труб/ребер: мідь/алюміній

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

Розташування труб в пучку: шахове

Форма ребра: пластинчасте

Агент: R407C

5.1 Тепловий розрахунок конденсатора

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

Розраховуємо геометричні характеристики ребра:

- зовнішня поверхня ребра:

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

- зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

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

- внутрішня поверхня труби ребристого елемента:

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

- повна зовнішня поверхня ребристого елемента:

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

- коефіцієнт обребрення β и ступінь обребрення ϕ_n :

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

$$\phi_n = f_{п} / f_{tr} = 2.2 / 0.5 = 4.4$$

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

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Критерій Рейнольдса визначаємо по формулі:

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

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

Критерій Нуссельта для пластинчастого ребра визначаємо по формулі:

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

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

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ребра до повітря визначаємо по формулі:

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

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

Умовна висота ребра для пластинчастих ребер визначаємо по формулі:

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

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт ефективності ребра визначаємо по формулі:

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

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

Приведений коефіцієнт тепловіддачі визначаємо по формулі:

$$\alpha_{пр} = \alpha_k \cdot (f_p \cdot E / f_{п} + 1 / \varphi_n), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (5.7)$$

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

Розрахункові дані для визначення термічного опору шару мастила:

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

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

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

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

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

Властивості агента (R407C) визначаємо за довідковими даними [2] при визначальній температурі конденсації t_k :

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

$$q = 4^{-1} \cdot 0.72 \cdot [9.81 \cdot 165 \cdot 10^3 \cdot 1120^2 \cdot 0.0756^3 \cdot (2.2 \cdot 10^{-4} \cdot 0.02)^{-1}]^{0.25} \cdot (42 - t_{ст})^{-0.75} = 678 \cdot (42 - t_{ст})^{-0.75}$$

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

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

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

Вирішуючи спільно систему рівнянь 5.9 і 5.10, визначимо шукану щільність теплового потоку через стінку: $q = 170 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Повну обребрену поверхню апарату визначаємо по формулі:

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

$$F = 77 \cdot 10^3 / 170 = 453 \text{ м}^2$$

5.2 Конструктивний розрахунок апарату

Об'ємна витрата повітря через апарат визначається по формулі:

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

$$V = 77 / (1.16 \cdot 1.005 \cdot 5) = 13.2 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площа «живого» перетину конденсатора: $F_{ж} = V / w = 13.2 / 8 = 1.68 \text{ м}^2$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарна довжина труб в апараті: $\sum L = F_{\text{ж}}/f_{\text{п}} = 1.68/(2.2 \cdot 10^{-3}) = 770 \text{ м}$

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

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

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

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

Сумарна довжина труб у фронтальному перетині пучка:

$$\sum L_{\text{ф}} = u \cdot n_{\text{рз}} = 0.008 \cdot 11604 = 92.8 \text{ м}$$

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

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

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

Орієнтовні геометричні розміри конденсатора:

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

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

Число труб у фронтальному перетині апарату з округленням до цілого:

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

Дійсні геометричні розміри конденсатора:

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

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

Число труб уздовж потоку повітря, з округленням до цілого:

$$N = \sum L / \sum L_{\text{ф}} = 772/92.8 \approx 8$$

$$\text{Висота секції: } H_{\text{к}} = S_2 \cdot N = 0.088 \cdot 8 = 0.704 \text{ м}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 Розрахунок повітроохолоджувача

У розрахунку використовуються наступні дані:

- холодопродуктивність апарату $Q_0=6000$ Вт;
- температура повітря камери $t_k=2$ °C;
- відносна вологість повітря камери $\phi_k=0.9$;
- швидкість повітря в живому перетині $V_v=3$ м/с;
- форма ребра – кругле;
- матеріал труб сталь $\lambda_{тр}=50$ Вт/(м·K), $d_n=0.02$ м, $d_{вн}=0.016$ м;
- матеріал ребер алюміній $\lambda_p=150$ Вт/(м·K),
- крок ребер $u=0.008$ м, висота ребра $h_p=0.02$ м, товщина ребра у підстави $\delta_{ор}=0.002$ м, у вершини $\delta_{вр}=0.0006$ м діаметр ребра $D_p=0.063$ м;
- температура кипіння агента (R 407C) $t_0=-5$ °C;
- товщина інею, що осів $\delta_i=0.0015$ м, $\lambda_i=0.2$ Вт/(м·K).

Розрахунок

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

Температура на виході з апарату:

$$t_b = t_k - \Delta t = 2 - 2 = 0 \text{ °C}$$

Середня температура повітря:

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

Задаємося середньою температурою поверхні ПО, покритою інеєм:

$$t_n = -2.9 \text{ °C}.$$

По таблицях визначаємо вологовміст насиченого повітря при:

$$t_k - d_k'' = 0.0044 \text{ кг/кг}; t_n - d_n'' = 0.003 \text{ кг/кг}; t_b - d_b'' = 0.0038 \text{ кг/кг}.$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вологовміст повітря в камері при t_k по таблиці $d_k=0.0039$ кг/кг

Вологовміст на виході з повітроохолоджувача:

$$d_B = d_k - (d_k - d_{п''}) \cdot (t_k - t_B) / (t_k - t_{п}) \quad [\text{кг/кг}] \quad (6.1)$$

