

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра теплотехніки

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри теплотехніки
 к.т.н., доцент Г.О. Кобалава
« 10 » червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти **«бакалавр»**

на тему: **«Розробка проєкту холодильної установки для двокамерного
холодильника для зберігання овочів площею 430 м²»**

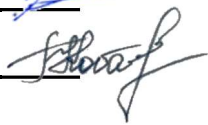
Виконав: студент IV курсу, групи **4257**
спеціальності

142 «Енергетичне машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

«Холодильні машини і установки»
(назва освітньо-професійної програми)

Анастасія САМОХВАЛОВА 
(прізвище та ініціали)

Керівник **Роман РАДЧЕНКО** 
(прізвище та ініціали)

Рецензент **Галина КОБАЛАВА** 
(прізвище та ініціали)

Херсон – 2026

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(повне найменування вищого навчального закладу)
Інститут, факультет ХННІ НУК, енерготехнічний факультет
Кафедра теплотехніки
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування»
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма «Холодильні машини і установки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

 **Гарант освітньої програми**
к.т.н., доц. І.В. Калініченко
« 22 » квітня 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

здобувача **Самохвалова Анастасія Олександрівна, група 4257**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Розробка проєкту холодильної установки для двокамерного холодильника для зберігання овочів площею 430 м²»**

керівник роботи **Радченко Роман Миколайович, к.т.н., доцент**

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

затверджені наказом ректора НУК від « 22 » квітня 2026 року № 293уч

2. Термін подання студентом роботи « 10 » червня 2026 року.

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

Вступ.

Розділ 1. Загальний опис об'єкту дослідження. Мета кваліфікаційної роботи.

Розділ 2. Теплові розрахунки комплексу рефрижерації.

2.1. Вибір параметрів повітря і води в залежності від району та параметрів продуктів, що зберігаються необмежений район плавання, швидкокопсувні вантажі.

2.2. Вибір ізоляційних конструкцій огорож приміщення, що охолоджується.

2.3. Розрахунок теплоприпливів у приміщення, що охолоджується.

2.4. Вибір системи охолодження та холодильного агенту.

Розділ 3. Проєктування холодильної машини.

3.1. Побудова циклу холодильної машини на *pI*-діаграмі та його розрахунок.

3.2. Підбір холодильного компресора, теплообмінних апаратів, системи автоматичного регулювання і захисту.

3.3. Розміщення обладнання холодильної установки.

Розділ 4. Конструктивний розрахунок теплообмінника (охолоджувача, нагрівача, випарника, конденсатора) _____

Розділ 5. Охорона праці _____

Висновки.

Список використаних літературних джерел.

Розрахунково-пояснювальна записка (60...80 сторінок тексту) повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

4. Перелік графічного матеріалу

1. Креслення приміщення, що охолоджується, з ізоляцією та приладами охолодження – 1 аркуш формату А1.
2. Принципова схема та цикл холодильної машини на pI -діаграмі – 1 аркуш формату А2.
3. Компонувальне креслення компресора, компресорно-конденсаторного агрегату або холодильної машини – 1 аркуш формату А1.
4. Креслення теплообмінника _____ – 1 аркуш формату А1.

5. Дата видачі завдання « 22 » квітня 2026 року.

Дата представлення на кафедру « 10 » червня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	При-мітка
1.	Вступ + розділ 1	28 квітня	виконано
2.	Розділ 2 + креслення приміщення, що охолоджується	до 07 травня	виконано
3.	Розділ 3 + креслення принципової схеми та циклу холодильної машини на pI -діаграмі	до 15 травня	виконано
4.	Компонувальне креслення компресора, компресорно-конденсаторного агрегату або холодильної машини	до 23 травня	виконано
5.	Розділ 4 + креслення теплообмінника	до 02 червня	виконано
6.	Розділ 5 + висновки	до 06 червня	виконано
7.	Остаточне оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічного матеріалу; подання кваліфікаційної бакалаврської роботи на кафедру	до 10 червня	виконано

Здобувач


(підпис)

Анастасія САМОХВАЛОВА
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Роман РАДЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Самохвалова Анастасія Олександрівна, група 4257.

«Розробка проєкту холодильної установки для двокамерного холодильника для зберігання овочів площею 430 м²».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування» (освітньо-професійна програма «Холодильні машини і установки»). Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон, 2026 р.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці проєкту холодильної установки для двокамерного холодильника для зберігання овочів площею 430 м².

У роботі виконано аналіз сучасних способів холодильного зберігання овочевої продукції та розглянуто особливості температурно-вологісних режимів зберігання томатів. Проведено теплові розрахунки приміщень, що охолоджуються, визначено теплоприпливи та підібрано ізоляційні конструкції.

Виконано розрахунок та побудову циклу холодильної машини на холодоагенті R404A, здійснено підбір основного холодильного обладнання та допоміжних елементів системи. Проведено конструктивний розрахунок повітроохолоджувача необхідної холодопродуктивності.

У роботі також розроблено принципову схему автоматизації холодильної установки та розглянуто основні питання охорони праці при експлуатації холодильного обладнання.

Ключові слова: холодильна установка, овочесховище, холодоагент R404A, холодильна машина, повітроохолоджувач, теплоприпливи, автоматизація.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.00	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Samokhvalova Anastasiia Oleksandrivna, group 4257.

“Development of a refrigeration unit project for a two-chamber refrigerator intended for vegetable storage with an area of 430 m²”.

Qualification work for obtaining the bachelor's degree in specialty 142 “Power Engineering Machinery” (Educational and Professional Program “Refrigeration Machines and Installations”). Kherson Educational and Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, 2026.

The qualification work is devoted to the development of a refrigeration unit project for a two-chamber refrigerator intended for vegetable storage with an area of 430 m².

The work analyzes modern methods of refrigerated storage of vegetable products and considers the features of temperature and humidity storage conditions for tomatoes. Thermal calculations of cooled premises are carried out, heat inflows are determined and insulating structures are selected.

The calculation and construction of the refrigeration cycle on the R404A refrigerant are performed, the selection of the main refrigeration equipment and auxiliary elements of the system is carried out. The design calculation of the air cooler of the required cooling capacity is carried out.

The work also develops a schematic diagram of the refrigeration plant automation and considers the main issues of labor protection during the operation of refrigeration equipment.

Keywords: refrigeration unit, vegetable storage, refrigerant R404A, refrigeration machine, air cooler, heat gains, automation.

					<i>КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.00</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ, КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ	12
1.1. Значення холодильного зберігання овочевої продукції	12
1.2. Фізіологічні особливості овочів при зберіганні	14
1.3. Способи охолодження овочесховищ	16
1.4 Температурно-вологісні режими зберігання томатів	19
1.5. Висновки за розділом 1	22
РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВІ РОЗРАХУНКИ КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ.....	25
2.1. Вибір параметрів повітря та води в залежності від параметрів продуктів, що зберігаються	25
2.2. Вибір ізоляційних конструкцій огорож приміщення, що охолоджується	25
2.3. Визначення сумарного теплопритоку і холодопродуктивності СХУ.....	32
2.4. Вибір системи охолодження та холодильного агенту	35
2.5. Висновки за розділом 2	37
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ	39
3.1. Побудова циклу холодильної машини на p, h -діаграмі та його розрахунок	39
3.2. Підбір холодильного компресора, теплообмінних апаратів, системи автоматичного регулювання і захисту	43
3.3. Розміщення обладнання холодильної установки у приміщенні.....	48
3.4. Висновки за розділом 3	49
РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІННИКА	51
4.1. Основні характеристики повітроохолоджувачів.....	51
4.2. Розрахунок та підбір повітроохолоджувача	51
4.3 Висновки по розділу 4	58
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	61

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.00	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5.1. Аналіз небезпек в машинному відділенні.....	61
5.2. Висновки за розділом 5.....	62
ВИСНОВКИ	64
ЛІТЕРАТУРА	65

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.00	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

φ – відносна вологість повітря;

Q – теплове навантаження;

q_0 – питома холодопродуктивність;

p -і діаграма – діаграма тиску та ентальпії;

R404A – холодильний агент;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ККБ – компресорно-конденсаторний блок;

ОП – охорона праці;

ПО – повітроохолоджувач;

COP – коефіцієнт енергетичної ефективності холодильного циклу;

T – температура;

ТБ – техніка безпеки;

ТРВ – терморегулюючий вентиль;

ХА – холодоагент;

ХМ – холодильна машина;

ХУ – холодильна установка.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.00	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю забезпечення тривалого та якісного зберігання овочевої продукції, що є одним із важливих напрямів розвитку агропромислового сектору. Застосування холодильних технологій дає можливість скоротити втрати врожаю після його збирання, зберегти товарні та споживчі властивості продукції, а також забезпечити її безперебійне постачання споживачам незалежно від сезону. Особливу увагу необхідно приділяти овочам, які характеризуються високою чутливістю до відхилень температури та відносної вологості повітря і швидко втрачають якісні показники за порушення умов зберігання.

Ефективність функціонування сучасних овочесховищ значною мірою визначається технічними характеристиками холодильних установок. Такі системи повинні забезпечувати стабільне підтримання заданих параметрів мікроклімату, економне використання енергетичних ресурсів та високий рівень експлуатаційної надійності. Важливими складовими їх проєктування є вибір холодоагенту, визначення оптимальних параметрів теплообмінного обладнання, а також впровадження автоматизованих систем керування, які дозволяють підвищити ефективність роботи обладнання та зменшити експлуатаційні витрати.

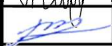
Зростання вимог до якості харчової продукції, поряд із постійним підвищенням вартості енергоносіїв, обумовлює необхідність удосконалення холодильних систем для овочесховищ. Використання сучасних технічних рішень сприяє скороченню питомих витрат електроенергії, підвищенню довговічності обладнання та створенню оптимальних умов для тривалого зберігання продукції зі збереженням її споживчих властивостей.

Метою кваліфікаційної роботи є проєктування холодильної установки для двокамерного овочесховища загальною площею 290 м², здатної забезпечити необхідний температурний режим, ефективне функціонування технологічного обладнання та надійну експлуатацію системи холодильного забезпечення.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.00	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступної частини, п'яти основних розділів, загальних висновків та переліку використаних літературних джерел, який налічує дев'ять позицій. Загальний обсяг роботи становить 65 сторінок.

					<i>КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.00</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.01			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Самохвалова А.О.						
Керівник		Радченко Р.М.						
Консульт.								
Зав.каф.		Кобалава Г.О.				ХННІ НУК		11

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ, КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ

1.1. Значення холодильного зберігання овочевої продукції

Холодильне зберігання овочевої продукції є одним із найбільш ефективних способів забезпечення тривалого збереження її якості, харчової цінності та товарного вигляду. У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу питання зменшення втрат овочевої продукції під час транспортування та зберігання набуває особливої актуальності. Значна частина овочів після збору врожаю продовжує фізіологічні процеси дихання, випаровування вологи та біохімічних перетворень, що призводить до погіршення якості продукції та скорочення термінів її зберігання.

Використання холодильних установок дозволяє створювати оптимальні температурно-вологісні умови, за яких швидкість біологічних процесів у продуктах значно знижується. Завдяки цьому забезпечується зменшення втрат маси овочів, сповільнення процесів псування та збереження смакових властивостей продукції протягом тривалого часу. Особливо важливим є дотримання стабільних режимів зберігання для овочів, які мають підвищену чутливість до змін температури та вологості повітря.

Сучасні овочесховища обладнуються холодильними системами, які забезпечують підтримання необхідної температури повітря, його циркуляцію та регулювання відносної вологості. Правильно організоване холодильне зберігання дозволяє мінімізувати природні втрати продукції та забезпечити безперервне постачання овочів споживачам незалежно від сезону. Це має важливе економічне значення як для сільськогосподарських підприємств, так і для підприємств харчової промисловості та торговельних мереж.

Одним із найбільш поширених способів зберігання овочів є використання камерного охолодження, при якому продукція розміщується у спеціальних холодильних приміщеннях із контрольованими параметрами мікроклімату.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

Такий спосіб дозволяє забезпечити рівномірний розподіл температури по всьому об'єму камери та створити необхідні умови для тривалого зберігання продукції без істотного погіршення її якості.

Для більшості овочів оптимальна температура зберігання знаходиться в межах від 0 до +12 °С залежно від виду продукції. При цьому важливе значення має підтримання необхідної відносної вологості повітря, яка зазвичай становить 80–95 %. Недостатня вологість призводить до висихання продукції та втрати маси, а надлишкова — до розвитку мікроорганізмів і прискорення процесів псування.

Таблиця 1.1 Рекомендовані режими зберігання овочевої продукції

Вид продукції	Температура зберігання °С	Відносна вологість, %	Орієнтовний термін зберігання
Томати	+8...+12	85–90	15–30 діб
Огірки	+6...+8	85–95	10–14 діб
Перець	+7...+10	85–90	20–30 діб
Капуста	0...+1	90–95	3–5 місяців
Морква	0...+2	90–95	4–6 місяців

У процесі холодильного зберігання овочів важливу роль відіграє система охолодження. Вибір типу холодильної установки залежить від площі приміщення, виду продукції, необхідного температурного режиму та умов експлуатації. Для овочесховищ широко застосовуються парокомпресійні холодильні машини, які характеризуються високою надійністю, ефективністю та можливістю автоматичного регулювання параметрів роботи.

