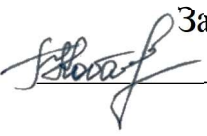


Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

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 зберігання овочів загальною площею 290 м²»

Виконав: студент IV курсу, групи 4257
спеціальності

142 «Енергетичне машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

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

Роман СТЕПАНОВ
(прізвище та ініціали)

Керівник Вікторія КОРНІЄНКО
(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 **Степанова Романа Олександровича, група 4257**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Розробка проєкту холодильної установки для двокамерного холодильника зберігання овочів загальною площею 290 м²»**

керівник роботи **Корнієнко Вікторія Сергіївна, 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	Примітка
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

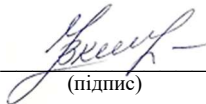
Здобувач


(підпис)

Роман СТЕПАНОВ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Вікторія КОРНІЄНКО

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Степанов Роман Олександрович, група 4257.

«Розробка проєкту холодильної установки для двокамерного холодильника зберігання овочів загальною площею 290 м²».

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації 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 290 м².

У роботі розглянуто актуальні підходи до організації холодильного зберігання овочевої продукції, із визначенням раціональних температурних і вологісних умов, необхідних для збереження їх якості. Проведено розрахунок теплових навантажень охолоджуваних приміщень та обґрунтовано вибір ефективної теплоізоляції.

На основі розрахункових даних спроектовано холодильну установку, що працює на холодоагенті R404A, визначено параметри її робочого циклу та здійснено добір основного і допоміжного обладнання. Виконано інженерний розрахунок повітроохолоджувача відповідно до необхідної холодильної потужності.

Завершальним етапом роботи стало розроблення схеми автоматичного керування холодильним обладнанням та опрацювання комплексу технічних і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації холодильної системи.

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

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.00	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Stepanov Roman Oleksandrovysh, group 4257.

«Development of a Refrigeration Plant Project for a Two-Chamber Refrigerator for Storing Vegetables with an Area of 290 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 design for a two-chamber refrigerator for storing vegetables with an area of 290 m².

The work considers current approaches to organizing refrigerated storage of vegetable products, with the determination of rational temperature and humidity conditions necessary to preserve their quality. The calculation of thermal loads of cooled premises is carried out and the choice of effective thermal insulation is justified.

Based on the calculated data, a refrigeration unit operating on the refrigerant R404A is designed, the parameters of its operating cycle are determined and the selection of main and auxiliary equipment is carried out. An engineering calculation of the air cooler is performed in accordance with the required refrigeration capacity.

The final stage of the work was the development of an automatic control scheme for refrigeration equipment and the development of a set of technical and organizational measures aimed at ensuring safe working conditions during the operation of the refrigeration system.

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

					<i>КРБ.142.4257.06.05.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	12
1.3. Способи охолодження овочесховищ	14
1.4. Температурно-вологісні режими зберігання капусти та буряка	21
1.5. Висновки за розділом 1	23
РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВІ РОЗРАХУНКИ КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ	26
2.1. Вибір ізоляційних конструкцій огорож приміщення, що охолоджується	26
2.2. Розрахунок теплоприпливів та навантаження на холодильне обладнання	32
2.3. Вибір системи охолодження та холодильного агенту	39
2.4. Висновки за розділом 2	42
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ	44
3.1. Побудова циклу холодильної машини на p, h -діаграмі та його розрахунок	44
3.2. Підбір холодильного компресора, теплообмінних апаратів, системи автоматичного регулювання і захисту	47
3.3. Розміщення обладнання холодильної установки у приміщенні	49
3.4. Висновки за розділом 3	50
РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІННИКА	52
4.1. Основні характеристики повітроохолоджувачів	52
4.2. Розрахунок та підбір повітроохолоджувача	52
4.3. Висновки по розділу 4	56
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	59
5.1. Аналіз небезпек в машинному відділенні	59
5.2. Висновки за розділом 5	61

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.00	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ	62
ЛІТЕРАТУРА	63

					КРБ.142.4257.06.05.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-i діаграма – діаграма тиску та ентальпії;

R404A – холодинний 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.142.4257.06.05.ПЗ.00	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми кваліфікаційної роботи визначається необхідністю підвищення ефективності зберігання овочевої продукції та скорочення втрат, які виникають після збирання врожаю. Збереження природних властивостей овочів протягом тривалого часу можливе лише за умови створення оптимального температурно-вологісного середовища, що забезпечується сучасними холодильними установками. Використання холодильного зберігання дозволяє сповільнити фізіологічні процеси в продукції, знизити втрати маси та підтримати її товарні якості до моменту реалізації.