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

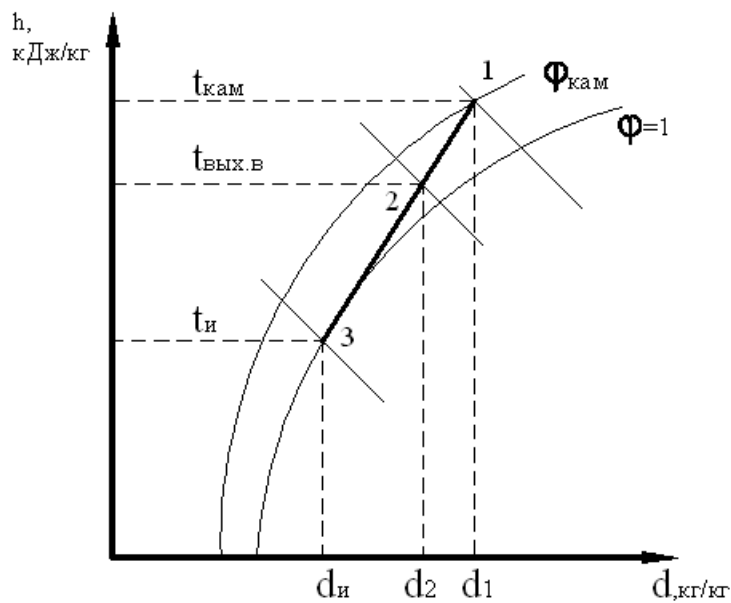


рис. 6.1 – Процес обробки повітря у повітряохолоджувачі в $h-d$ діаграмі.

Відносна вологість на виході з апарату:

$$\phi_B = d_B / d_{B''} = 0.0035 / 0.0038 = 0.93$$

Ентальпія повітря визначається по формулі:

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Поперечний і подовжній крок труб при коридорній компоновці:

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

Геометричні параметри прийнятого ребристого елемента.

Зовнішня поверхня ребра:

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

$$=5.7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

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

Внутрішня поверхня труби ребристого елемента:

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

Повна зовнішня поверхня ребристого елемента:

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

Коефіцієнт обребрення:

$$\beta = f_{п}/f_{вн}=6.1/0.4=15.2$$

Ступінь обребрення:

$$\phi = f_{п}/(\pi \cdot d_n \cdot u)=6.1/(\pi \cdot 0.02 \cdot 0.008)=12.14$$

Умовний ступінь обребрення:

$$\beta_n = f_{п}/f_{тр}=6.1/0.38=16.19$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Геометричні характеристики поверхні інею.

Зовнішня поверхня інею на ребрі:

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

Внутрішня поверхня інею на трубі між двома суміжними ребрами:

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

Повна зовнішня поверхня інею на ребристому елементі:

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

Коефіцієнт обребрення поверхні, покритої інеєм:

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

Площа `живого` перетину одного ребристого елемента з інеєм:

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

Теплообмін з боку повітря.

Теплофізичні властивості повітря при t_c :

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт вологовипадіння визначається по формулі:

$$\xi=1+(d_k \cdot \varphi_k - d_n) \cdot (2835 - 2.09 \cdot t_n) / [(1.006 + 1.87 \cdot d_n) \cdot (t_k - t_n)] \quad (6.3)$$

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

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

Визначальний розмір:

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

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

Число Рейнольдса:

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

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

Число Нуссельта:

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

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні повітроохолоджувача до повітря:

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

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

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

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

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

Умовна висота ребра:

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

Безрозмірний комплекс

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

Коефіцієнт ефективності ребра:

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

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

Коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддачі по висоті ребра:

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елементу:

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

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

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби:

$$q_v = \alpha_v \cdot \xi \cdot \beta_i \cdot (t_c - t_{п}) \quad [\text{Вт}/\text{м}^2] \quad (6.11)$$

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

Коефіцієнт тепловіддачі в трубах апарату:

$$\alpha_0 = 32 \cdot \omega p^{0.47} \cdot q_v^{0.15} [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})] \quad (6.12)$$

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

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

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні інею:

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні сухої поверхні:

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

Перевіряємо раніше прийняту температуру поверхні апарату:

- щільність теплового потоку, віднесена до зовнішньої поверхні інею:

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

- розрахункова різниця температур:

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

- відносна погрішність прийнятої і розрахункової різниці температур:

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

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

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

Компонувальний розрахунок повітроохолоджувача.

Конструктивно проєктований повітроохолоджувач складатиметься з двох однакових теплообмінних секцій, через які прокачуватиметься вентиляторами тепле повітря, що відводиться з штабелів вантажу. Відповідно, холодопродуктивність і зовнішня площа кожної секції складатиме половину від розрахункових.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'ємна витрата повітря через секцію повітроохолоджувача:

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

$$V_B = 3 / [1.29 \cdot (13.08 - 9.99)] = 0.75 \text{ м}^3/\text{с}$$

По графіках характеристик вентиляторів вибираємо 2 вентилятор марки ВО-12-303-4 при орієнтовному натиску $H=120$ Па з діаметром вентилятора $D_B=0.4$ м.

Мінімальний `живий` перетин повітроохолоджувача:

$$F_{\text{ж}} = V_B / w_B = 0.75 / 3 = 0.25 \text{ м}^2$$

Площа фронтального перетину повітроохолоджувача:

$$F_{\phi} = F_{\text{ж}} \cdot S_1 \cdot u / f_{\text{ж}} = 0.25 \cdot 0.069 \cdot 0.008 / 0.00044 = 0.32 \text{ м}^2$$

Задаємося орієнтовною довжиною теплообмінної секції $L'=1$ м, тоді ширина секції : $H'=F_{\phi} / L' = 0.32 / 1 = 0.32$ м.

Число труб у фронтальному перетині пучка з округленням до цілого:

$$z_1 = H' / S_1 = 0.32 / 0.069 = 4.6$$

Приймаємо дійсне число труб $z_1=5$ шт

Дійсна ширина і довжина секції:

$$H = z_1 \cdot S_1 = 5 \cdot 0.069 = 0.345 \text{ м}$$

$$L = F_{\phi} / H = 0.32 / 0.345 = 0.92 \text{ м}$$

Кількість труб по ходу повітря з округленням до найближчого більшого цілого: $z_2 = F_H / [f_{\text{п}} \cdot (F_{\text{ж}} / f_{\text{ж}})] = 40 / [0.0061 \cdot (0.25 / 0.00038)] = 10$ шт

Розрахункові параметри теплообмінної поверхні:

- сумарна довжина труб апарату:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

- площа зовнішньої поверхні:

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

- глибина секції:

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

Перевірка по аеродинамічному опору.