Однією з основних вимог до сучасних холодильних установок є їх енергоефективність. Значні витрати електроенергії на виробництво холоду обумовлюють необхідність використання сучасного обладнання, ефективних теплообмінних апаратів та систем автоматичного керування. Рациональне використання енергоресурсів дозволяє знизити експлуатаційні витрати та підвищити економічну ефективність роботи овочесховищ.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		13

Таким чином, холодильне зберігання овочевої продукції є необхідною умовою забезпечення її тривалого збереження, підтримання високої якості та мінімізації втрат під час зберігання і транспортування. Використання сучасних холодильних установок дозволяє забезпечити стабільні умови зберігання продукції та підвищити ефективність роботи підприємств харчової та агропромислової галузі.

1.2. Фізіологічні особливості овочів при зберіганні

Овочева продукція після збору врожаю залишається живим біологічним матеріалом, у якому продовжуються фізіологічні та біохімічні процеси. Під час зберігання в овочах відбуваються процеси дихання, випаровування вологи, дозрівання, зміни хімічного складу та поступове старіння тканин. Інтенсивність цих процесів значною мірою залежить від температури, вологості повітря та умов зберігання продукції.

Одним із основних фізіологічних процесів є дихання овочів, у результаті якого відбувається окиснення органічних речовин киснем повітря. При цьому виділяються теплота, вуглекислий газ та водяна пара. Інтенсивне дихання призводить до швидшого дозрівання продукції, втрати поживних речовин та скорочення термінів зберігання. Для зниження швидкості дихання необхідно підтримувати оптимальні температурні режими у холодильних камерах.

Кількість теплоти, що виділяється продукцією внаслідок дихання, може бути визначена за формулою:

$$Q = G \cdot q$$

де: Q – тепловиділення продукції, Вт;

G – маса продукції, кг;

q – питомі тепловиділення продукції, Вт/кг.

Зниження температури зберігання дозволяє суттєво сповільнити фізіологічні процеси та зменшити інтенсивність дихання овочевої продукції. Разом із тим надмірне зниження температури може викликати пошкодження тканин деяких видів овочів, особливо продукції тропічного та теплолюбного

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		14

походження. Тому при проектуванні холодильних установок важливо забезпечити підтримання стабільних температурних режимів без різких коливань.

Важливим фактором при зберіганні овочів є випаровування вологи. У процесі зберігання продукція поступово втрачає воду через поверхню тканин, що призводить до зменшення маси, в'янення та погіршення товарного вигляду. Інтенсивність випаровування залежить від температури повітря, його відносної вологості та швидкості циркуляції повітря у камері.

Для більшості овочів рекомендовано підтримувати відносну вологість повітря на рівні 85–95 %. Недостатня вологість спричиняє швидке висихання продукції, а надмірна — створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів та плісняви.

Таблиця 1.2 Вплив температури на інтенсивність фізіологічних процесів овочевої продукції

Температура зберігання, °C	Інтенсивність дихання	Втрати вологи	Тривалість зберігання
+20	Висока	Значні	Низька
+10	Середня	Помірні	Середня
+4	Низька	Незначні	Висока
0	Мінімальна	Мінімальні	Максимальна

На фізіологічний стан овочів також впливають механічні пошкодження, які виникають під час транспортування, завантаження та розвантаження продукції. Пошкоджені овочі характеризуються підвищеною інтенсивністю дихання та швидше піддаються мікробіологічному псуванню. У зв'язку з цим під час експлуатації овочесховищ необхідно забезпечувати дбайливе поводження з продукцією та рівномірний розподіл повітряних потоків у холодильній камері.

Значну роль у процесах псування овочів відіграють мікроорганізми. Підвищена температура та вологість повітря сприяють розвитку бактерій, грибків та плісняви, які викликають погіршення якості продукції та збільшення

втрат при зберіганні. Для запобігання розвитку мікрофлори необхідно підтримувати санітарний стан холодильних камер, забезпечувати необхідну циркуляцію повітря та контролювати параметри мікроклімату.

Особливе значення для тривалого зберігання овочів має стабільність температурного режиму. Різкі коливання температури можуть призводити до утворення конденсату на поверхні продукції, що створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів. Саме тому сучасні холодильні установки обладнуються системами автоматичного регулювання температури та вологості повітря.

Таким чином, ефективність холодильного зберігання овочевої продукції значною мірою залежить від врахування її фізіологічних властивостей та інтенсивності процесів життєдіяльності після збирання врожаю. Навіть за умови припинення росту в овочах тривають процеси дихання, транспірації та ферментативних перетворень, що впливають на зміну їх якісних показників і скорочують термін придатності до реалізації. Створення оптимального температурно-вологісного режиму дозволяє знизити швидкість цих процесів, зменшити природні втрати маси та обмежити розвиток патогенної мікрофлори.

Важливим чинником є також забезпечення належної циркуляції повітря в камерах зберігання, що сприяє рівномірному розподілу температури та підтриманню стабільних умов у всьому об'ємі сховища. Застосування науково обґрунтованих режимів охолодження та зберігання дає можливість зберегти товарні, харчові та технологічні властивості овочевої продукції, зменшити економічні втрати та підвищити ефективність роботи холодильних підприємств.

1.3. Способи охолодження овочесховищ

Ефективність холодильного зберігання овочевої продукції значною мірою залежить від правильного вибору способу охолодження холодильних камер. Система охолодження повинна забезпечувати підтримання необхідних температурно-вологісних режимів, рівномірний розподіл температури у приміщенні та мінімальні втрати продукції під час зберігання. Вибір способу

					<i>КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.01</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

охолодження здійснюється з урахуванням виду продукції, місткості овочесховища, умов експлуатації та вимог до енергоефективності холодильної установки.

У сучасних холодильних установках для овочесховищ використовуються три основні способи охолодження: повітряне, розсільне та охолодження з безпосереднім кипінням холодильного агенту. Кожен із зазначених способів має свої конструктивні особливості, переваги та недоліки.

Повітряне охолодження є найбільш поширеним способом забезпечення необхідного температурного режиму у холодильних камерах для зберігання овочевої продукції. У таких систем охолодження повітря здійснюється у повітроохолоджувачах, після чого охолоджене повітря подається у приміщення за допомогою вентиляторів. Перевагою повітряного охолодження є рівномірний розподіл температури по всьому об'єму камери та можливість автоматичного регулювання параметрів мікроклімату.

Разом із тим надмірна швидкість руху повітря може призводити до інтенсивного випаровування вологи з поверхні овочів та збільшення втрат маси продукції. Для запобігання цьому необхідно забезпечувати оптимальну швидкість циркуляції повітря та підтримувати необхідну відносну вологість у холодильній камері.

Розсільне охолодження передбачає використання проміжного теплоносія - розсолу, який охолоджується у випарнику холодильної машини та циркулює через теплообмінні апарати. Основною перевагою такого способу є підвищена безпека експлуатації, оскільки кількість холодильного агенту у холодильних камерах значно зменшується.

Недоліком розсільних систем є ускладнення конструкції установки та збільшення енергетичних витрат, пов'язаних із циркуляцією проміжного теплоносія. Крім того, наявність додаткових теплообмінних поверхонь призводить до збільшення втрат холоду та зниження загальної ефективності системи.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		17

У системах із безпосереднім кипінням холодильного агенту холодоагент подається безпосередньо до повітроохолоджувача, розташованого у холодильній камері. У процесі кипіння холодильного агенту відбувається інтенсивне відведення теплоти від повітря приміщення. Такі системи характеризуються високою ефективністю теплообміну та меншими енерговитратами порівняно з розсільними системами.

Для сучасних овочесховищ найбільш доцільним є застосування систем повітряного охолодження з безпосереднім кипінням холодильного агенту у повітроохолоджувачах. Такі системи забезпечують ефективне охолодження продукції, рівномірний розподіл температури та можливість автоматичного регулювання режимів роботи холодильної установки.

Таблиця 1.3 Порівняльна характеристика способів охолодження овочесховищ

Спосіб охолодження	Основні переваги	Основні недоліки
Повітряне	Рівномірний розподіл температури, простота автоматизації	Можливе висихання продукції
Розсільне	Підвищена безпека системи	Складність конструкції та додаткові енерговитрати
Безпосереднє кипіння	Висока ефективність теплообміну	Підвищені вимоги до герметичності системи

Вибір способу охолодження має важливе значення при проєктуванні холодильних установок для овочесховищ. Раціонально підібрана система охолодження дозволяє забезпечити необхідні параметри мікроклімату, знизити втрати продукції та підвищити енергоефективність роботи холодильної установки.

Таким чином, для холодильників, призначених для зберігання овочевої продукції, найбільш ефективним є використання систем повітряного

охолодження з безпосереднім кипінням холодильного агенту. Такі системи забезпечують стабільні умови зберігання продукції та відповідають сучасним вимогам до енергоефективності холодильних установок.

1.4 Температурно-вологісні режими зберігання томатів

Томати належать до овочевої продукції з високою інтенсивністю обмінних процесів, що зумовлює обмежений термін їх зберігання після збирання врожаю. Навіть після відокремлення від рослини плоди залишаються фізіологічно активними: у них продовжуються процеси дихання, дозрівання, випаровування вологи та біохімічні перетворення органічних речовин. Швидкість перебігу цих процесів визначає збереження товарних і харчових властивостей продукції, тому створення відповідних умов мікроклімату є одним із головних факторів ефективного зберігання томатів.

Під час дихання плоди споживають кисень і використовують накопичені поживні речовини, внаслідок чого виділяються вуглекислий газ, вода та теплова енергія. За високої температури інтенсивність цього процесу суттєво зростає, що прискорює досягання та старіння плодів. Одночасно збільшуються втрати сухих речовин і вологи, погіршується консистенція м'якоті та скорочується тривалість зберігання. Саме тому застосування холодильного зберігання є одним із найефективніших способів збереження якості томатів після їх збирання.

Разом із позитивним впливом охолодження необхідно враховувати біологічні особливості культури. Томати походять із теплого клімату, тому надмірне зниження температури негативно позначається на їх фізіологічному стані. Переохолодження плодів може призводити до порушення обмінних процесів, появи водянистих ділянок, потемніння тканин та погіршення смакових характеристик. Крім того, після повернення до нормальних умов такі плоди швидше уражуються мікроорганізмами та втрачають товарний вигляд.

Температурний режим зберігання вибирають залежно від ступеня стиглості продукції. Зелені томати містять значну кількість нерозкладених органічних сполук і здатні продовжувати процес дозрівання після збирання. Для

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.01	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

них підтримують відносно високі температури, що забезпечують поступове формування характерного забарвлення та смакових властивостей. Бурі плоди потребують проміжних умов зберігання, а для стиглих томатів використовують нижчі температури, які дозволяють максимально уповільнити фізіологічні процеси без погіршення якості продукції.

Одним із визначальних показників мікроклімату є відносна вологість повітря. Втрата води через поверхню плодів відбувається постійно, тому недостатня вологість спричиняє зменшення маси, зморщування шкірки та погіршення зовнішнього вигляду томатів. Підтримання відносної вологості на рівні 85–90 % дозволяє мінімізувати природні втрати. Водночас перевищення оптимального значення є небажаним, оскільки накопичення вологи на поверхні плодів сприяє розвитку грибкових і бактеріальних захворювань.

На тривалість зберігання впливає також інтенсивність газообміну. У процесі дозрівання томати виділяють етилен, який прискорює фізіологічні процеси не тільки у плодах, що його утворюють, а й у сусідній продукції. За недостатньої вентиляції концентрація цього газу в холодильній камері поступово зростає, що призводить до прискореного досягання всієї партії томатів. Для підтримання стабільних умов зберігання необхідно забезпечувати постійний повітрообмін та рівномірний розподіл охолодженого повітря.

Таблиця 1.4 Рекомендовані режими зберігання томатів

Стан томатів	Температура зберігання, °C	Відносна вологість, %	Орієнтовний термін зберігання
Зелені	+12...+14	85–90	20–30 діб
Бурі	+10...+12	85–90	15–20 діб
Стигли	+8...+10	85–90	7–15 діб

Наведені режими дозволяють забезпечити оптимальне співвідношення між збереженням якості продукції та уповільненням процесів дозрівання. Зниження температури сприяє зменшенню інтенсивності дихання плодів, однак

її надмірне зниження може викликати фізіологічні порушення. З цієї причини під час експлуатації холодильних установок особливу увагу приділяють підтриманню стабільного температурного режиму та недопущенню різких його коливань.

Ефективність холодильного зберігання значною мірою залежить від організації циркуляції повітря в камері. Повітряні потоки повинні забезпечувати однакові умови охолодження для всієї партії продукції. Утворення зон із підвищеною або зниженою температурою негативно впливає на якість плодів і призводить до нерівномірного дозрівання. Для усунення таких явищ сучасні сховища оснащуються вентиляторами та автоматизованими системами розподілу повітря.

Важливим елементом технології є правильне розміщення томатів у холодильній камері. Найчастіше продукцію закладають у пластмасові або дерев'яні ящики з вентиляційними отворами, що забезпечують вільний доступ охолодженого повітря до плодів. Під час складування необхідно залишати проміжки між штабелями та не перевищувати допустиму висоту укладання, оскільки надмірне навантаження може викликати механічні пошкодження нижніх шарів продукції.