Розвиток технологій холодильного зберігання тісно пов'язаний із необхідністю зменшення енергетичних витрат і підвищення надійності обладнання. При проектуванні сучасних овочесховищ важливе значення мають правильний вибір холодильного агенту, раціональне компонування основного та допоміжного обладнання, ефективна теплоізоляція камер і застосування автоматизованих систем керування технологічними процесами. Комплексне врахування цих факторів сприяє стабільній роботі холодильної установки та створенню необхідних умов для тривалого зберігання продукції.

У сучасних умовах підвищення вартості енергетичних ресурсів та зростання вимог до якості харчової продукції особливого значення набуває впровадження енергоощадних технічних рішень у холодильному господарстві. Застосування сучасного обладнання дозволяє підвищити ефективність роботи холодильних систем, забезпечити надійну експлуатацію та знизити витрати на обслуговування й експлуатацію овочесховищ.

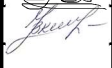
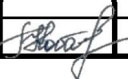
Метою кваліфікаційної роботи є розроблення холодильної установки для двокамерного овочесховища загальною площею 290 м², призначеного для зберігання овочевої продукції, шляхом виконання теплотехнічних, термодинамічних і конструктивних розрахунків, підбору холодильного обладнання та розроблення технічних рішень, які забезпечують ефективну, економічну та безпечну експлуатацію системи.

					<i>КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.00</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для досягнення поставленої мети в роботі виконано аналіз умов холодильного зберігання овочевої продукції, проведено розрахунок теплоізоляції та теплоприпливів, визначено параметри холодильного циклу, здійснено підбір основного та допоміжного обладнання, виконано конструктивний розрахунок повітроохолоджувача, розроблено принципову схему холодильної установки та розглянуто питання автоматизації й охорони праці.

Структура кваліфікаційної роботи включає вступ, п'ять розділів, загальні висновки та список використаних джерел. У роботі послідовно розглянуто питання вибору технології холодильного зберігання, виконання основних інженерних розрахунків, підбору обладнання та забезпечення безпечної експлуатації холодильної установки.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.00	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Степанов Р.О.						
Керівник		Корнієнко В.С.						
Консульт.								
Зав.каф.		Кобалава Г.О.				ХННІ НУК		11

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ, КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ

1.1. Значення холодильного зберігання овочевої продукції

Виробництво овочевої продукції займає важливе місце в аграрному секторі економіки, оскільки забезпечує населення продуктами харчування, які є джерелом вітамінів, мінеральних речовин та інших біологічно цінних компонентів. Однак отримання високого врожаю саме по собі не гарантує ефективності виробництва. Не менш важливим завданням є збереження якості продукції після її збирання та доставка до споживача з мінімальними втратами.

Овочі належать до продукції, яка навіть після відокремлення від рослини продовжує залишатися біологічно активною. У тканинах відбуваються процеси дихання, випаровування вологи та природні біохімічні зміни, що поступово призводять до зменшення маси та погіршення споживчих властивостей. Інтенсивність цих процесів залежить від особливостей конкретної культури та умов, у яких вона перебуває після збирання врожаю.

Значний вплив на збереження овочевої продукції мають температура навколишнього середовища та вологість повітря. Підвищення температури прискорює обмінні процеси та створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, тоді як недостатня вологість сприяє втраті води й в'яненню продукції. За несприятливих умов зберігання овочі швидко втрачають товарний вигляд, харчову цінність і придатність до тривалого використання.