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

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

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

Коефіцієнт, що враховує лінійні розміри ребер:

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

Коефіцієнт, що враховує фізичні властивості повітря:

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

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

Т.ч.

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 Підбір компресорів та допоміжного устаткування, розрахунок магістральних трубопроводів

7.1 Підбір компресорів, конденсаторів та повітроохолоджувачів

Підбір компресорів здійснимо по потрібній холодопродуктивності на один компресор в режимі зберігання $Q_0=63$ кВт з параметрами роботи, представленими при тепловому розрахунку. Вибираємо три поршневі компресори фірми Bitzer марки 6J-22.Y-40P з холодопродуктивністю за даних умов $Q_0=62.3$ кВт і споживаною електричною потужністю $N_{эл}=23.2$ кВт.

Для відведення теплоти конденсації в даній холодильній системі використовуємо повітряні конденсатори. Розрахункове теплове навантаження може бути визначена за даними теплового розрахунку як:

$$\sum Q_k = 3 \cdot (Q_{0 \text{ комп}} + N_e) = 3 \cdot (63 + 21) = 252 \text{ кВт}$$

Вибираємо трі повітряні конденсатори фірми Alfa-Laval марки ACS802B-C потужністю 86.8 кВт при розрахунковій температурі конденсації $t_k=42$ °C.

У камерах схову вантажу для забезпечення температурного режиму і рівномірного температурного поля буде встановлено по 4 підвісних стельових повітроохолоджувача з розрахунковою холодопродуктивністю по $Q_0=6$ кВт. Приймаємо повітроохолоджувачі марки Alfa-Laval TGL36-S4P с холодопродуктивністю $Q_0=6.4$ кВт.

7.2 Розрахунок магістральних трубопроводів

Об'ємна витрата агента:

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де ρ – щільність агента за відповідних умов, кг/м^3 .

Діаметр трубопроводу, що розраховується:

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

де w – орієнтовна швидкість агента, що приймається виходячи з умов роботи трубопроводу м/с .

Нагнітальний трубопровід для одного компресора:

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

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

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

Приймаємо на нагнітанні мідну трубу 24×1.5 .

Всмоктуючий трубопровід для одного компресора:

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

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

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

Приймаємо на всмоктуванні мідну трубу 55×2.5 .

Трубопровід на сливі від конденсаторів до ресивера:

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

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

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

Приймаємо на рідинному зливі мідну трубу 45×2.5 .

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.3 Підбір допоміжного устаткування

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

Лінійний ресивер для даної холодильної системи безпосереднього охолодження підбирається з розрахунку, що його об'єм складає не менше 60% об'єму повітроохолоджувачів. При цьому робоче заповнення ресивера складає 50%. Загальний внутрішній об'єм повітроохолоджувачів можна визначувати виходячи їх конструктивних характеристик і числа повітроохолоджувачів: $V_{исп}=24 \cdot 0.25 \cdot \pi \cdot d_{вн}^2 \cdot \Sigma L = 24 \cdot 0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.016^2 \cdot 97.2 = 0.47 \text{ м}^3$.

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

$$V_{л} = (0.6 \cdot V_{исп} / 0.5) \cdot 1.2 = (0.6 \cdot 0.47 / 0.5) \cdot 1.2 = 0.68 \text{ м}^3.$$

Як лінійні ресивери використовують горизонтальні або вертикальні циліндрові судини. По місткості підбираємо горизонтальний ресивер 0.75PB, який може використовуватися при робочому тиску до 1.8 МПа в діапазоні температур від -15 до +47 °С. Обичайки ресивера зварні, запобіжні клапани мають умовний прохід D_y 15мм.

Віддільники рідини включають в систему для захисту компресора від попадання в них рідкого хладагента. Віддільник рідини повинен бути забезпечений автоматичними приладами, що вимикають компресор при небезпечній зміні рівня рідини в судині. У системах безпосереднього кипіння, при регулюванні заповнення приладів охолодження по перегріву пари при нормальній експлуатації, в судині не повинно бути рідини.

Рідина відділяється від пари унаслідок різкої зміни швидкості і напрямку руху холодильного агента. Швидкість пари в судині не повинна

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищувати 0.5 м/с. Він є зварною вертикальною циліндровою судиною, що має патрубки і штуцера для приєднання рідинної і парових ліній, зрівняльної лінії, автоматичних приладів і манометра. Судина розрахована на робочий тиск не більше 1,5 мПа в робочому діапазоні температур от -50 до +40 °С. Підбираємо віддільник рідини фірми Sanrong марки SR-208.

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

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

Для захисту віддільника рідини від переповнювання, а так само зберігання агента при тривалій зупинці холодильної машини, в системі передбачений захисний дренажний ресивер. Підбір апарату здійснюється аналогічно лінійному ресиверу, т.ч. як дренажний вибираємо горизонтальний ресивер 0.75РВ.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8 Охорона праці

Аналіз небезпек на хладонових холодильних установках.

Властивості хладона-R-407C.

Хладон R-407C — безбарвний газ зі слабо вираженим специфічним запахом, який практично не відчувається при невеликих концентраціях у повітрі. При підвищенні температури понад 400 °C холодоагент починає розкладатися з утворенням токсичних сполук — фтористого водню, хлористого водню та інших продуктів термічного розпаду. У зв'язку з цим у приміщеннях, де використовується R-407C, забороняється застосування відкритого полум'я, проведення зварювальних робіт без спеціальних заходів безпеки та паління.

Хладон R-407C є негорючим холодоагентом, не утворює вибухонебезпечних сумішей з повітрям та не підтримує горіння за нормальних умов експлуатації. Густина пари холодоагенту значно перевищує густину повітря, тому при значних витоках він може накопичуватися у нижній частині приміщень, витісняючи кисень та створюючи небезпеку задухи для персоналу.