Перед закладанням на зберігання томати сортують за ступенем стиглості та якістю. Плоди з механічними пошкодженнями, ознаками захворювань або деформаціями вилучають, оскільки вони є потенційними осередками поширення гнильних процесів. У період зберігання проводять регулярні огляди продукції та своєчасно видаляють томати, які починають псуватися.

Стабільність температурно-вологісного режиму в сучасних холодильних камерах забезпечується автоматизованими системами керування. Використання датчиків температури та вологості дозволяє безперервно контролювати параметри мікроклімату та оперативно реагувати на їх відхилення від заданих значень. Автоматизація процесу сприяє скороченню втрат продукції, зменшенню витрат енергії та підвищенню ефективності експлуатації овочесховищ.

					<i>КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.01</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

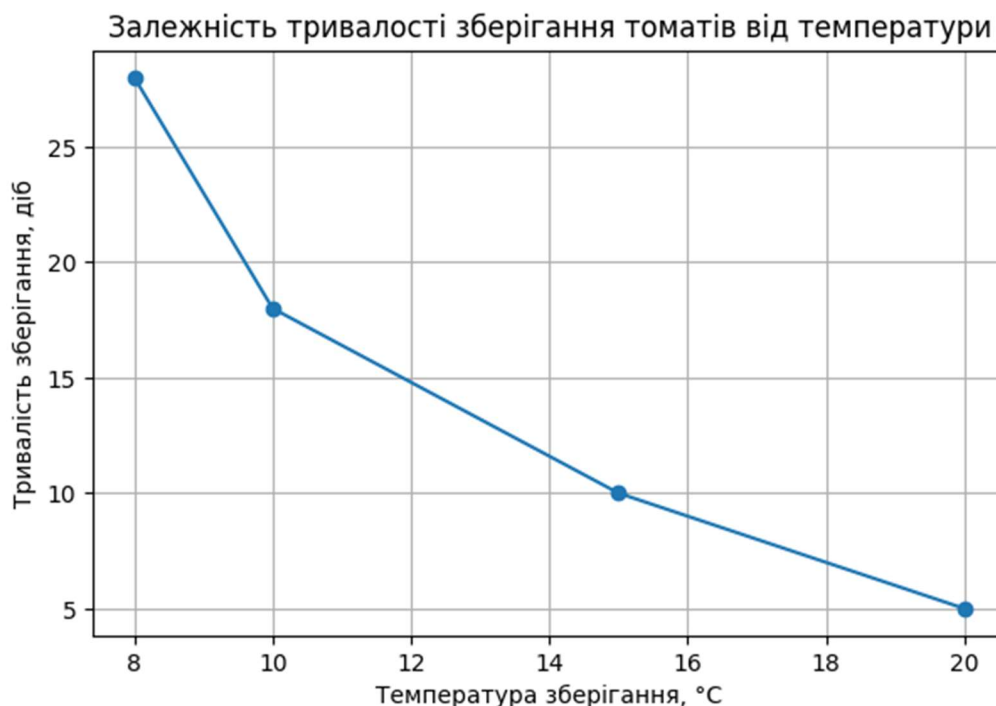


Рисунок 1.1 Вплив температури на тривалість зберігання томатів

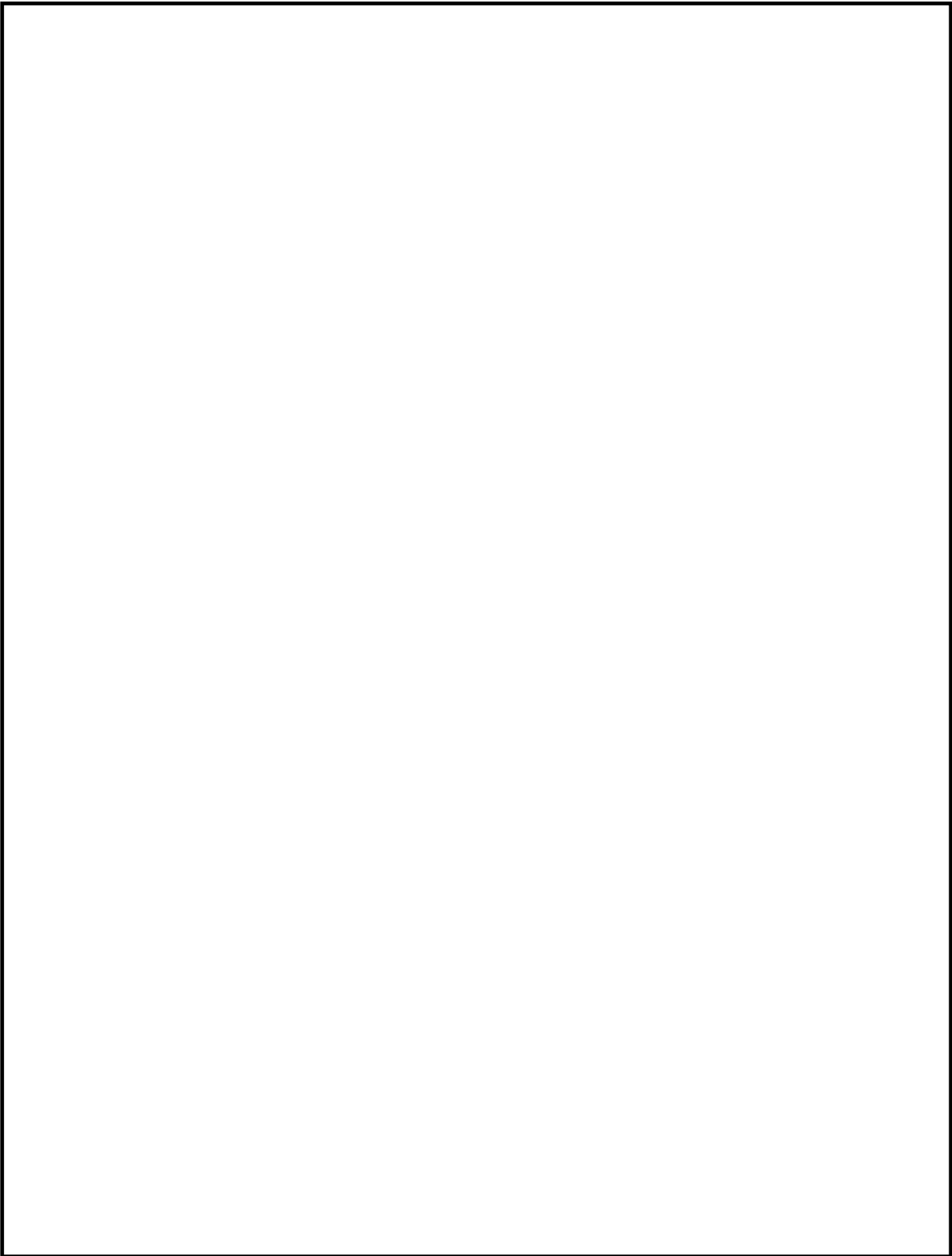
Отже, збереження якості томатів під час холодильного зберігання визначається комплексною дією температури, відносної вологості повітря, інтенсивності вентиляції та правильного розміщення продукції. Дотримання оптимальних параметрів мікроклімату дозволяє сповільнити природні процеси старіння плодів, зменшити втрати маси та забезпечити тривале збереження їх товарних і споживчих властивостей. Використання сучасних холодильних технологій та автоматизованих систем контролю створює необхідні умови для ефективного функціонування овочесховищ і раціонального зберігання врожаю томатів.

1.5. Висновки за розділом 1

У розділі розглянуто значення холодильного зберігання овочевої продукції та його вплив на збереження її якості. Встановлено, що охолодження дозволяє сповільнити процеси псування та зменшити втрати під час зберігання. Проаналізовано фізіологічні особливості овочів, зокрема процеси дихання та випаровування вологи. Розглянуто основні способи охолодження овочесховищ і

визначено їх особливості. Встановлено, що ефективність зберігання залежить від правильного вибору системи охолодження та підтримання оптимальних умов у сховищі.

					<i>КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.01</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		23



					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.02			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 2	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Самохвалова А.О.						
Керівник		Радченко Р.М.						
Консульт.						ХННІ НУК		
Зав.каф.		Кобалава Г.О.						

Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
–	–	–	–	–	30	90	100	80	20	–	–

2.2. Вибір ізоляційних конструкцій огорож приміщення, що охолоджується

Зовнішня стіна камери №1

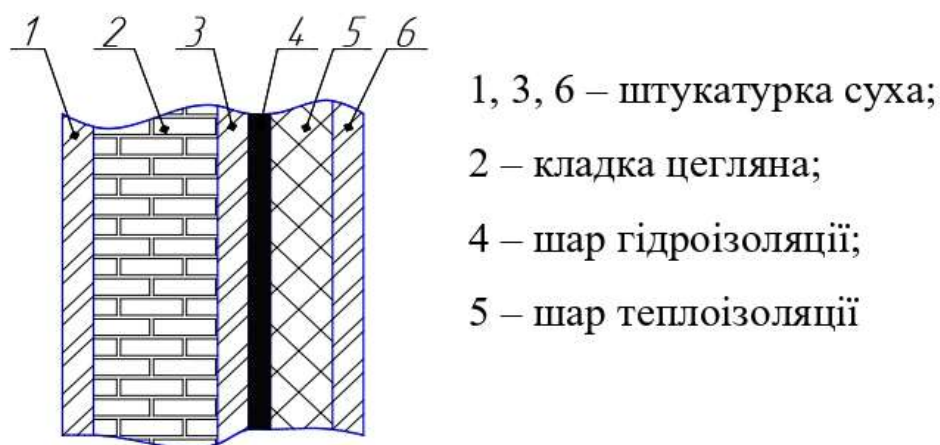


Рисунок 2.1 Конструкція зовнішньої стіни камери №1

Таблиця 2.6 Теплотехнічні характеристики шарів

	1	2	3	4	6	із
λ , Вт/м·К	0,88	0,82	0,88	0,3	0,88	0,029
δ , м	0,02	0,38	0,02	0,005	0,02	-

За результатами розрахунку необхідна товщина теплоізоляції становить:

$$\delta = 0,187 \text{ м.}$$

Для подальших розрахунків приймається стандартна товщина ізоляційного шару: $\delta = 0,2 \text{ м.}$

Фактичний коефіцієнт теплопередачі : $k=0,209 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К).}$

Зовнішня стіна камери №2:

- розрахункове: $\delta = 0,181$ м.
- прийняте: $\delta = 0,2$ м.
- $k = 0,27$ Вт/(м²·К).

Внутрішня суміжна перегородка камери №1

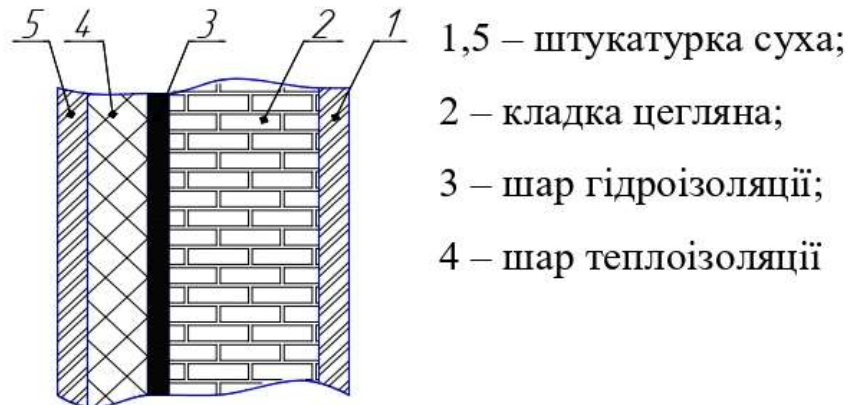


Рисунок 2.2 Конструкція внутрішньої перегородки камери №1

Таблиця 2.7 Теплотехнічні характеристики шарів

	1	2	3	5	із
λ , Вт/м·К	0,88	0,82	0,3	0,88	0,049
δ , м	0,02	0,38	0,005	0,02	-

У результаті розрахунку отримано:

- розрахункове $\delta = 0,13$ м;
- прийняте $\delta = 0,15$ м;
- $k = 0,25$ Вт/(м²·К).

Внутрішня перегородка камери №2

Розрахунок проводиться аналогічно попередньому випадку.

Отримані результати:

- розрахункове $\delta = 0,095$ м;
- прийняте $\delta = 0,1$ м;

- $k = 0,33 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Перегородка суміжна камери №1

За результатами обчислень:

- розрахункове $\delta = 0,0955 \text{ м}$;
- прийняте $\delta = 0,1 \text{ м}$;
- $k = 0,34 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Перегородка між камерами №1 та №2

Результати розрахунку:

- розрахункове $\delta = 0,049 \text{ м}$;
- прийняте $\delta = 0,05 \text{ м}$;
- $k = 0,517 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Розрахунок теплоізоляції покриття

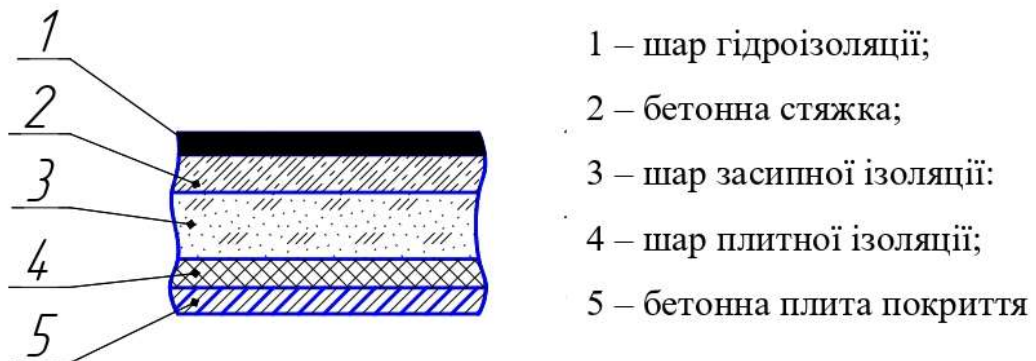


Рисунок 2.3 Ізоляція для покриття камери №1

Теплоізоляційна система складається з двох ізоляційних шарів, основним з яких є шар керамзиту.