Ефективним способом зменшення післязбиральних втрат є застосування холодильного зберігання. Зниження температури дозволяє уповільнити фізіологічні процеси в рослинних тканинах, зменшити інтенсивність випаровування вологи та стримати розвиток небажаної мікрофлори. Завдяки цьому продукція довше зберігає свої природні властивості, а втрати під час тривалого зберігання суттєво скорочуються.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

Використання холодильних сховищ має важливе економічне значення. Більшість овочевих культур збирають у відносно короткий проміжок часу, тоді як їх споживання триває протягом року. За відсутності належних умов зберігання виробники змушені реалізовувати значні обсяги продукції одразу після збирання врожаю, що негативно впливає на економічні показники виробництва. Застосування холодильних технологій дозволяє накопичувати запаси продукції та рівномірно постачати її на ринок відповідно до попиту.

Сучасні овочесховища є складними технічними комплексами, у яких необхідні умови забезпечуються спільною роботою теплоізоляційних конструкцій, холодильного обладнання та систем циркуляції повітря. Одним із основних завдань таких систем є підтримання рівномірного температурного поля в усьому об'ємі камер та створення оптимального рівня відносної вологості повітря. Це дозволяє уникнути локальних зон перегріву або переохолодження продукції та забезпечує однакові умови її зберігання.

Важливу роль у роботі овочесховищ відіграє організація повітрообміну. Рух повітря сприяє відведенню теплоти, яка виділяється продукцією в процесі дихання, а також забезпечує рівномірний розподіл температури та вологості в камері. Правильно організована циркуляція підвищує ефективність роботи холодильного обладнання та сприяє збереженню якості овочів протягом усього періоду зберігання.

Розвиток холодильних технологій пов'язаний із необхідністю підвищення енергоефективності холодильних установок. Сучасні системи проєктуються таким чином, щоб забезпечувати необхідні умови зберігання при мінімальних витратах енергії. Для цього застосовуються високоефективні компресори, удосконалені теплообмінні апарати, сучасні теплоізоляційні матеріали та автоматичні системи регулювання роботи обладнання.

Автоматизація технологічних процесів дозволяє підтримувати необхідні параметри мікроклімату без постійного втручання обслуговуючого персоналу. Контроль температури, вологості та режимів роботи холодильного обладнання

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		13

сприяє підвищенню надійності системи та забезпечує економне використання електроенергії.

При проектуванні холодильних установок важливо враховувати також екологічні аспекти їх роботи. Зниження енергоспоживання, застосування сучасних холодильних агентів та впровадження ефективних систем керування дозволяють зменшити негативний вплив холодильного господарства на навколишнє середовище та підвищити економічну ефективність експлуатації овочесховищ.

Особливого підходу потребує зберігання різних видів овочевої продукції, оскільки кожна культура має власні фізіологічні особливості та вимоги до умов навколишнього середовища. Для капусти та столового буряка необхідно підтримувати оптимальні параметри температури й відносної вологості повітря, що дозволяє зменшити природні втрати маси та забезпечити тривале збереження їх товарних і харчових властивостей. Саме тому розроблення ефективних холодильних систем для овочесховищ залишається актуальним інженерним завданням і має важливе практичне значення для агропромислового комплексу.

1.2. Фізіологічні особливості овочів при зберіганні

Овочева продукція належить до біологічних об'єктів, життєві процеси в яких не припиняються після збирання врожаю. Відокремлення від рослини лише припиняє надходження води та поживних речовин із зовнішнього середовища, однак клітини овочів ще тривалий час залишаються активними. У тканинах продовжується обмін речовин, відбуваються біохімічні перетворення, підтримується клітинне дихання та здійснюється використання накопичених запасів органічних сполук. Саме ці процеси визначають здатність продукції до тривалого зберігання та значною мірою впливають на її товарну якість.

Тривалість зберігання овочів залежить від комплексу факторів, серед яких особливе значення мають біологічні властивості культури, ступінь її зрілості, умови вирощування, спосіб збирання та параметри навколишнього середовища під час зберігання. Навіть за однакових умов різні види овочевої продукції

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

характеризуються неоднаковою інтенсивністю фізіологічних процесів, що необхідно враховувати при проектуванні холодильних камер і виборі технологічних режимів.