Холодоагент R-407C належить до малотоксичних речовин і за ступенем впливу на організм людини відноситься до 4-го класу небезпеки. При високих концентраціях у повітрі та тривалому перебуванні людини в зоні витоку можливі запаморочення, кисневе голодування, втрата свідомості та інші ознаки асфіксії. Тому машинні відділення та холодильні камери повинні бути обладнані ефективною вентиляцією та системами контролю витоків холодоагенту.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Категорія приміщень за рівнем вибухопожежної та пожежної небезпеки.

Холодильні установки, що працюють на хладоні, згідно з класифікацією вибухопожежної небезпеки належать до категорії Д. До цієї категорії відносять виробництва, у яких здійснюється обробка негорючих матеріалів і речовин у холодному стані, зокрема цехи холодильної обробки продукції. Приміщення, де експлуатуються хладонові системи, вважаються нормальними за вибухонебезпечністю, тобто такими, що не належать до вибухонебезпечних зон.

Організація безпечної експлуатації хладонових холодильних установок.

Основним завданням організаційних заходів із забезпечення безпеки праці на холодильних установках є створення умов, за яких експлуатація обладнання здійснюється без ризику для персоналу. Це досягається шляхом постійного контролю технічного стану установки, дотриманням правил монтажу, експлуатації та ремонту обладнання, а також підтриманням належного рівня професійної підготовки працівників.

Керівництво підприємства забезпечує холодильну установку необхідною кількістю обслуговуючого персоналу. Наказом по підприємству призначається відповідальна особа, яка контролює технічний стан установки та відповідає за її надійну і безпечну роботу. До її обов'язків входить ведення обліку судин і апаратів, контроль їх експлуатації та організація своєчасних технічних оглядів.

Практична підготовка персоналу здійснюється під наглядом досвідчених спеціалістів. Стажування проводиться з метою набуття необхідних навичок роботи з холодильним обладнанням і вивчення особливостей його експлуатації на конкретному підприємстві.

Ефективний контроль за станом холодильної установки неможливий без правильного ведення технічної документації. На

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підприємстві повинні оформлюватися журнали роботи компресорного відділення, журнали інструктажів, акти пломбування запобіжної арматури, книги обліку технічних оглядів обладнання, паспорти судин та плани ліквідації аварійних ситуацій. Усі інструкції з охорони праці доводяться до персоналу під особистий підпис.

Вимоги до приміщень холодильних установок.

Склад та площа побутових приміщень визначаються специфікою виробництва. Під час їх проєктування необхідно дотримуватися встановлених санітарних розривів. Приміщення мають бути оснащені системами водопостачання, каналізації, вентиляції та опалення.

До питної води, яка використовується на підприємстві, висуваються певні вимоги. Її температура повинна становити від 20 до 28 °С, а склад не повинен містити шкідливих домішок чи забруднень.

Дії персоналу в аварійних ситуаціях.

У випадку порушення герметичності холодильного контуру працівники повинні негайно вимкнути електроживлення установки за допомогою аварійних кнопок відключення та надати постраждалим домедичну допомогу. На компресорах перекриваються всмоктувальні й нагнітальні вентилі, а на апаратах – арматура трубопроводів подачі та відведення хладону.

Якщо виникла пожежа, яку неможливо ліквідувати наявними засобами пожежогасіння, холодильну установку відключають від електромережі з боку підстанції. Подальші дії персоналу виконуються відповідно до затвердженої інструкції з пожежної безпеки та плану ліквідації аварій.

Вимоги до розміщення обладнання та трубопроводів.

Усі елементи холодильної установки, що містять хладон, окрім зовнішніх апаратів та випарників систем кондиціонування з безпосереднім охолодженням, повинні розміщуватися у спеціальному машинному відділенні висотою не менше 4,5 м. Допускається

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлення в цьому ж приміщенні кондиціонерів, які обслуговуються даною установкою.

Холодильні установки можуть розташовуватися у комбінованих машинних відділеннях за умови, що в них працює лише персонал, який пройшов інструктаж з техніки безпеки. Крім того, концентрація холодоагенту R407C у приміщенні не повинна перевищувати 0,35 кг на 1 м³ об'єму.

Устаткування, апарати та трубопроводи в місцях можливих механічних пошкоджень мають бути надійно захищені. Конструкція трубопроводів повинна забезпечувати можливість температурного подовження без виникнення деформацій або порушення герметичності з'єднань.

Оснащення холодильних установок системами контролю та захисту.

Кожна холодильна установка на хладоні повинна обладнуватися реле тиску, яке автоматично зупиняє компресор у разі перевищення допустимого тиску нагнітання. Для холодоагенту R407C межі спрацювання становлять від 12 до 20 кгс/см².

На компресорах обов'язково встановлюють реле контролю мастила, яке вимикає компресор при зниженні тиску мастила нижче допустимого рівня. Компресори з водяним охолодженням повинні оснащуватися автоматичними приладами контролю роботи системи охолодження.

Випарники холодильних установок обладнуються автоматикою, що регулює подачу рідкого хладону та припиняє її при зупинці компресора. Установки з кожухотрубними випарниками мають бути оснащені захистом, який вимикає компресор або від'єднує випарник у разі припинення циркуляції води чи розсолу.

Якщо установка містить декілька паралельно підключених компресорів, необхідно передбачати автоматичні пристрої для

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перерозподілу мастила між компресорами та холодоагенту між випарниками системи.

Правила безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском.

Судиною, що працює під тиском, вважається герметична ємність, призначена для здійснення теплових або хімічних процесів. Усі апарати та судини холодильних установок підпадають під дію нормативних документів щодо безпечної експлуатації обладнання, яке працює під тиском.

Найбільш поширеними причинами аварій є перевищення допустимого тиску, порушення температурного режиму, зниження механічної міцності судини, помилки в технологічному процесі, а також недостатня кваліфікація персоналу.