Таблиця 2.8 Теплотехнічні характеристики шарів

	1	2	4	5	із
$\lambda, \text{Вт/м} \cdot \text{К}$	0,15	1,1	0,049	1,5	0,17
$\delta, \text{м}$	0,01	0,05	0,1	0,15	-

За результатами обчислень:

- розрахункове $\delta = 0,18$ м;
- прийняте $\delta = 0,18$ м;
- $k = 0,29$ Вт/(м²·К).

Для покриття камери №2 розрахунок виконується за аналогічною методикою:

- розрахункове $\delta = 0,25$ м;
- прийняте $\delta = 0,25$ м;
- $k = 0,26$ Вт/(м²·К).

Розрахунок теплоізоляції підлоги

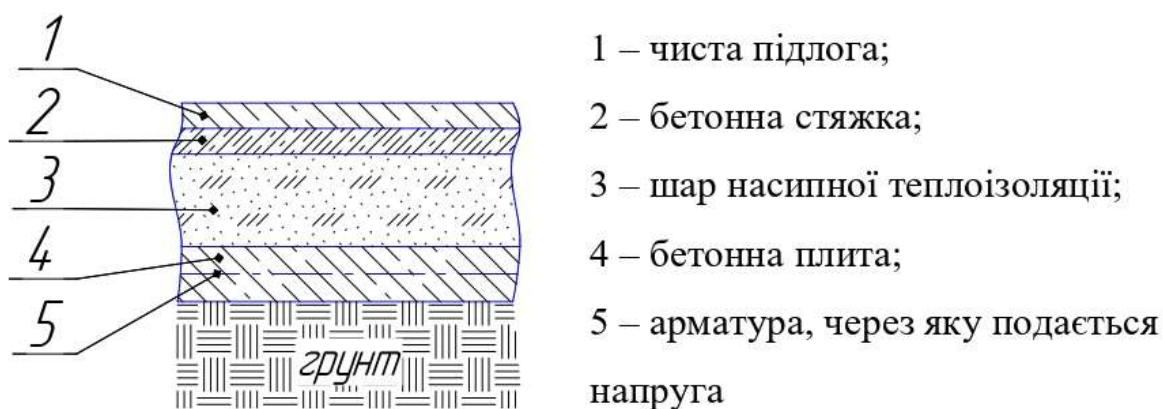


Рисунок 2.4 Підлога камери №1

Для матеріалів покриття приймаються відповідні теплотехнічні характеристики.

Таблиця 2.9 Теплотехнічні характеристики шарів

	1	2	4	із
λ , Вт/м·К	1,0	1,1	0,049	0,17
δ , м	0,01	0,15	0,2	-

За результатами обчислень №1:

- розрахункове $\delta = 0,52$ м;

- прийняте $\delta = 0,52$ м;
- $k = 0,29$ Вт/(м²·К).

Для покриття камери №2;

- розрахункове $\delta = 0,59$ м;
- прийняте $\delta = 0,60$ м;
- $k = 0,26$ Вт/(м²·К).

Вибір та обґрунтування типу установки

Після визначення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій виконується розрахунок необхідної будівельної площі холодильних камер.

Будівельна площа камери №1 визначається за відповідною залежністю, в якій враховуються:

$$F_{1\text{стр}}^{\text{шт}} = \frac{300}{0,35 \cdot 4,2 \cdot 0,75} = 272 \text{ м}^2$$

Будівельна площа камери №2 визначається з урахуванням добового вантажообігу, тривалості технологічного циклу та допустимого навантаження на 1 м² складської площі:

$$F_{2\text{стр}}^{\text{шт}} = \frac{30 \cdot 1}{0,4 \cdot 0,75} = 144 \text{ м}^2$$

Сумарна площа холодильних камер $F = 372 \text{ м}^2$.

Загальна будівельна площа холодильного комплексу $F_{\text{заг}} = 546 \text{ м}^2$

На підставі отриманих результатів розрахунків виконується компонування холодильного підприємства та визначаються раціональні розміри його основних і допоміжних приміщень. Планувальне рішення розробляється з урахуванням технологічного процесу зберігання продукції, забезпечення зручності вантажно-розвантажувальних операцій та створення оптимальних умов для експлуатації холодильного обладнання.

Під час проєктування особлива увага приділяється взаємному розташуванню холодильних камер, машинного відділення, службових і допоміжних приміщень. Таке компонування дозволяє скоротити шляхи

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		30

переміщення продукції, зменшити експлуатаційні витрати та забезпечити безперервність технологічного процесу. Крім того, раціональне планування сприяє підвищенню енергоефективності підприємства та полегшує проведення ремонтних і профілактичних робіт.

На основі проведених розрахунків і прийнятих конструктивних рішень формується загальна планувальна схема холодильного підприємства, яка забезпечує ефективне використання будівельної площі та створює необхідні умови для тривалого й якісного зберігання овочевої продукції. Остаточний варіант компонування холодильника з урахуванням орієнтації будівлі відносно сторін горизонту наведено на рисунку 2.5.

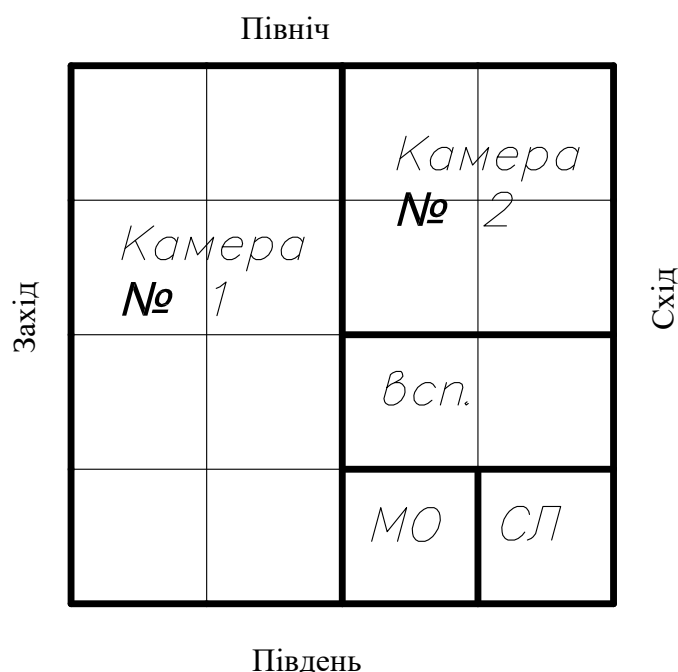


Рисунок 2.5 Планування холодильника

Висоту огорожувальних конструкцій холодильного приміщення приймають 6 м.

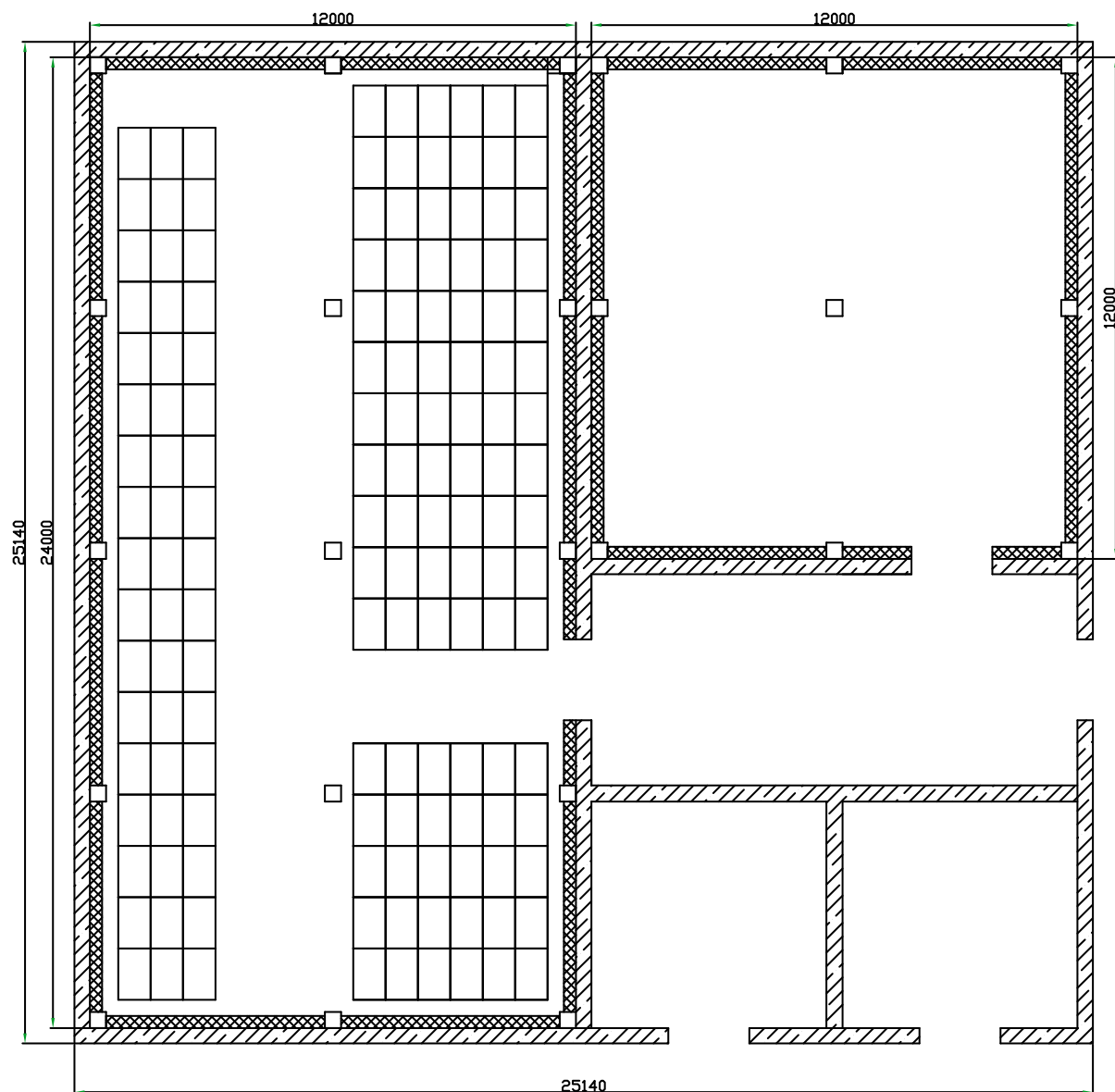


Рисунок 2.6 Планування холодильника

2.3. Визначення сумарного теплопритоку і холодопродуктивності СХУ

Визначення теплоприпливів від різниці температур.

Для холодильної камери №1:

- через ПдС – 612 Вт;
- через ЗхС – 1224 Вт;
- через С – 183,6 Вт;
- через П – 2672,64 Вт.

Для холодильної камери №2:

- через ПнС – 450 Вт;
- через СхС – 450 Вт;
- через Пер, з №1 – 0 Вт;
- через СС – 270 Вт;
- через П – 1198,1 Вт.

У результаті сумарний теплоприплив від температурного перепаду становить:

- для К №1 – 4875,8 Вт;
- для К №2 – 2368,1 Вт.

Теплоприплив, спричинений сонячним опроміненням, визначається з урахуванням умовної різниці температур.

Для К №1:

- через ЗхС – 442 Вт;
- через покриття – 3486 Вт.

Для К №2:

- через СхС – 183,6 Вт;
- через покриття – 653,6 Вт.

Сумарні значення теплоприпливів від сонячної радіації складають:

- для К №1 – 3928 Вт;
- для К №2 – 837,2 Вт.

Після підсумовування складових теплоприпливів отримуємо:

- для К №1:

$$Q_1 = 8803,8 \text{ Вт};$$

- для К №2:

$$Q_1 = 3205,9 \text{ Вт}.$$

Отримані результати характеризують сумарний тепловий потік, що надходить до камер через їхні огорожувальні конструкції під впливом температурного перепаду та сонячної радіації.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

Теплоприплив, зумовлений технологічними процесами, складається з двох основних складових: тепловиділень від продукції та теплоприпливу від тари.

Розрахунком встановлено, що теплоприплив від продукції становить:

- для К №1 – 9 кВт;
- для К №2 – 12,8 кВт.

Теплоприплив від тари дорівнює:

- для К №1 – 267,3 Вт;
- для К №2 – 52,08 Вт.

Отже, сумарне технологічне теплове навантаження складає:

- для К №1 – 9267,3Вт;
- для К №2 – 12852,1 Вт.