Одним із основних процесів, що відбувається в овочах після збирання, є дихання. Його сутність полягає в окисненні органічних речовин киснем повітря з утворенням вуглекислого газу, води та теплової енергії. Для забезпечення цього процесу використовуються запаси вуглеводів, органічних кислот та інших поживних речовин, накопичених у період росту рослини. У результаті поступово зменшується маса продукції, змінюється її хімічний склад та погіршуються споживчі характеристики.

Інтенсивність дихання безпосередньо залежить від температури навколишнього середовища. При її підвищенні швидкість біохімічних реакцій збільшується, що прискорює старіння продукції. Зниження температури, навпаки, дозволяє суттєво сповільнити обмінні процеси та скоротити витрати поживних речовин. Саме ця особливість лежить в основі застосування холодильного зберігання овочів. Однак надмірне зниження температури може викликати фізіологічні порушення окремих культур, тому режими охолодження повинні відповідати їх природним властивостям.

Важливим фізіологічним явищем є транспірація, тобто випаровування вологи з поверхні овочів. Оскільки більшість овочевої продукції містить значну кількість води, навіть незначні її втрати призводять до помітного зменшення маси. Одночасно погіршується зовнішній вигляд продукції, знижується пружність тканин та зменшується її товарна цінність. Інтенсивність випаровування визначається температурою, відносною вологістю та швидкістю руху повітря, а також особливостями будови поверхневих тканин конкретного виду овочів.

Для зменшення втрат маси у сховищах підтримують підвищену відносну вологість повітря. Проте надмірне зволоження також є небажаним, оскільки сприяє утворенню конденсату та створює умови для розвитку мікроорганізмів.

					<i>КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Тому ефективне холодильне зберігання передбачає одночасне регулювання як температури, так і вологості повітря.

Після збирання врожаю в овочах продовжуються природні процеси дозрівання та старіння. Вони супроводжуються складними біохімічними перетвореннями, зміною структури клітинних тканин, перерозподілом поживних речовин і поступовим погіршенням фізико-хімічних властивостей продукції. Залежно від виду овочів ці зміни можуть проявлятися у втраті щільності тканин, зміні забарвлення, зниженні вмісту цукрів та вітамінів, а також погіршенні смакових характеристик. Застосування низьких температур дозволяє суттєво сповільнити ці процеси.

Для окремих овочевих культур характерним є проростання, яке також відноситься до важливих фізіологічних процесів. У період спокою овочі зберігають накопичені поживні речовини, однак зі створенням сприятливих умов можуть утворюватися нові пагони або корінці. На їх розвиток витрачаються внутрішні запаси органічних сполук, що призводить до втрати маси та погіршення якості продукції. Оптимальний температурний режим і контроль вологості дозволяють значною мірою стримувати цей процес.

Не менш важливим фактором є тепло, яке виділяється овочами внаслідок дихання. Навіть після охолодження продукція залишається джерелом внутрішніх теплоприпливів, що необхідно враховувати під час розрахунку холодильного навантаження. Чим більша маса продукції та інтенсивність її дихання, тим більшу кількість теплоти необхідно відводити холодильною системою для підтримання заданого температурного режиму.

На збереженість овочів значний вплив мають різноманітні мікроорганізми. Бактерії, плісняві гриби та інші патогени можуть розвиватися на поверхні продукції або проникати через механічні пошкодження тканин. За сприятливих умов вони швидко поширюються, викликаючи гниття та псування овочів. Найбільш інтенсивно мікробіологічні процеси відбуваються при підвищеній температурі та надлишковій вологості. Зменшити ризик розвитку захворювань

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		16

дозволяють своєчасне охолодження продукції, дотримання санітарних вимог та підтримання оптимального мікроклімату в камерах.