Виготовлення таких судин дозволяється лише підприємствам, які мають відповідну технічну базу та офіційний дозвіл органів державного нагляду. Перед введенням в експлуатацію всі судини повинні пройти державну реєстрацію та технічні випробування.

Для холодильних установок допускається заміна гідравлічних випробувань пневматичними. Після проведення перевірок результати обов'язково заносяться до паспорта судини.

Електробезпека.

Електробезпека являє собою комплекс технічних і організаційних заходів, спрямованих на захист працівників від небезпечної дії електричного струму, електричної дуги та електромагнітного поля. Машинне відділення та холодильні камери належать до приміщень із підвищеним рівнем небезпеки ураження електричним струмом. Це обумовлено високою вологістю, наявністю струмопровідних підлог та щільним розташуванням обладнання.

Для забезпечення безпечної роботи електроустановок застосовують захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів, автоматичне захисне відключення, електричне розділення мереж, використання малої

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напруги, ізоляцію струмоведучих частин, захисні огороження та блокування.

Найпоширенішим способом захисту є захисне заземлення. Воно передбачає навмисне електричне з'єднання металевих неструмоведучих частин обладнання із землею. Такий захід дозволяє запобігти ураженню електричним струмом у разі появи напруги на корпусі електроустановки.

Розрахунок заземлення.

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

Вибираємо тип і геометричні розміри заземлень: контурне – $l = 2$ м; $d = 40$ мм.

Відстань між вертикальними заземленнями вибираємо рівним $L = 1$ м.

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту (чорнозем):

$$\rho_{\text{расч.}} = \rho_{\text{физ.}} \cdot \psi, \quad (8.1)$$

де $\rho_{\text{физ.}} = 30$ Ом – питомий опір ґрунту [5];

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

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

Опір одного вертикального заземлювача з урахуванням опору ґрунту.

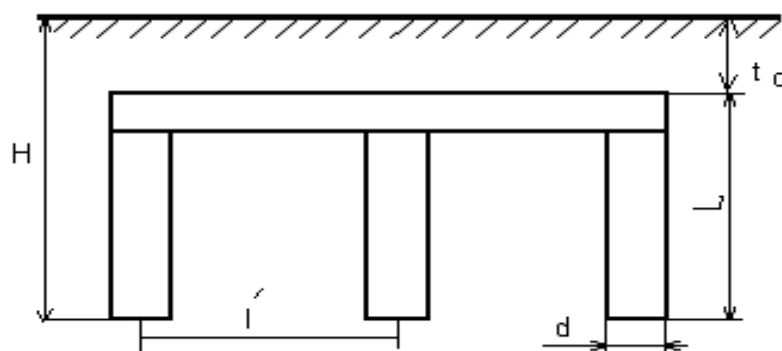


Рис. 8.1 – Схема заземлення

$$R_{стр.} = \frac{\rho_{расч.}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + l}{4H - l} \right), \text{ Ом} \quad (8.2)$$

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

$$R_{стр.} = \frac{33}{2 \cdot \pi \cdot 1} \left(\ln \frac{2 \cdot 1}{0.04} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1.5 + 1}{4 \cdot 1.5 - 1} \right) = 137 \text{ Ом}$$

Визначимо кількість вертикальних заземлювачів

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

Визначаємо опір системи вертикальних заземлювачів

$$R_{СВ} = \frac{R_{стр.}}{\eta \cdot n} = \frac{137}{0.55 \cdot 34} = 7.3 \text{ Ом} \quad (8.4)$$

η – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів [5].

Довжина сполучної смуги при розміщенні по контуру:

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

Опір смуги з урахуванням опору ґрунту:

$$R_{пол.} = \frac{\rho_{расч.}}{\eta \cdot 2 \pi \cdot l_{пол.}} \ln \frac{l_{пол.}^2}{d \cdot t_0} = \frac{33}{0.27 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 120} \ln \frac{120^2}{0.04 \cdot 1} = 2.1 \text{ Ом} \quad (8.5)$$

Загальний опір всієї системи

$$R_{общ.} = \frac{R_{общ.ст.} \cdot R_{пол.}}{R_{общ.ст.} + R_{пол.}} = \frac{5.7 \cdot 2.1}{5.7 + 2.1} = 1.54 \text{ Ом} \quad (8.6)$$

Пожежна безпека.

Комплекс заходів із забезпечення пожежної безпеки поділяється на кілька основних напрямків: організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні заходи.

До організаційних заходів належать правильна експлуатація обладнання, належне утримання виробничих будівель і території підприємства, проведення протипожежних інструктажів для працівників та контроль за виконанням вимог пожежної безпеки.

Технічні заходи спрямовані на дотримання протипожежних норм і правил під час проєктування будівель та монтажу інженерних систем. Це стосується електропроводки, вентиляції, систем опалення, освітлення, а також раціонального розміщення технологічного обладнання у виробничих приміщеннях.

Режимні заходи передбачають встановлення певних правил поведінки на території підприємства. Зокрема, забороняється паління у невизначених місцях, а також використання відкритого вогню в небезпечних зонах.

До експлуатаційних заходів відносять регулярне проведення профілактичних оглядів, технічного обслуговування, випробувань та ремонту обладнання для запобігання виникненню аварійних ситуацій і загорянь.

Матеріали, які застосовуються для оздоблення приміщень та виготовлення захисних конструкцій, повинні характеризуватися високою вогнестійкістю. Будівля має бути обладнана щонайменше двома евакуаційними виходами для забезпечення безпечної евакуації людей у разі пожежі. У виробничих приміщеннях рекомендується мінімізувати використання деревини та інших горючих матеріалів.

Коридори, проходи та робочі місця необхідно підтримувати вільними від сторонніх предметів, паперу, архівних матеріалів та інших легкозаймистих речовин. У вентиляційних системах слід передбачати

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спеціальні клапани для автоматичного перекриття повітропроводів під час пожежі. Повітроводи, вентиляційні камери та регулювальні елементи мають виготовлятися з негорючих матеріалів.