При проведенні розрахунків приймається, що в К №1 одночасно працюють чотири особи, а в К №2 – дві особи.

За результатами обчислень вентиляційний теплоприплив становить:

- для К №1 – 589,6 Вт;
- для К №2 – 294,8 Вт.

Експлуатаційні теплоприпливи враховують тепловиділення, що виникають під час роботи холодильних камер, і визначаються як сума окремих складових.

Тепловиділення від освітлювальних приладів:

- К №1 – 288 Вт;
- К №2 – 144 Вт.

Тепловиділення від персоналу:

- К №1 – 984 Вт;
- К №2 – 492 Вт.

Тепловиділення від технологічного обладнання:

- приймається рівним 0 Вт.

Теплоприплив через відкривання дверей:

- К №1 – 1728 Вт;

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		34

- К №2 – 1008 Вт.

Експлуатаційні теплоприпливи:

- для К №1 – 3000 Вт;
- для К №2 – 1644 Вт.

Повне теплове навантаження на холодильне обладнання визначається з урахуванням усіх раніше розрахованих теплоприпливів.

Результати розрахунків становлять:

- для К №1 – 21660,7 Вт;
- для К №2 – 17996,9 Вт.

Теплове навантаження на компресорне обладнання.

Отримані значення дорівнюють:

- для К №1 – 23405,5 Вт;
- для К №2 – 20710 Вт.

Визначені теплові навантаження використовуються для подальшого підбору холодильного устаткування та перевірки його працездатності в заданих умовах експлуатації.

2.4. Вибір системи охолодження та холодильного агенту

Для охолодження камер приймається система безпосереднього кипіння холодильного агенту R404A.

Холодоагент R404A є багатокомпонентною сумішшю гідрофторвуглецевих холодильних агентів. До його складу входять R125, R143a та R134a. Він належить до холодоагентів, які не містять хлору, тому його озоноруйнівний потенціал дорівнює нулю. Завдяки своїм термодинамічним властивостям R404A широко застосовується у парокомпресійних холодильних машинах середньо- та низькотемпературного призначення.

R404A є близькою до азеотропної сумішшю. Це означає, що під час фазових переходів зміна температури кипіння або конденсації відбувається у незначних межах. Така властивість спрощує експлуатацію холодильної

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35

установки та забезпечує стабільність параметрів роботи системи. Для холодильних установок, призначених для зберігання овочів, це є важливою перевагою, оскільки необхідно підтримувати стабільні температурні умови у камерах.

Основними перевагами холодоагенту R404A є:

- нульовий озоноруйнівний потенціал, що означає відсутність негативного впливу на озоновий шар;
- висока холодопродуктивність у середньо- та низькотемпературних режимах;
- стабільність робочих параметрів у процесі кипіння та конденсації;
- сумісність із сучасним компресорним обладнанням;
- можливість застосування у систем з безпосереднім кипінням у повітроохолоджувачах;
- достатній досвід експлуатації у промислових та комерційних холодильних установках.

Разом із перевагами R404A має і певні недоліки. Основним із них є високий потенціал глобального потепління. Це означає, що у разі витoku холодоагент може негативно впливати на навколишнє середовище. Тому при проєктуванні установки необхідно передбачати високу герметичність холодильного контуру, якісне виконання монтажних з'єднань, контроль тиску та регулярну перевірку системи на наявність витоків.

Для роботи з R404A зазвичай застосовуються синтетичні поліефірні мастила. Такі мастила забезпечують надійне змащування компресора, однак є чутливими до вологи. Тому під час монтажу та експлуатації холодної установки необхідно забезпечити вакуумування системи, використання фільтрів-осушувачів та недопущення потрапляння вологи у холодильний контур.

Під час експлуатації установки на R404A необхідно враховувати такі вимоги:

- забезпечення герметичності всіх з'єднань холодильного контуру;

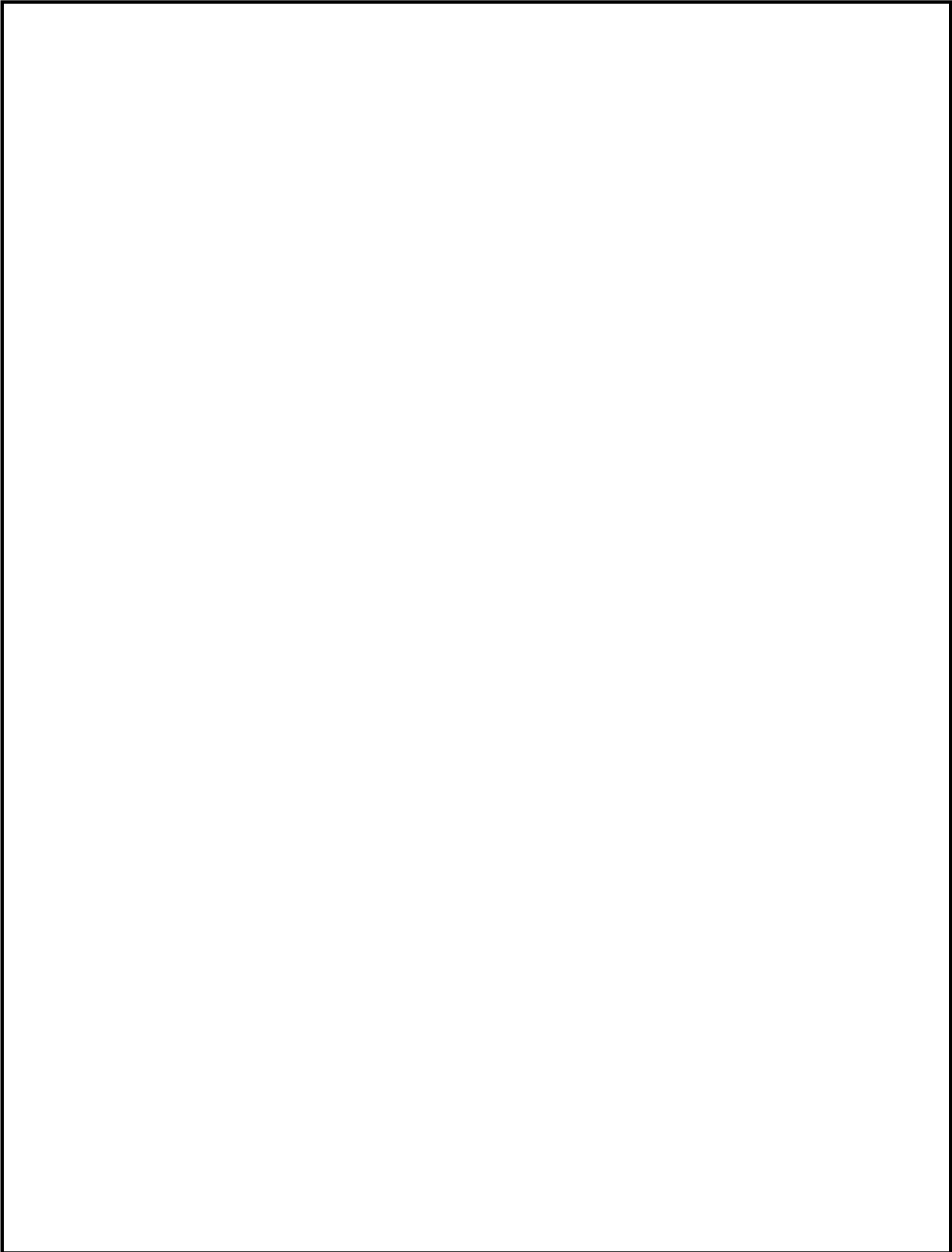
					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		36

- використання обладнання, сумісного з R404A та поліефірними мастилами;
- контроль робочих тисків на стороні всмоктування і нагнітання;
- встановлення фільтра-осушувача на рідинній лінії;
- регулярний контроль перегріву пари на виході з випарника;
- недопущення потрапляння рідкого холодоагенту у компресор;
- дотримання вимог безпеки при заправленні та обслуговуванні системи.

2.5. Висновки за розділом 2

У цьому розділі проведено теплотехнічні розрахунки овочесховища з метою визначення необхідних умов для ефективного зберігання продукції. Для зменшення теплових втрат підібрано конструкції теплоізоляційних огорожень із необхідними теплофізичними характеристиками. Виконаний розрахунок теплоприпливів дозволив визначити загальне холодильне навантаження на сховище. На основі отриманих даних обрано систему охолодження, здатну підтримувати необхідний температурний режим. Також здійснено вибір холодильного агента з урахуванням ефективності та безпечності його використання

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		37



					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.03						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 3				Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Самохвалова А.О.									
Керівник		Радченко Р.М.									
Консульт.											
Зав.каф.		Кобалава Г.О.			ХННІ НУК 38						

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ

3.1. Побудова циклу холодильної машини на p, h -діаграмі та його розрахунок

3.1.1 Обґрунтування та вибір схеми холодильної установки

Для підтримання необхідних температурних режимів у камерах зберігання та охолодження томатів, відповідно до технічного завдання та нових вказівок керівника проєкту, приймається *одноступенева компресійна холодильна установка з безпосереднім охолодженням*. Робоче середовище (холодоагент) кипить безпосередньо у внутрішньому об'ємі трубних пучків кубічних повітроохолоджувачів, розташованих у камерах.

Така схема є прямоточною та прямою, що дозволяє повністю виключити проміжний контур із холодоносієм (розсолем), який використовувався у застарілих проєктах. Це суттєво знижує капітальні витрати на додаткове насосне та теплообмінне обладнання, а також підвищує енергетичну ефективність установки за рахунок зменшення температурного напору між киплячим фреоном та повітрям камери.

Як робоче тіло (холодильний агент) у даному проєкті прийнято озонобезпечний зеотропний фреон **R404A**. Його термодинамічні властивості ідеально підходять для середньотемпературного діапазону роботи обладнання комерційних овочесховищ.

Взаємозв'язок елементів системи та характер проходження термодинамічних процесів наведені на принциповій схемі та графіку циклу (рис. 3.1).

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		39

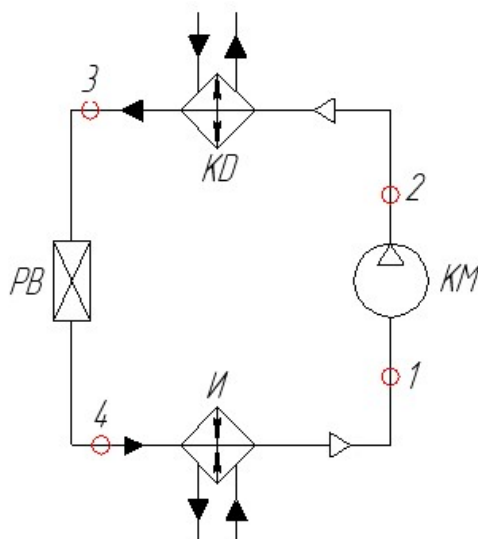


Рисунок 3.1 Схема фреонової холодильної машини

3.1.2 Визначення розрахункових температур холодильного циклу

Розрахункові температури кипіння (t_0) та конденсації (t_k) фреону R404A визначаються виходячи з температур камери та охолоджуючого середовища:

1. Температура кипіння (t_0): приймається на $\Delta t_b = 10^\circ\text{C}$ нижче за температуру повітря в холодильній камері $t_k = +4^\circ\text{C}$):

$$t_0 = t_k - \Delta t_b = 4 - 10 = -6^\circ\text{C}$$

2. Температура конденсації (t_k): залежить від температури води на вході в конденсатор ($t_{b1} = +20^\circ\text{C}$). Приймаючи нагрів води в конденсаторі $\Delta t_b = 4^\circ\text{C}$ та температурний напір на виході $\theta = 4^\circ\text{C}$, отримуємо:

$$t_k = t_{b1} + \Delta t_b + \theta = 20 + 4 + 4 = 28^\circ\text{C}$$

3. Температура всмоктування компресора (t_1): з урахуванням корисного перегріву пари в повітроохолоджувачі та теплоприпливів у всмоктувальному трубопроводі, приймаємо температуру пари перед входом у компресор:

$$t_1 = 4^\circ\text{C}$$

4. Температура переохолодження рідкого хладагенту (t_4): за рахунок встановлення переохолоджувача або регенеративного теплообміну приймаємо температуру рідкого фреону перед дросельним вентилем:

$$t_4 = t_k - \Delta t_{pe} = 28 - 3 = 25^\circ\text{C}$$

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.03	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3.1.3 Термодинамічні параметри вузлових точок циклу R404A

Графічне визначення параметрів стану робочого тіла у вузлових точках одноступеневого прямооточного циклу виконується за допомогою термодинамічної діаграми тиск-ентальпія для фреона R404A (рис. 3.2).