Важливе значення має механічна цілісність овочів. Пошкодження, отримані під час збирання, транспортування або завантаження, прискорюють втрату вологи та створюють сприятливі умови для проникнення мікроорганізмів. Тому перед закладанням на зберігання продукцію сортують, видаляючи екземпляри з ознаками механічних пошкоджень або захворювань.

Особливості фізіології окремих культур визначають специфічні вимоги до умов їх зберігання. Білоголова капуста характеризується відносно невисокою інтенсивністю дихання та добре переносить тривале зберігання при температурах, близьких до 0 °С. Столовий буряк також має добру лежкість, однак для запобігання втратам маси потребує підтримання високої відносної вологості повітря. Для обох культур важливим є запобігання механічним пошкодженням та забезпечення рівномірного охолодження всієї маси продукції.

На фізіологічний стан овочів істотно впливає організація циркуляції повітря в холодильній камері. Переміщення повітряних потоків забезпечує вирівнювання температури та вологості в усьому об'ємі сховища, сприяє відведенню теплоти, що виділяється продукцією, і запобігає утворенню локальних зон із несприятливими умовами зберігання. При недостатній циркуляції окремі ділянки камери можуть перегріватися, що негативно позначається на збереженні продукції.

Важливим чинником є якість овочів, які надходять на зберігання. Найкращою лежкістю характеризується продукція, зібрана у фазі оптимальної стиглості, без механічних пошкоджень і ознак захворювань. Попереднє сортування та видалення нестандартних овочів дозволяє підвищити ефективність зберігання та знизити ризик поширення гнильних процесів.

Таким чином, фізіологічні процеси, що відбуваються в овочевій продукції після збирання, безпосередньо визначають тривалість її зберігання та величину природних втрат. Раціональний вибір температурно-вологісних режимів, забезпечення необхідної циркуляції повітря та використання сучасних

					<i>КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

холодильних технологій дозволяють максимально уповільнити природні процеси старіння й забезпечити збереження товарних і харчових властивостей овочів протягом тривалого часу.

1.3. Способи охолодження овочесховищ

Збереження якості овочевої продукції протягом тривалого часу значною мірою залежить від здатності сховища підтримувати необхідні параметри мікроклімату. Після закладання продукції на зберігання в ній продовжуються фізіологічні процеси, які супроводжуються виділенням теплоти та вологи. Крім того, на температурний стан сховища впливають зовнішні кліматичні умови, сонячна радіація, робота технологічного обладнання та періодичне відкривання дверей. Для компенсації теплоприпливів і створення оптимального середовища застосовують різні способи охолодження овочесховищ, вибір яких залежить від виду продукції, місткості сховища та економічної доцільності.

За принципом створення необхідного температурного режиму способи охолодження можна умовно поділити на природні та штучні. Природне охолодження базується на використанні низьких температур зовнішнього повітря, тоді як штучне здійснюється за допомогою холодильних установок. У сучасних овочесховищах часто застосовується поєднання цих способів, що дозволяє підвищити ефективність роботи системи та зменшити витрати енергії.

Природне охолодження є найпростішим способом підтримання температурного режиму. Його принцип полягає у використанні холодного зовнішнього повітря для зниження температури продукції та внутрішнього простору сховища. Такий метод широко застосовується в регіонах із тривалим холодним періодом року. Надходження повітря до приміщення здійснюється через вентиляційні канали або спеціальні отвори, а відведення нагрітого повітря відбувається природною або примусовою вентиляцією.

Основною перевагою природного охолодження є відносно невеликі експлуатаційні витрати, оскільки відсутня необхідність у роботі холодильного обладнання. Водночас цей спосіб значною мірою залежить від погодних умов і

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

не забезпечує точного підтримання температури та вологості повітря. У теплі періоди року його ефективність різко знижується, що обмежує можливість тривалого зберігання овочевої продукції.

Для забезпечення стабільних умов зберігання використовують штучне охолодження, яке здійснюється за допомогою холодильних машин. У таких системах надлишкове тепло відводиться від повітря та продукції за рахунок випаровування холодоагенту в теплообмінному обладнанні. Цей спосіб дозволяє підтримувати задану температуру незалежно від зовнішніх кліматичних умов і створює необхідний мікроклімат для різних видів овочевої продукції.