Одним із найефективніших способів раннього виявлення загоряння є використання автоматичної електричної пожежної сигналізації. Її призначення полягає в оперативному сповіщенні пожежної служби про виникнення пожежі в будь-якому приміщенні або на території підприємства. Сучасні системи автоматичного пожежогасіння, як правило, інтегруються із системами пожежної сигналізації. У деяких випадках пожежну сигналізацію поєднують із охоронною системою підприємства.

Первинні засоби пожежогасіння.

Для ліквідації загорянь широко застосовуються генератори високократної піни, а також хімічні пінні вогнегасники типу ВХП-10. На території підприємства та у виробничих приміщеннях повинні встановлюватися спеціальні пожежні щити, укомплектовані необхідним інвентарем і засобами пожежогасіння.

До складу пожежного щита входять:

- пінні вогнегасники — 2 шт.;
- вуглекислотний вогнегасник — 1 шт.;
- ящик із піском — 1 шт.;
- щільне протипожежне полотно або азбестове покривало — 1 шт.;
- ломи — 2 шт.;
- багри — 3 шт.;
- сокири — 2 шт.

На території об'єкта передбачається встановлення одного пожежного щита.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок пожежного водоймища для запасу води [5]

Площа підприємства $S_{\text{п}}=648 \text{ м}^2$

Коефіцієнт запасу $k=1.1$

Витрата води на зовнішнє пожеже-тушіння $g=10 \text{ л/с}$

Кількість одночасних пожеж $n_{\text{п}}=1$

Тривалість тушіння пожежі $\tau_{\text{п}}=2 \text{ години}$

Об'єм пожежного водоймища

$$V_{\text{в}}=k \cdot g \cdot n_{\text{п}} \cdot \tau_{\text{п}}=1.1 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 2=22 \text{ м}^3$$

Виробнича санітарія.

Вимоги виробничої санітарії та гігієни праці встановлюють правила облаштування виробничих, допоміжних і побутових приміщень, а також організацію робочих місць з урахуванням фізіологічних особливостей людини та умов безпечної праці. Крім того, ці норми визначають допустимі концентрації шкідливих газів, парів та інших домішок у повітрі робочої зони.

Правила техніки безпеки і виробничої санітарії необхідно враховувати як на етапі проектування промислових об'єктів, так і під час їх подальшої експлуатації. Їх дотримання дає змогу зменшити ризик професійних захворювань, підвищити безпечність технологічних процесів і створити належні умови для роботи персоналу.

Розрахунок освітлення компресорного цеху.

Рационально спроектована система освітлення є важливою умовою нормальної роботи будь-якого виробничого приміщення. Від якості освітлення залежить працездатність персоналу, стан зорового аналізатора, рівень втомлюваності, а також загальна безпека праці. Недостатнє або нерівномірне освітлення може ускладнювати контроль за обладнанням, збільшувати ймовірність помилок та створювати передумови для виникнення аварійних ситуацій.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Саме тому для машинного відділення пересувної рефрижераторної установки необхідно виконати розрахунок штучного освітлення. У цьому приміщенні персонал здійснює спостереження за роботою компресорів, арматури, приладів контролю та іншого технологічного обладнання, тому освітлення має забезпечувати достатню видимість усіх робочих зон.

Розрахунок системи штучного освітлення виконується за такими вихідними даними:

довжина приміщення — $A = 6,0$ м;

ширина приміщення — $B = 4,0$ м;

висота підвісу світильників — $h = 3,2$ м;

напруга електричної мережі — $U = 220$ В.

Перед початком розрахунку необхідно обрати джерело світла, тип світильників і систему освітлення. Як джерело світла приймаємо газорозрядні лампи, оскільки вони мають достатню світлову віддачу та можуть застосовуватися для освітлення виробничих приміщень. Система освітлення приймається загальною, тобто світильники рівномірно розміщуються по площі цеху та забезпечують освітлення всього приміщення.

Для даного компресорного цеху обираємо світильники типу ПВЛП. Після вибору типу світильників визначають їх кількість і схему розміщення у приміщенні.

Рівномірність освітлення досягається за умови правильного вибору відстані між світильниками. Для цього враховують співвідношення між відстанню від центрів сусідніх світильників L та висотою їх підвісу над робочою поверхнею $h_{раб}$. Це співвідношення залежить від типу світильника та характеру світлорозподілу. Його дотримання дозволяє уникнути надмірно освітлених або затемнених ділянок у робочій зоні.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Приймаємо $h_{\text{раб}} = 3,2 \text{ м}$, тоді $L = 4,8 \text{ м}$

Визначаємо кількість необхідних світильників:

$$N = \frac{A \cdot B}{L^2} \quad (8.8)$$

$$N = \frac{6,0 \cdot 4,0}{4,8^2} = 1,04 \approx 2 \text{ світильника}$$

Визначуваний світловий потік ламп світильника:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot \kappa \cdot z \cdot 100}{N \cdot \eta}, \text{ лм} \quad (8.9)$$

де E_n – мінімальна нормована освітленість, приймаємо $E_n = 200 \text{ лк}$,

S – площа приміщення $S = 24,0 \text{ м}^2$,

κ – коефіцієнт запасу, що враховує старіння ламп $\kappa = 1,5$,

z – відношення середньої освітленості до мінімальної

$z = 1,1$ (для люмінесцентних ламп),

η – коефіцієнт використання світлового потоку, який залежить від величини i – індексу приміщення [5].

Визначимо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_{\text{раб.}} \cdot (A + B)}, \quad (8.10)$$

$$i = \frac{6,0 \cdot 4,0}{3,2 \cdot (6,0 + 4,0)} = 0,75$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 24 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100}{2 \cdot 39} = 10153 \text{ лм}$$

Відповідно до виконаного розрахунку вибираємо 2 світильники з трьома лампами ($n=3$) ЛБ 80 ($r=80 \text{ Вт}$) зі світловим потоком 5220 лм.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Погрішність вибору ламп

$$\square = \frac{n \cdot \phi_{\text{л}} - \phi}{n \cdot \phi_{\text{л}}} = \frac{2 \cdot 5220 - 10153}{2 \cdot 5220} \square 100\% = 2.75\%$$

Потужність установки:

$$R = r \cdot N \cdot n = 80 \cdot 3 \cdot 2 = 480 \text{ Вт.}$$

Розрахунок вентиляції.