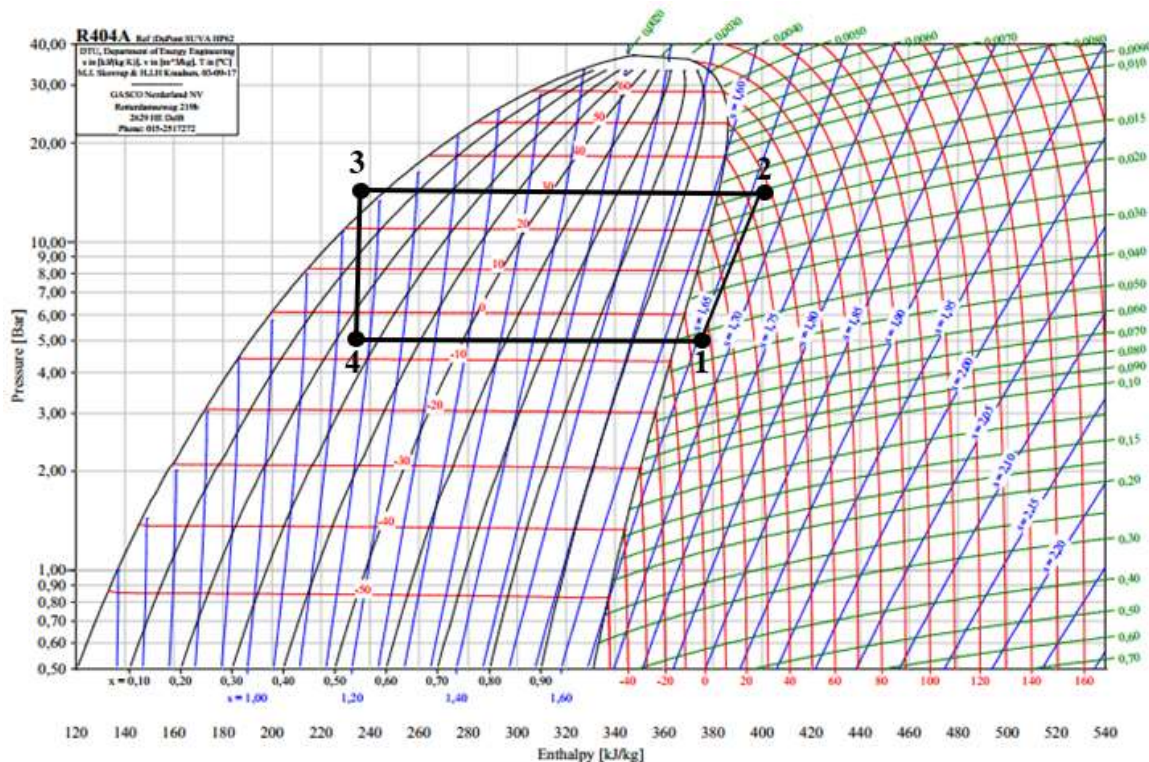


Рисунок 3.2 Ентальпійна діаграма стану холодильного агента R404A ($\log p - h$) з нанесеними робочими точками розрахункового циклу

За діаграмою стану фреону R404A (рис. 3.2) визначаємо тиск та ентальпію (тепломісткість) у головних точках циклу:

- **Точка 1** (пара на всмоктуванні в компресор): $t_1 = +4^\circ\text{C}$, тиск кипіння $p_0 = 4,96$ бар, ентальпія $i_1 = 373,2$ кДж/кг.
- **Точка 2s** (ізоентропійне стиснення в компресорі): тиск конденсації $p_k = 13,85$ бар ентропія $s_2 = s_1$, ентальпія за теоретичного стиснення $i_{2s} = 398,5$ кДж/кг.
- **Точка 2** (дійсна пара на виході з компресора з урахуванням індикаторного ККД): $t_2 \approx +48^\circ\text{C}$, ентальпія $i_2 = 405,1$ кДж/кг.

- **Точка 3** (рідкий фреон на лінії насичення після конденсації $t_3 = +28\text{ }^{\circ}\text{C}$; тиск $p_k = 13,85$ бар, ентальпія $i_3 = 239,4$ кДж/кг.
- **Точка 4** (переохолоджена рідина перед ЕРВ): $t_4 = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$; ентальпія $i_4 = 234,8$ кДж/кг.
- **Точка 5** (парорідинна суміш після дроселювання): $p_0 = 4,96$ бар, процес відображає вертикальну лінію ізоентальпійного розширення, тому $i_5 = i_4 = 234,8$ кДж/кг.

Зведемо отримані розрахункові параметри точок циклу в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 Термодинамічні параметри робочого циклу установки на R404A

Номер точки циклу	Стан робочого тіла	Температура $t, \text{ }^{\circ}\text{C}$	Абсолютний тиск p , бар	Ентальпія i , кДж/кг
1	Перегріта пара на всмоктуванні	+4	4,96	373,2
2s	Теоретичний кінець стиснення	+39	13,85	398,5
2	Реальний кінець стиснення	+48	13,85	405,1
3	Насичена рідина після конденсації	+28	13,85	239,4
4	Переохолоджена рідина перед ЕРВ	+25	13,85	234,8
5	Волога пара після дроселювання	-6	4,96	234,8

3.1.4 Розрахунок питомих величин холодильного циклу

1.Питома масова холодопродуктивність фреону R404A (q_0 , кДж/кг):

$$q_0 = i_1 - i_5 = 373,2 - 234,8 = 138,4 \text{ кДж/кг}$$

2. Питома робота стиснення компресора (l_k , кДж/кг):

$$l_k = i_2 - i_1 = 405,1 - 373,2 = 31,9 \text{ кДж/кг}$$

3. Питоме теплове навантаження на конденсатор (q_k , кДж/кг):

$$q_k = i_2 - i_3 = 405,1 - 239,4 = 165,7 \text{ кДж/кг}$$

4. Термодинамічний холодильний коефіцієнт розрахункового циклу (ε):

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_k} = \frac{138,4}{31,9} = 4,34$$

3.2. Підбір холодильного компресора, теплообмінних апаратів, системи автоматичного регулювання і захисту

3.2.1 Розрахунок та підбір холодильного компресора

Вихідною базою для підбору компресорного обладнання є сумарне розрахункове теплове навантаження на компресорну станцію, отримане за результатами теплових розрахунків у Розділі 2, яке для двох камер становить:

$$Q_{km} = 57,23 \text{ кВт}$$

1. Масова витрата холодильного агенту R404A через компресор (G_m , кг/с):

$$G_m = Q_{km} / q_0 = \frac{57,23}{138,4} = 0,4135 \text{ кг/с} \approx 1488,8 \text{ кг/год}$$

2. Розрахункова об'ємна продуктивність компресора з урахуванням питомого об'єму пари на всмоктуванні ($v_1 = 0,041 \text{ м}^3/\text{кг}$) та коефіцієнта подачі ($\lambda \approx 0,74$):

$$V_g = \frac{G_m \cdot v_1 \cdot 3600}{\lambda} = \frac{0,4135 \cdot 0,041 \cdot 3600}{0,74} = 82,5 \text{ м}^3/\text{год}$$

Відповідно до отриманого значення необхідної об'ємної продуктивності ($82,5 \text{ м}^3/\text{год}$), за офіційним технічним каталогом компанії **Bitzer** обираємо промисловий напівгерметичний поршневий компресор наступної марки:

Модель компресора: Bitzer 4GE-23Y (працює на синтетичному маслі ефірного типу BSE32, що оптимізоване для HFC фреонів типу R404A).

Технічні характеристики підбраного компресора Bitzer 4GE-23Y:

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		43

- Об'ємна продуктивність при частоті струму 50 Гц: 84,5 м³/год;
- Кількість циліндрів компресора: 6;
- Номінальна потужність вбудованого електродвигуна: 29,4кВт;
- Максимальний робочий струм: 66,0 А.

Обраний компресор повністю покриває розрахункове середньогодинне навантаження і має необхідний інженерний запас продуктивності (~2,4%).

3.2.2 Розрахунок та підбір конденсатора

Теплове навантаження на конденсаційну установку (Q_k , кВт):

$$Q_k = G_m \cdot q_k = 0,4135 \cdot 165,7 = 68,52 \text{ кВт}$$

З метою забезпечення високої надійності об'єкта та стабільності параметрів конденсації незалежно від коливань температур навколишнього середовища, вибираємо водяний кожухотрубний конденсатор фірми **Bitzer** типу **K373H**.

Параметри підбраного конденсатора Bitzer K373H:

- Максимальна теплова потужність апарату: 75,0кВт;
- Розрахункова витрата охолоджуючої води: 12,5 м³/год;
- Об'єм трубного простору (місткість по рідкому фреону): 18,4дм³.

3.2.3 Підбір допоміжного обладнання контуру

1. Лінійний ресивер: Приймається рідинний ресивер компанії **Bitzer** **FS126** загальним об'ємом 12,5л для збору рідкого холодоагенту після конденсатора та забезпечення безперебійної та стабільної подачі фреону на регулюючі вентилі камер.

2. Терморегулюючий вентиль (EPV): Для точного автоматичного підтримання перегріву пари на виході з випарників камер обираємо електронні розширювальні вентилі фірми **Danfoss** типу **ETS 12.5**, які керовані центральним контролером за сигналами від датчиків тиску та температури.

3.2.4 Підбір приладів автоматизації

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		44

Автоматизація проектованої холодильної установки для двокамерного овочесховища площею 430 м² спрямована на забезпечення безпечної та безперебійної роботи обладнання без постійної присутності обслуговуючого персоналу. Автоматичне керування дозволяє точно підтримувати технологічні параметри середовища, мінімізувати усушку томатів, оптимізувати споживання електроенергії та повністю захистити компресорний агрегат Bitzer від аварійних режимів роботи.

Спосіб регулювання температури в приміщеннях та заповнення випарників

Основним завданням системи автоматизації є підтримання постійної температури повітря в камерах зберігання на рівні $t_k = +4^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$

Для реалізації цього завдання у кожній із двох камер встановлюються цифрові датчики температури (термореле), які керують роботою двопозиційних електромагнітних (соленоїдних) вентилів, змонтованих на рідинних магістралях безпосередньо перед кубічними повітроохолоджувачами (площею поверхні 65 м²):

- При підвищенні температури повітря в камері вище заданої уставки, датчик подає сигнал на котушку соленоїдного вентиля. Вентиль відкривається, і рідкий хладагент R404A через терморегулюючий вентиль (ТРВ) надходить у трубний простір випарника.
- Після охолодження об'єму камери до $+4^{\circ}\text{C}$ термореле знеструмлює соленоїдний вентиль, перекриваючи подачу фреону.

Компресорний агрегат продовжує працювати, відкачуючи пару хладагенту з повітроохолоджувача. Коли тиск у всмоктувальній лінії падає до встановленої межі, компресор автоматично зупиняється за сигналом реле низького тиску (реалізовано класичну схему захисного відкачування *Pump-down*). Це запобігає небезпечному затіканню рідкого фреону в картер компресора під час зупинок установки.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

Регулювання ступеня заповнення випарника R404A здійснюється за допомогою електронних ТРВ, які безперервно вимірюють величину перегріву пари на виході з апарата за допомогою комбінації датчика тиску та температури, підтримуючи перегрів у межах 4....6 К.

Автоматичний захист, сигналізація і контроль холодинної установки

Система аварійного захисту (САЗ) призначена для миттєвого вимкнення електроживлення поршневого компресора **Bitzer 4GE-23Y** у разі виникнення режимів, що загрожують цілісності обладнання. Згідно з логікою побудови схеми, САЗ контролює наступні параметри (дані уставки приладів зведені в таблицю 5.1):

1. Захист від небезпечного підвищення тиску нагнітання: Виникає при зупинці вентиляторів конденсатора або припиненні подачі охолоджуючого повітря. Захист реалізується за допомогою пресостату високого тиску, який розмикає ланцюг керування компресора.

2. Захист від критичного падіння тиску всмоктування: Свідчить про забивання фільтра-осушувача, ТРВ або значний витік фреону R404A з контуру. Контролюється пресостатом низького тиску.

3. Захист за диференціальним тиском мастила: Поршневі/спіральні компресори Bitzer оснащуються реле контролю змазки (РКС). Якщо різниця між тиском мастила на виході з насоса та тиском у картері стає нижчою за норму, реле запускає внутрішній таймер і через 90 секунд повністю блокує пуск компресора, сигналізуючи про аварію.

4. Захист від перегріву обмоток електродвигуна: Внутрішній термісторний захист (блок SE-B1/SE-B2) вимикає компресор при досягненні критичної температури всередині двигуна.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

Таблиця 3.2 Розрахункові параметри та уставки приладів автоматичного захисту

Контрольований параметр (аварійний режим)	Тип приладу автоматики	Значення уставки для R404A	Дія системи захисту
Максимальний тиск нагнітання (аварія)	Пресостат ВТ (<i>Danfoss KP5</i>)	2,2 МПа (22 бар)	Зупинка компресора, аварійна сигналізація
Мінімальний тиск всмоктування	Пресостат НТ (<i>Danfoss KP1</i>)	0,15 МПа (1,5 бар)	Зупинка компресора (Pump-down)
Недостатній тиск мастила в картері	Реле різниці тисків (<i>Danfoss MP55</i>)	$\Delta p = 0,065$ МПа	Зупинка компресора із затримкою 90 с
Перегрів нагнітальних клапанів / двигуна	Термісторне реле (<i>Bitzer SE-B</i>)	+110°C	Блокування пуску компресора

Будь-яке спрацювання захисних приладів (крім робочого регулювання температури) супроводжується фіксацією аварії на центральному щиті автоматики, увімкненням червоної світлової сигналізації та звукового зумера. Повторний запуск установки після аварії можливий лише вручну після усунення причин несправності.