Одним із найбільш поширених способів є повітряне охолодження. Його принцип полягає у циркуляції повітря через повітроохолоджувач, де воно охолоджується, після чого подається до камери зберігання. Під час руху повітря відбирає тепло від продукції та конструкцій приміщення, а потім знову надходить до теплообмінника для повторного охолодження. Така система забезпечує рівномірний розподіл температури по всьому об'єму камери та створює сприятливі умови для тривалого зберігання овочів.

Ефективність повітряного охолодження залежить від правильного вибору швидкості руху повітря. Надто слабка циркуляція призводить до нерівномірного розподілу температури та утворення локальних зон із підвищеним тепловим навантаженням. Надмірна швидкість повітряних потоків може сприяти інтенсивному випаровуванню вологи з поверхні продукції та збільшенню природних втрат маси. Тому під час проєктування холодильних камер необхідно забезпечувати оптимальні параметри повітрообміну.

У холодильній техніці застосовують системи безпосереднього та непрямого охолодження. У системах безпосереднього охолодження холодоагент випаровується безпосередньо в повітроохолоджувачі, який встановлений у камері зберігання. Під час цього процесу відбувається відведення тепла від повітря та підтримання необхідної температури. Такі системи відзначаються простотою конструкції, компактністю та високою ефективністю теплопередачі.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		19

У системах непрямого охолодження між холодильним обладнанням і камерою зберігання використовується проміжний теплоносій. Найчастіше для цього застосовують водні розчини солей або спеціальні незамерзаючі рідини. Охолоджений теплоносій циркулює трубопроводами та передає холод повітроохолоджувачам, розташованим у холодильних камерах. Основною перевагою такого способу є підвищення безпеки експлуатації та можливість централізованого обслуговування кількох камер одночасно. Недоліком є додаткові витрати енергії на циркуляцію проміжного теплоносія та складніша конструкція системи.

Для сучасних овочесховищ характерним є використання повітроохолоджувачів із примусовою циркуляцією повітря. До їх складу входять теплообмінна поверхня та вентилятори, які забезпечують необхідний рух повітряних потоків. Таке обладнання дозволяє швидко відводити тепло від продукції та підтримувати рівномірний температурний режим у камері. Крім того, сучасні повітроохолоджувачі оснащуються системами автоматичного відтаювання, що забезпечує стабільність їх роботи та зменшує втрати холодопродуктивності.

Важливим елементом системи охолодження є теплоізоляція огорожувальних конструкцій овочесховища. Через стіни, покриття та підлогу відбувається надходження тепла із зовнішнього середовища, що збільшує навантаження на холодильне обладнання. Використання сучасних теплоізоляційних матеріалів дозволяє суттєво знизити теплоприпливи та скоротити витрати електроенергії на підтримання необхідного температурного режиму.

Ефективність роботи холодильних установок значною мірою залежить від автоматизації процесів керування. Сучасні системи обладнуються датчиками температури та вологості, електронними регуляторами й засобами контролю роботи основного обладнання. Автоматичне керування забезпечує підтримання заданих параметрів мікроклімату, оптимізує режими роботи компресорів і

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		20

вентиляторів, а також дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормальних умов експлуатації.

Під час вибору способу охолодження необхідно враховувати особливості продукції, що буде зберігатися. Для капусти та столового буряка важливими є стабільність температурного режиму, підтримання високої відносної вологості повітря та забезпечення рівномірної циркуляції повітряних потоків. З огляду на ці вимоги найбільш доцільним рішенням є застосування систем штучного повітряного охолодження з використанням сучасних холодильних установок, які забезпечують необхідні умови незалежно від пори року та зовнішніх кліматичних факторів.