Вентиляція виробничого приміщення призначена для підтримання безпечних і комфортних умов праці. Її основне завдання полягає у запобіганні накопиченню шкідливих речовин у повітрі робочої зони, а також у забезпеченні необхідних метеорологічних параметрів у приміщенні.

Необхідний повітрообмін забезпечується шляхом видалення забрудненого повітря за допомогою витяжної вентиляції та подачі свіжого повітря через припливну систему. У нормальних умовах кількість повітря, що видаляється з приміщення, повинна відповідати кількості повітря, яке подається. Це дозволяє підтримувати стабільний повітряний баланс і запобігати утворенню застійних зон.

Можливості вентиляційної системи щодо відведення надлишкового тепла обмежуються температурою зовнішнього повітря, оскільки саме воно використовується для охолодження та оновлення повітряного середовища в приміщенні. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну, механічну та змішану вентиляцію.

Для проєктованого цеху необхідно передбачити аварійну вентиляцію. Її застосування обумовлене тим, що у разі порушення герметичності холодильного обладнання можливе раптове надходження до приміщення значної кількості холодоагенту. Така ситуація може створити небезпеку для обслуговуючого персоналу, тому система аварійної вентиляції повинна забезпечувати швидке видалення забрудненого повітря.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок вентиляції виконуємо методом кратності повітрообміну. Цей метод передбачає визначення необхідної кількості повітря, яке повинно подаватися або видалятися з приміщення протягом однієї години, залежно від об'єму приміщення та прийнятої кратності повітрообміну.

$$L = k \cdot V, \text{ м}^3/\text{год} \quad (8.11)$$

де k – коефіцієнт кратності, 1/год,

V – об'єм приміщення, м^3 .

Коефіцієнти кратності вентиляції: витяжка – 4, притока – 3, аварійна витяжка – 6.

Об'єм виробничого цеху складає: $V = A \cdot B \cdot H, \text{ м}^3$

де A – довжина цеху, $A = 6,0 \text{ м}$;

B – ширина цеху, $B = 4,0 \text{ м}$;

H – висота цеху, $H = 3,2 \text{ м}$.

$$L_{\text{вит}} = 4 \cdot 6 \cdot 4 \cdot 3,2 = 307,2 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$L_{\text{пр}} = 4 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 3,2 = 230,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$L_{\text{ав}} = 4 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 3,2 = 614,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

Потужність електродвигуна вентилятора визначається по формулі:

$$N = \frac{k \cdot L \cdot H \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot \eta_{\text{вент.}} \cdot \eta_{\text{перед.}}}, \text{ кВт.}$$

де H – аеродинамічний опір, приймаємо 250 Па.

k - коефіцієнт запасу, приймаємо 1,2

$$\eta_{\text{вент.}} = 0,6 \div 0,8, \text{ приймаємо } \eta_{\text{вент.}} = 0,7,$$

$$\eta_{\text{перед.}} = 0,9 \div 1, \text{ приймаємо } \eta_{\text{перед.}} = 0,95.$$

Тоді потужність електродвигуна вентилятора:

$$N_{\text{вит}} = \frac{1,2 \cdot 307,2 \cdot 250 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,95} \approx 0,0385 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{пр}} = \frac{1,2 \cdot 230,4 \cdot 250 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,95} \approx 0,03 \text{ кВт}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{ав} = \frac{1,2 \cdot 614,4 \cdot 250 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,95} \approx 0,077 \text{ кВт}$$

Відповідно до виконаного розрахунку по каталогу вибираємо вентилятор. Приймаю для аварійної вентиляції відцентровий вентилятор Ц4-70№8 при $n=720$ об/мин; для припливної вентиляції осьовий вентилятор МЦ № 6 при $n = 960$ об/мин; для витяжної вентиляції осьовий вентилятор МЦ № 5 при $n = 1440$ об/мин [4].

Долікарська допомога при отруєнні хладоном.

У разі отруєння холодоагентом потерпілого необхідно негайно вивести на свіже повітря або перенести у добре провітрюване тепле приміщення. Забруднений хладоном одяг слід зняти, забезпечити потерпілому вільне дихання та створити умови для повного фізичного спокою.

У всіх випадках отруєння рекомендується проводити інгаляцію киснем протягом 30–45 хвилин та зігрівати постраждалого за допомогою грілок. При цьому потрібно бути обережним, щоб уникнути опіків, оскільки у потерпілого може спостерігатися зниження чутливості до болю. Доцільно дати хворому теплий солодкий чай або каву. За необхідності допускається використання нашатирного спирту для стимулювання дихання.

При подразненні слизових оболонок рекомендується промивати ніс та полоскати горло чистою водою або 2 %-м розчином харчової соди. Незалежно від ступеня ураження потерпілий повинен бути оглянутий лікарем. Якщо спостерігаються кашель або ознаки задухи, транспортування необхідно здійснювати лише у лежачому положенні.

У випадку потрапляння хладону в очі їх потрібно негайно промити великою кількістю чистої води. До прибуття медичного працівника потерпілому рекомендується надягти темні захисні окуляри. Забороняється накладати пов'язки або бинтувати очі.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо рідкий хладон потрапив на шкіру, уражену ділянку необхідно промити теплою водою температурою 35–40 °С для запобігання обмороженню. При значному ураженні рекомендується прийняти теплу ванну. Після водних процедур шкіру слід не розтирати, а обережно промокнути тканиною, що добре вбирає вологу. На пошкоджені ділянки накладають пов'язки з лікувальною маззю, наприклад маззю Вишневського або препаратами на основі пеніциліну. Також допускається використання несолоного вершкового чи соняшникового масла.