Автоматизація процесу відтавання (дефростації)

При температурі кипіння фреону -6°C волога з повітря камери інтенсивно конденсується на пластинчастих ребрах апарата з утворенням інею. Схема автоматизації передбачає регулярне відтавання ТЕНи-системою кубічного повітроохолоджувача:

1. Керуючий процесор за внутрішнім таймером (кожні 6 годин) ініціює цикл дефростації.

2. Закривається соленоїдний клапан рідинної лінії, вимикаються осьові вентилятори обдуву випарника, компресор відкачує залишки фреону.
3. Подається напруга на електричні нагрівачі (ТЕНи), розташовані в блоці ребер та в піддоні для збору талої води.
4. Процес відтавання триває доти, доки датчик температури інею на ребрах не зафіксує значення $+8^{\circ}\text{C}$ (що свідчить про повне танення криги).
5. ТЕНи знеструмлюються, запускається компресор для зниження температури блока труб, і лише після цього вмикаються вентилятори, щоб краплі води та тепле повітря не викидалися в об'єм камери з томатами.

3.3. Розміщення обладнання холодильної установки у приміщенні

Компресорний агрегат на базі Bitzer 4GE-23Y, лінійний ресивер FS126, кожухотрубний конденсатор та головний щит автоматичного керування й захисту монтуються в окремому ізольованому приміщенні — машинному відділенні (МВ). Розміщення обладнання виконується відповідно до чинних правил безпечної експлуатації фреонових холодильних систем:

Фундамент під компресорний агрегат виконується з віброізолюючими пружинними або гумовими опорами для виключення передачі структурного шуму та мікровібрацій на загальні будівельні конструкції споруди.

Ширина головних проходів для обслуговування компресора та блоку лінійного ресивера становить не менше 0,8м, а відстань від стін приміщення машинного відділення до частин машин — не менше 0,2м.

Трасування трубопроводів фреонового контуру запроєктовано верхнім способом на спеціальних кронштейнах. Всмоктувальна лінія магістралі повністю ізолюється матеріалом типу K-Flex для запобігання утворенню конденсату та паразитних втрат холодопродуктивності. Нагнітальний та рідинний трубопроводи виготовляються з суцільнотягнутих мідних труб високої якості під пайку срібним припоєм.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		48

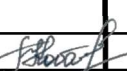
3.4. Висновки за розділом 3

Виконано термодинамічний розрахунок одноступеневого прямооточного холодильного циклу безпосереднього охолодження на озонобезпечному хладагенті R404A при розрахунковій температурі кипіння -6°C та конденсації $+28^{\circ}\text{C}$. Реальний холодильний коефіцієнт циклу становить 4,34.

На основі розрахованої масової витрати фреону (1488,8кг/год) за каталогом виробника підібрано поршневий компресорний апарат **Bitzer 4GE-23Y** та лінійний ресивер **Bitzer FS126**».

Підібрано основне теплообмінне та допоміжне обладнання установки (водяний конденсатор Bitzer K373H, ресивер FS126, ЕРВ Danfoss ETS 12.5) та розроблено раціональний план їх безпечного просторового розміщення у машинному відділенні комплексу.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		49

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.04					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Студент		Самохвалова А.О.			Розділ 4			Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Радченко Р.М.								
Консульт.								ХННІ НУК 50		
Зав.каф.		Кобалава Г.О.								

РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІННИКА

4.1. Основні характеристики повітроохолоджувачів

Розрахунок виконувався при наступних допущеннях: середні параметри повітря в повітроохолоджувачі дорівнюють параметрам повітря в охолоджуваному приміщенні, температури кипіння холодильного агента й поверхні теплообмінної секції є постійними.

Для проектного повітроохолоджувача приймаємо наступні вихідні дані, що базуються на результатах теплового балансу об'єкта (Розділ 2) та зауваженнях керівника щодо перерахунку під реальну необхідну потужність:

- Загальне теплове навантаження на камери охолодження томатів:
 $Q_{\text{по}} = 34,9 \text{ кВт}$.

- Оскільки в камері встановлюється два однакові повітроохолоджувачі кубічного типу для рівномірного розподілу повітряного потоку, розрахункове теплове навантаження на один апарат становить:

$$Q_{\{\text{один}\}} = \frac{Q_{\{\text{по}\}}}{2} = \frac{34,9}{2} = 17,45 \text{ кВт}$$

- Робочий холодильний агент: **R404A**.
- Температура повітря на вході в апарат (температура в камері): $t = 4^{\circ}\text{C}$.
- Температура кипіння хладагенту всередині трубок: $t = -6^{\circ}\text{C}$
- Розрахунковий температурний напір між киплячим фреоном та охолоджуваним середовищем:

$$\Delta t = t_k - t_0 = 4 - (-6) = 10^{\circ}\text{C}.$$

4.2. Розрахунок та підбір повітроохолоджувача

Відповідно до каталога промислового теплообмінного обладнання, вибираємо теплообмінну секцію кубічного повітроохолоджувача із квадратними пластинчастими ребрами (РП). Геометричні характеристики

					<i>КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.04</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		51

поверхні апарата, що прийняті за каталогом та перераховані під умови роботи системи на фреоні R404A, зведені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 Геометричні характеристики оребреної поверхні випарника

Найменування геометричного параметра	Позначення	Розмірність	Значення параметра
Зовнішній діаметр несучої мідної труби	$d^{\text{зовн}}$	мм	16
Внутрішній діаметр труби	$d^{\text{вн}}$	мм	14
Товщина стінки труби	$\delta_{\text{ст}}$	мм	1,0
Крок розташування пластинчастих ребер	δ_p	мм	7,0
Товщина алюмінієвого ребра	δ_p	мм	0,5
Крок розташування труб у фронтальному перерізі	s_1	мм	50
Крок розташування труб за ходом повітря	s_2	мм	50
Розмір квадратного пластинчастого ребра	$a \times a$	мм	50 × 50
Розрахунковий коефіцієнт оребрення поверхні	β	—	14,0

Розрахуємо площу поверхні одного метра гладкої труби по зовнішньому діаметру $f_{\text{гл}} = \text{м}^2/\text{м}$

$$f_{\text{гл}} = \pi \cdot d^{\text{зовн}} \cdot (1 - n_p \cdot \delta_p)$$

де n_p — кількість ребер на 1 метрі довжини труби:

$$n_p = \frac{1}{\delta_p} = \frac{1}{0,007} = 142,86 \text{ шт/м}$$

$$f_{\text{гл}} = 3,1416 \cdot 0,016 \cdot (1 - 142,86 \cdot 0,0005) = 0,0503 \cdot 0,9286$$

$$= 0,0467 \frac{\text{м}^2}{\text{м}}$$

Площа поверхні власне ребер на 1 метрі довжини труби ($f_p, \text{м}^2/\text{м}$):

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.04	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$f_p = 2 \cdot n_p \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_{\text{зовн}}}{4} \right)$$

$$f_p = 2 \cdot 142,86 \cdot (0,05^2 - (3,1416 \cdot 0,016^2/4)) = 285,72 \cdot (0,0025 - 0,0002) = 0,6572 \text{ м}^2/\text{м}$$

Повна зовнішня поверхня 1 метра оребреної труби ($f_{\text{повн}}$, $\text{м}^2/\text{м}$):

$$f_{\text{повн}} = f_{\text{гл}} + f_p = 0,0467 + 0,6572 = 0,7039 \text{ м}^2/\text{м}$$

4.2.1 Тепловий розрахунок та побудова процесу стану повітря

Охолодження повітря в повітроохолоджувачах середньотемпературних камер супроводжується зниженням його температури, а також частковою конденсацією вологи та утворенням інею на ребрах. Визначення параметрів зміни стану повітряного потоку при температурі камери $+4^\circ\text{C}$ та кипінні фреону -6°C проводиться за допомогою h-d (I-d) діаграми вологого повітря.

Дані точок холодильного циклу зміни стану повітря, отримані з h-d діаграми, зведені в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 Дані процесу зміни стану повітря з (h-d) діаграми

Параметри стану повітря	Позначення	Розмірність	Вхід в апарат	Вихід з апарата	Поверхня трубок
Температура повітря	t	$^\circ\text{C}$	+4,0	0,0	-3,0
Відносна вологість	φ	%	92	95	100
Влаговміст повітря	d	г/кг	4,6	3,8	3,0
Ентальпія (тепломісткість)	h	кДж/кг	15,4	9,6	4,5

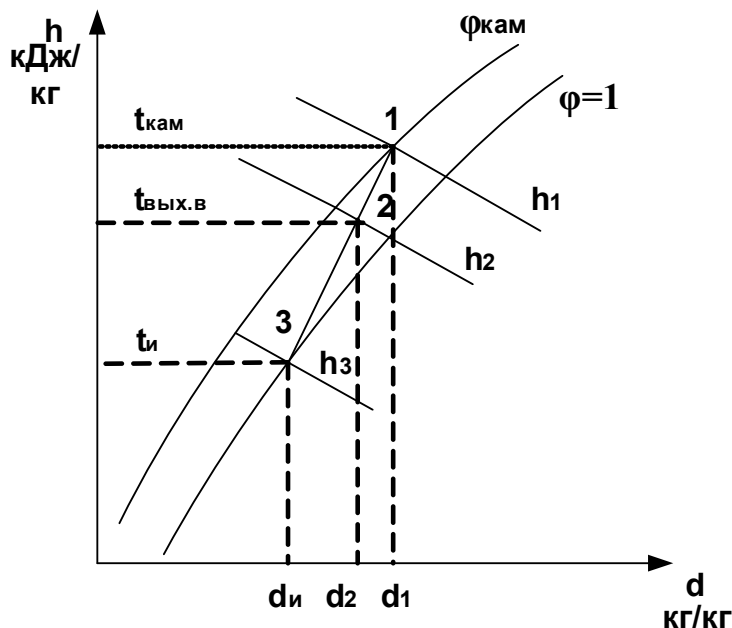


Рисунок 4.1 Процес зміни стану повітря в повітроохолоджувачі на h-d діаграмі вологого повітря.

На основі побудованого графіка (рис. 4.1) та даних таблиці 4.2 визначаємо коефіцієнт вологовипадіння $\xi_{\text{вол}}$, який враховує витрату холоду на сухе охолодження та на фазове перетворення води (іній). Приймаємо $\xi_{\text{вол}} = 1,18$.

Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі з боку повітря

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зовнішньої поверхні визначається з критеріального рівняння Нуссельта для поперечно-оребраних пучків при вимушеному русі.

Визначаємо теплофізичні параметри повітря при середній температурі $+4^\circ\text{C}$:

- Густина повітря: $\rho_{\text{пов}} = 1,27 \text{ кг/м}^3$
- Кінематична в'язкість: $\nu_{\text{пов}} = 13,85 \cdot \frac{10^{-6} \text{ м}^2}{\text{с}}$
- Теплопровідність повітря: $\lambda_{\text{пов}} = 0,0244 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Швидкість повітря у вузькому ("живому") перерізі пучка трубок приймаємо $\omega = 3,5 \text{ м/с}$. Визначаємо критерій Рейнольдса за зовнішнім діаметром несучої труби:

Визначаємо критерій Рейнольдса за зовнішнім діаметром несучої труби:

$$Re = \frac{w \cdot d_{\text{зовн}}}{\nu_{\text{пов}}} = \frac{3,5 \cdot 0,016}{13,85 \cdot 10^{-6}} = 4043$$

Для шахового розташування труб із пластинчастим оребренням критеріальне рівняння Нуссельта має вигляд:

$$Nu = 0,105 \cdot Re^{0,72} \cdot \left(\frac{S_p}{d_{\text{зовн}}} \right)^{0,12} = 0,105 \cdot (4043)^{0,72} \cdot \left(\frac{7}{16} \right)^{0,12} = 37,86$$

Розрахунковий коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря до сухої поверхні апарата ($\alpha_{\text{сух}}$):

$$\alpha_{\text{сух}} = \frac{(Nu \cdot \lambda_{\text{пов}})}{d_{\text{зовн}}} = \frac{(37,86 \cdot 0,0244)}{0,016} = 57,74 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

З урахуванням коефіцієнта вологовипадіння ($\xi_{\text{вол}} = 1,18$) дійсний коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря становить:

$$\alpha_{\text{пов}} = \alpha_{\text{сух}} \cdot \xi_{\text{вол}} = 57,74 \cdot 1,18 = 68,13 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Розрахунок тепловіддачі з боку киплячого фреону R404A та коефіцієнта теплопередачі

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні хладагенту всередині мідних трубок ($\alpha_{\text{вн}}$) для середньотемпературного діапазону роботи на R404A приймаємо рівним:

$$\alpha_{\text{вн}} = 1250 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі (k), віднесений до повної зовнішньої оребреної поверхні, розраховується з урахуванням ефективності ребра ($\eta_r = 0,85$) та термічного опору забруднень і масляної плівки $r_{\text{забр}} = 0,0002 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{пов}} \cdot \eta_r} + \frac{\beta}{\alpha_{\text{вн}}} + r_{\text{забр}}} = \frac{1}{\frac{1}{68,13 \cdot 0,85} + \frac{14,0}{1250} + 0,0002} = \frac{1}{0,02867} = 4,88 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Розрахунок необхідної площі поверхні теплообміну

Необхідна зовнішня площа поверхні одного повітроохолоджувача визначається за основним рівнянням теплопередачі на основі **необхідної потужності 17,45кВт**:

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55

$$F_{\text{необх}} = Q_{\text{один}} \frac{Q_{\text{один}}}{k \cdot \Delta t} = \frac{17450}{34,88 \cdot 10} = 50,03 \text{ м}^2$$

Враховуючи утворення шару інею (снігової шуби) у процесі тривалої експлуатації, вводимо коефіцієнт запасу на обмерзання ($k_{\text{ін}} = 1,25$). Розрахункова площа поверхні становить:

$$F_{\{\text{розр}\}} = F_{\{\text{необх}\}} \cdot k_{\{\text{ін}\}} = 50,03 \cdot 1,25 = 62,54 \text{ м}^2$$

На основі отриманого чисельного результату, за каталогом промислового обладнання приймаємо до встановлення кубічний повітроохолоджувач з номінальною площею поверхні **65 м²**, що повністю відповідає графічній частині проєкту та вашому кресленню випарника.