1.4. Температурно-вологісні режими зберігання капусти та буряка

Капуста білоголова характеризується відносно високою лежкістю за умови дотримання оптимальних параметрів мікроклімату. Після збирання в ній продовжуються процеси дихання, хоча їх інтенсивність є нижчою порівняно з більшістю інших овочів. Основною умовою тривалого зберігання капусти є підтримання низької температури, близької до точки замерзання, але без допущення підморожування тканин. За підвищених температур значно активізуються процеси дихання та розвиток мікрофлори, що призводить до швидкого погіршення якості продукції.

Важливим фактором є також відносна вологість повітря. Для капусти необхідно підтримувати підвищену вологість, оскільки її листки містять значну кількість води і швидко втрачають тургор при висиханні. Зниження вологості призводить до в'янення зовнішніх листків, втрати товарного вигляду та зменшення маси качанів. Водночас надмірна вологість у поєднанні з поганою вентиляцією може сприяти розвитку гнильних процесів, особливо в місцях механічних пошкоджень.

Оптимальні умови зберігання капусти передбачають підтримання температури в межах, близьких до 0 °С, та відносної вологості повітря на високому рівні. При цьому важливу роль відіграє стабільність параметрів,

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

оскільки різкі коливання температури можуть викликати утворення конденсату на поверхні продукції, що створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів.

Столовий буряк має дещо інші вимоги до умов зберігання. Його коренеплоди характеризуються більшою щільністю тканин і відносно низькою інтенсивністю випаровування вологи. Завдяки цьому буряк здатний зберігати свої якісні показники протягом тривалого часу за умов правильного мікроклімату. Основним завданням під час його зберігання є запобігання в'яненню та розвитку мікробіологічних уражень.

Температурний режим для буряка також має бути низьким і стабільним. Підвищення температури призводить до активізації дихання та втрати маси, а також може стимулювати проростання, що негативно впливає на споживчі властивості продукції. Занадто низькі температури, особливо при тривалому впливі, можуть викликати підморожування тканин і втрату структури коренеплодів, що робить їх непридатними для реалізації.

Відносна вологість повітря при зберіганні буряка повинна бути достатньо високою, проте дещо нижчою, ніж для капусти. Це пов'язано з тим, що коренеплоди менш чутливі до втрати вологи, але при надмірній вологості зростає ризик розвитку грибкових захворювань та загнивання. Тому важливо забезпечити баланс між збереженням маси продукції та запобіганням мікробіологічному псуванню.

Однією з ключових умов якісного зберігання як капусти, так і буряка є ефективна вентиляція холодильних камер. Рівномірний рух повітря забезпечує стабільний розподіл температури та вологості по всьому об'єму сховища, а також сприяє відведенню тепла, що виділяється продукцією в процесі дихання. Недостатня циркуляція повітря може призводити до утворення локальних зон із підвищеною вологістю та температурою, що негативно впливає на збереженість овочів.

Особливу увагу слід приділяти початковій якості продукції, яка закладається на зберігання. Для обох культур важливим є відсутність механічних

					<i>КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

пошкоджень, ознак захворювань та надмірної вологості поверхні. Пошкоджені екземпляри є джерелом інфекції та можуть швидко поширювати гнильні процеси на іншу продукцію. Тому перед закладанням у сховище обов'язковим є сортування та відбракування непридатних овочів.

Тривалість зберігання капусти та буряка значною мірою залежить від стабільності температурно-вологісних режимів. Навіть незначні відхилення від оптимальних параметрів можуть призвести до прискорення фізіологічних процесів та втрат якості. У зв'язку з цим сучасні овочесховища обладнуються автоматизованими системами контролю мікроклімату, які дозволяють підтримувати задані параметри з високою точністю.

1.5. Висновки за розділом 1.

У першому розділі розглянуто теоретичні основи холодильного зберігання овочевої продукції, проаналізовано її фізіологічні особливості, основні способи охолодження овочесховищ, а також встановлено оптимальні температурно-вологісні режими для зберігання капусти та столового буряка.