Долікарська допомога при ураженні електричним струмом.

Перша допомога при ураженні електричним струмом полягає насамперед у швидкому звільненні потерпілого від дії струму. Для цього необхідно вимкнути електроустановку, від'єднати провід або відтягнути його за допомогою предметів, що не проводять електричний струм, наприклад сухої дерев'яної палиці.

Після звільнення потерпілого необхідно оцінити його стан та надати першу допомогу. Потерпілому забезпечують спокій і доступ свіжого повітря. У разі відсутності дихання або серцевої діяльності виконують штучне дихання та зовнішній масаж серця до прибуття медичних працівників. За необхідності потерпілого госпіталізують.

Вплив парів хладону R-407C на організм людини.

Ступінь токсичного впливу парів хладону R-407C залежить від концентрації речовини у повітрі та тривалості перебування людини в зараженому середовищі. Ознаки отруєння при вдиханні високих концентрацій хладону або продуктів його термічного розкладання можуть проявлятися через 30–60 хвилин.

До основних симптомів належать головний біль, загальна слабкість, прискорене серцебиття та дихання. У деяких випадках можливі нудота і блювання.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Потрапляння рідкого холодоагенту на шкіру або слизові оболонки може викликати обмороження та пошкодження очей.

Висновок.

Дотримання вимог охорони праці, правил техніки безпеки, виробничої санітарії та пожежної безпеки забезпечує безпечну експлуатацію холодильного обладнання та створює належні умови праці для персоналу. Виконання передбачених організаційних і технічних заходів дозволяє мінімізувати ризик аварійних ситуацій, попередити виробничий травматизм та забезпечити надійний захист здоров'я працівників підприємства.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки по роботі

1. Проведено аналіз особливостей сучасних технологій тривалого зберігання овочів.
2. Підбрано та розраховано будівельну та теплоізоляційну конструкцію.
3. Розраховані сумарні теплопритоки в камери зберігання картоплі в режимах охолодження та зберігання.
4. Здійснено розрахунок і підбір хладонової холодильної установки.
5. Проведено теоретичні розрахунки повітряного конденсатора та повітроохолоджувача, згідно технологічним параметрам.
6. Розроблено розділ з охорони праці

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список джерел літератури

1. Апарати холодильних установок [Текст] : посіб. до проведення практ. занять та самост. роботи студентів / А. Ю. Лагутін. — Одеса : ОДАХ, 2006. — 60 с.
2. Апарати холодильних установок : посіб. до курсового проектування [Електронний ресурс] : для здобувачів освіти спец. 142 "Енергетичне машинобудування", галузі знань 14 "Електрична інженерія" / О. В. Зімін, О. М. Томчик ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2022. — 23 с.
3. Проектування поршневого компресора холодильних машин та теплових насосів [Електронний ресурс] : посібник для самост. роботи : для здобувачів вищої освіти за спец. 142 "Енергетичне машинобудування" / Л. І. Морозюк, В. В. Соколовська-Єфименко, Б. Г. Грудка, А. В. Мошкатюк ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Одеса, 2021. — Електрон. текст. дані: 113 с.
4. Холодильні установки. Проектування: Навч. посібник/І.Г. Чумак, А.Ю. Лагутін, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський та ін; за ред. докт. техн. н. проф. І.Г. Чумака.- 3-тє вид., перераб. та доп.- Одеса: Друк, 2007.- 480 с.
5. Холодильні установки [Текст] : підручник / І. Г. Чумак, В. П. Чепурненко, С. Ю. Лар'яновський, Е. Г. Парцхаладзе ; під заг. ред. І.Г. Чумака; Одес. держ. акад. холоду. — Одеса : Рефпринтінфо, 2003. — 536 с
6. Мнацаканов Г.К. Основи проектування холодильників [Текст] : навч. посіб. — Одеса : ОГАХ, 2006. — 58 с.
7. Кваліфікаційна робота : метод. вказівки до виконання та оформлення роботи для здобувачів СВО "Бакалавр" [Електронний ресурс] : спец. 142 "Енергетичне машинобудування", галузі знань 14 "Електрична інженерія" ден. та заоч. форм навчання / М. Г. Хмельнюк, Л. І. Морозюк, О. Ю.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Яковлева та ін. ; відп. за вип. М. Г. Хмельнюк ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2021. — 20 с.

8. Плодоовочесховища: проектування, оптимізація, розрахунки [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, В. П. Кочетов, А. В. Форсюк, Н. В. Жихарєва ; під заг. ред. М. Г. Хмельнюка ; Одес. нац. акад. харч. технологій, Нац. ун-т харч. технологій. — Одеса : Бондаренко М. О., 2018. — 228 с.

9. Холодильні установки спеціального призначення [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Херсон : Вид. Грінь Д.С., 2013. — 488 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 483.

10. Холодильні установки та сфери їх використання [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко, І. О. Подмазко ; під заг. ред. М. Г. Хмельнюка ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Херсон : Грінь Д.С., 2014. — 484 с. : іл.

11. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості [Текст] : навч. посіб. / О. С. Тітлов, С. Ф. Горикін. — Львів : Новий Світ-2000, 2012. — 286 с. : табл., рис. — (Вища освіта в Україні). — Бібліогр.: с. 219.

12. Хорольський В.П., Коренець Ю.М., Основи проектування холодильних систем: навчальний посібник — Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2023. 218 с.

13. Холодильні машини [Електронний ресурс] : конспект лекцій та посібник для самост. роботи : для студентів галузі знань 14 "Електрична інженерія", спец. 142 "Енергетичне машинобудування". Ч. 2 / Л. І. Морозюк, В. В. Соколовська-Єфименко, С. В. Гайдук, Б. Г. Грудка ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Одеса, 2017. — Електрон. текст. дані: 59 с.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.11	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		