4.2.2 Геометричний розрахунок та компоновка трубного пучка

Визначення загальної довжини та кількості трубок

Загальна довжина оребрених трубок ($L_{\{\text{заг}\}}$, м) становить:

$$L_{\{\text{заг}\}} = \frac{F_{\{\text{розр}\}}}{f_{\{\text{повн}\}}} = \frac{62,54}{0,7039} = 88,85 \approx 90$$

Приймаємо конструктивну довжину одного ходу труби у фронтальному перерізі апарата $l = 1,5 \text{ м}$. Тоді загальна кількість трубок в апараті становить:

$$Z_{\{\text{заг}\}} = \frac{L_{\{\text{заг}\}}}{l} = \frac{90}{1,5} = 60 \text{ шт}$$

Компоновка пучка труб та об'єм заправки

Для забезпечення компактності приймаємо шахову компоновку трубного пучка:

- Число труб у фронтальному перерізі по вертикалі (висота пучка): $Z_{\{\text{в}\}} = 10$ шт
- Число труб за ходом руху повітря (глибина пучка): $Z_{\{\text{г}\}} = \frac{Z_{\{\text{заг}\}}}{Z_{\{\text{в}\}}} = \frac{60}{10} = 6$ шт.

Дійсні габаритні розміри теплообмінної секції: висота

$$H = Z_{\{\text{в}\}} \cdot s_1 = 10 \cdot 0,050 = 0,50 \text{ м} \quad \text{глибина} \quad B = Z_{\{\text{г}\}} \cdot s_2 = 6 \cdot 0,050 = 0,30 \text{ м}; \text{ довжина } L = 1,50 \text{ м}.$$

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		56

Внутрішній об'єм трубного простору повітроохолоджувача ($V_{\text{вн}}$), який заповнюється киплячим фреоном R404A:

$$V_{\text{вн}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot L_{\text{заг}} = \frac{3,1416 \cdot 0,014^2}{4} \cdot 90 = 0,01385 \text{ м}^3 = 13,85 \text{ дм}^3$$

4.2.3 Аеродинамічний розрахунок та втрати тиску повітря

Розрахунок "живого" сечення з урахуванням інею

Площа вільного перерізу для проходу повітря у фронтальній частині сухого апарата становить $f_{\text{сух}} = 0,51 \text{ м}^2$. Приймаємо граничну товщину снігової шуби на ребрах $\delta_{\text{ін}} = 1,0 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$.

"Живий" переріз повітроохолоджувача з урахуванням обмерзання поверхні ($f_{\text{ін}} \text{ м}^2$):

$$f_{\text{ін}} = f_{\text{сух}} - z_{\text{заг}} \cdot 2 \cdot \delta_{\text{ін}} \cdot l = 0,51 - 60 \cdot 2 \cdot 0,001 \cdot 1,5 = 0,33 \text{ м}^2$$

Дійсна швидкість повітря в обмерзломому пучку труб при номінальній витраті повітря вентиляторами ($V_{\text{пов}} = 4200 \text{ м}^3/\text{год} = 1,167 \text{ м}^3/\text{с}$):

$$w_{\text{дійс}} = \frac{V_{\text{пов}}}{f_{\text{ін}}} = \frac{1,167}{0,33} = 3,53 \text{ м/с}$$

Визначення аеродинамічного опору

Загальний аеродинамічний опір оребреної секції з інеєм ($\delta p_{\text{аеро}}, \text{Па}$) розраховується за формулою:

$$\Delta p_{\text{аеро}} = \xi \cdot \frac{\rho_{\text{пов}} \cdot w_{\text{дійс}}^2}{2}$$

де $\xi = 4,2$ — коефіцієнт аеродинамічного опору для 6-рядного шахового пучка;

$\rho_{\text{пов}} = 1,27 \text{ кг/м}^3$ — густина повітря при температурі камери $+4^\circ\text{C}$

$$\Delta p_{\text{аеро}} = 4,2 \cdot \frac{1,27 \cdot 3,53^2}{2} = 4,2 \cdot \frac{1,27 \cdot 12,46}{2} = 33,2 \text{ Па}$$

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

Отриманий опір (33,2 Па) є порівняно невеликим і повністю долається статичним напором двох вбудованих осьових вентиляторів діаметром крильчатки 500 мм.

4.2.4 Конструктивні особливості та експлуатація апарата

Обраний у проєкті кубічний повітроохолоджувач площею 65 м² розрахований на тривалу роботу в умовах високої відносної вологості повітря овочесховища (85–90%). Корпус виконаний з алюмінієвого сплаву або оцинкованої сталі з полімерним покриттям, що повністю виключає ризик корозії.

Оскільки апарат працює у режимі вологого ходу з утворенням інею, в конструкції передбачено автоматичну систему відтавання (дефростації) за допомогою електричних ТЕНів, що встановлені безпосередньо у блоці трубного пучка та в дренажному піддоні. ТЕНи вмикаються за сигналом таймера контролера автоматики, плавлять снігову шубу, а утворена вода відводиться через обігрівальний дренажний трубопровід за межі камери. Двигуни вентиляторів мають вбудований тепловий захист та вологозахищене виконання класу IP54.

4.3 Висновки по розділу 4

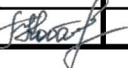
Проведено повний конструктивний, геометричний та аеродинамічний перерахунок кубічного повітроохолоджувача безпосереднього охолодження під необхідну робочу потужність системи **17,45кВт** на один апарат та новий озонобезпечний фреон R404A із залученням процесів стану повітря на h - d діаграмі.

Розраховано геометричні параметри трубного пучка: загальна довжина мідних трубок становить 90 м (z = 60 шт. довжиною по 1,5 м), які скомпоновані у шаховий пучок (10 рядів по висоті та 6 рядів за ходом повітря). Внутрішній об'єм апарата становить 13,85 дм³.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		58

Визначено площу вільного перерізу для проходу повітря з урахуванням нормативного крижаного покриття товщиною 1 мм ($f_{\text{in}} = 0,33\text{м}^2$). Загальний аеродинамічний опір становить 33,2Па, що повністю покривається технічними характеристиками двох встановлених осьових вентиляторів. Результати розрахунку математично довели правильність вибору апарата площею **65 м²**, що повністю узгоджується з графічною частиною дипломного проєкту.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		59

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.05		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 5		
Студент		Самохвалова А.О.					
Керівник		Радченко Р.М.					
Консульт.							
Зав.каф.		Кобалава Г.О.			ХННІ НУК 60		

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз небезпек в машинному відділенні

При експлуатації проєктованої промислової холодильної установки необхідно суворо керуватися вимог НПАОП 0.00-1.51-15 «Правила охорони праці під час експлуатації фреонових холодильних установок» та Закону України «Про охорону праці».

Безпека будь-якого технічного об'єкту, у тому числі і морських суден, забезпечується не лише технічними, але і організаційними заходами, значення яких зростає з підвищенням ролі людського чинника в мореплаванні.

5.1.1 Техніка безпеки при роботі з хладагентом R404A

Хладагент R404A відноситься до групи безпеки A1 (негорючий, невибухонебезпечний). Проте при роботі з ним слід враховувати такі шкідливі фактори:

- **Небезпека ядухи:** Фреон R404A значно важчий за повітря. У разі аварійного витоку великої кількості газу в машинному відділенні, він накопичується в нижній зоні приміщення і витісняє кисень. Для захисту персоналу в машинному залі монтується стаціонарний датчик витоку газу (газоаналізатор). При досягненні концентрації газу понад 1% автоматично вмикається аварійна витяжна вентиляція (кратність не менше 8 об/год) та світлозвукове табло над входом.
- **Кріогенні опіки:** Попадання струменя рідкого фреону на шкіру викликає обмороження (температура кипіння $-46,5^{\circ}\text{C}$). Усі сервісні роботи проводяться в захисних окулярах та щільних брезентових рукавицях.
- **Хімічний розклад:** При контакті з відкритим вогнем або поверхнями з температурою понад $+250^{\circ}\text{C}$ фреон розкладається з виділенням токсичних сполук (фосгену). Паління та використання відкритого вогню в приміщеннях установки категорично заборонено.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		61

5.1.2 Електробезпека та захист від механічних травм

Живлення обладнання здійснюється від трифазної мережі 380 В. Для захисту від ураження електричним струмом у разі пробоя ізоляції реалізовано такі заходи:

- Усі металеві неструмоведучі частини (корпуси компресорів Bitzer, сталеві щити, захисні кожухи, трубні магістралі) підлягають обов'язковому захисному заземленню (зануренню) з опором контуру не більше 4 Ом.
- Силові лінії двигунів та ТЕНів захищаються диференційними автоматами та пристроями захисного вимкнення (УЗО) зі струмом спрацьовування 30 мА.
- Обслуговуючий персонал забезпечується засобами індивідуального захисту (діелектричні рукавички, килимки перед головною сервопанеллю).
- Усі обертові елементи (крильчатки вентиляторів повітроохолоджувачів та повітряних конденсаторів) закриваються сталевими захисними решітками з вічком не більше 20 × 20 мм.

5.1.3 Пожежна профілактика

Приміщення машинного відділення за вибухопожежною небезпекою відноситься до категорії В. Стіни та перекриття виконані з негорючих матеріалів (цегла, залізобетон), евакуаційні двері мають межу вогнестійкості EI 30 і відкриваються назовні.

Приміщення комплектується автоматичною пожежною сигналізацією та первинними засобами пожежогасіння — вуглекислотними вогнегасниками типу ВВ-5 (гасіння електроустановок під напругою). Використання води або пінних вогнегасників у зоні електричних щитів суворо заборонено.

5.2. Висновки за розділом 5

Сформовано підрозділ охорони праці згідно з вимогами НПАОП 0.00-1.51-15. Передбачено заходи колективного захисту: датчики витоку фреону

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		62

R404A, аварійну вентиляцію приміщення машинного залу та контур захисного заземлення з опором до 4 Ом.

					КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		63

ВИСНОВКИ

В даній бакалаврській роботі спроектовано холодильну установку для овочесховища.

Схема охолодження прийнята безпосередня з використанням кубічних повітроохолоджувачів. Для забезпечення технологічних умов зберігання використовуються промислові установки з одноступінчатим стисненням. За результатами розрахунків підібрано холодильне обладнання, яке повністю забезпечить підтримання необхідного температурно-вологісного режиму в холодильних камерах при розрахункових температурах навколишнього середовища.

На основі проведених теплотехнічних та конструктивних розрахунків було обрано сучасний та економічний напівгерметичний поршневий компресор фірми Bitzer, а також виконано конструктивний розрахунок і підбір випарного апарату (повітроохолоджувача).

Розроблено принципову схему холодильної установки з елементами автоматизації, що забезпечує захист від небезпечних режимів роботи та автоматичне керування процесом відтавання. Додатково наведено основні рекомендації з охорони праці, техніки безпеки при експлуатації фреонових систем.

					<i>КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		64

ЛІТЕРАТУРА

1. Бабакін Г. Я. Холодильна техніка. Проектування та розрахунок систем / Г. Я. Бабакін. – Київ : Вища школа, 2008. – 312 с.
2. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В. Розрахунок та проектування теплообмінних апаратів холодильних установок: Навч. посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 148 с.
3. Хмельнюк М. Г. Автоматизація холодильних установок та систем кондиціонування повітря / М. Г. Хмельнюк. – Одеса : ОНАХТ, 2015. – 210 с.
4. Компресори Bitzer: Технічна документація та каталоги підбору обладнання. Серія напівгерметичних поршневих компресорів. – Режим доступу: [Офіційний сайт Bitzer GmbH, Germany].
5. Промислові кубічні повітроохолоджувачі. Технічний каталог та характеристики теплообмінних поверхонь. – Режим доступу: [Офіційні дані виробників обладнання ECO / Lu-Ve, Italy].
6. Промислова автоматика Danfoss: Керівництво з проектування холодильних систем та підбору захисної арматури. – Режим доступу: [Офіційний сервіс Danfoss, Denmark].
7. ДСТУ ISO 2185:2018 Сховища для фруктів та овочів. Технологічні умови проектування та експлуатації. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
8. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : Підручник. – Львів : Афіша, 2016. – 350 с.
9. Розрахунок штучного освітлення виробничих приміщень: Методичні вказівки до виконання випускних робіт бакалаврів. – Миколаїв : НУК, 2019.

					<i>КРБ.142.4257.05.05.ПЗ.00</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		