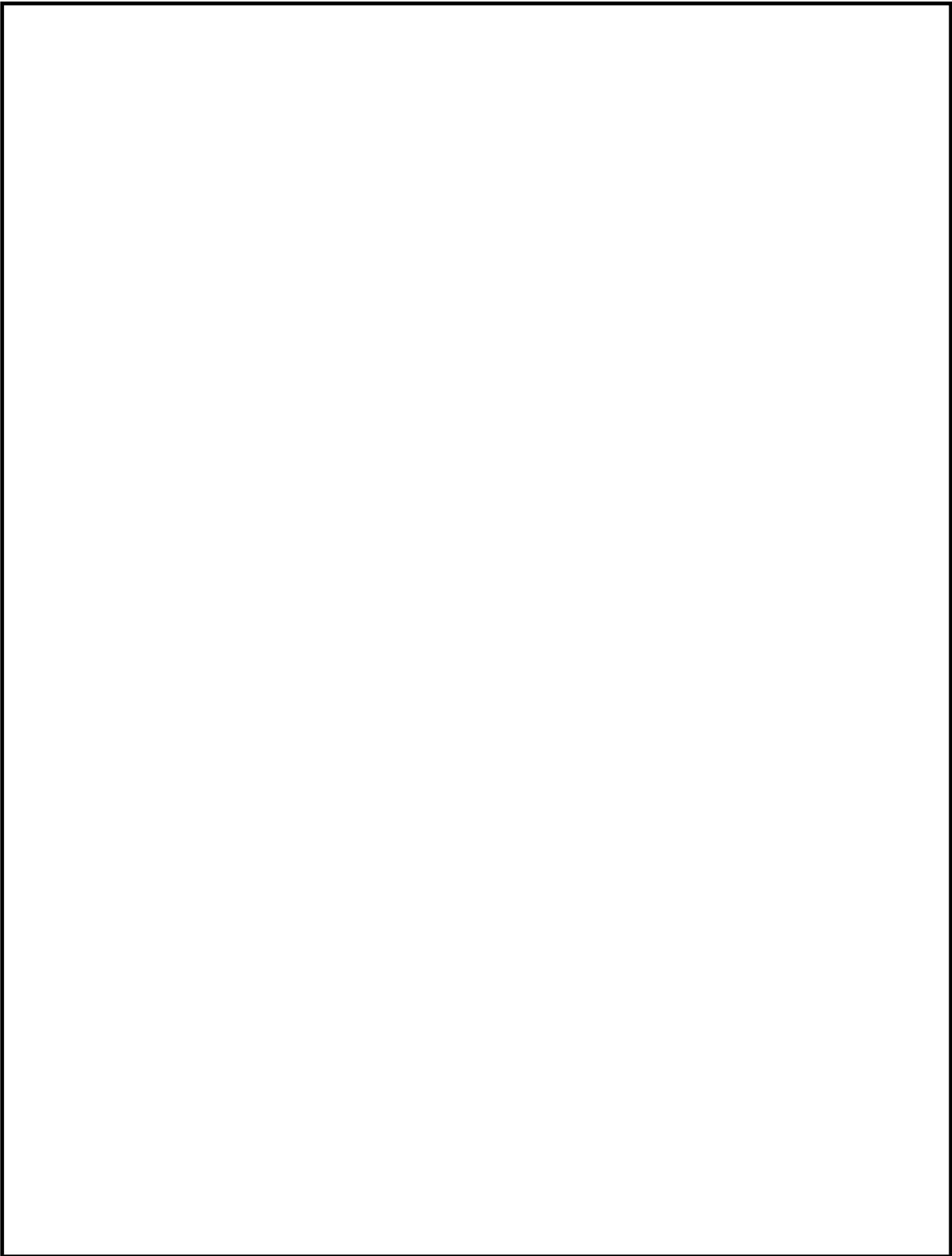
Доведено, що основним ефективним способом подовження терміну зберігання овочів є застосування холодильних технологій, які дозволяють знизити інтенсивність фізіологічних процесів, обмежити розвиток мікроорганізмів та забезпечити стабільність якісних показників продукції. Важливу роль при цьому відіграє підтримання раціональних температурно-вологісних параметрів і організація рівномірної циркуляції повітря в об'ємі холодильних камер.

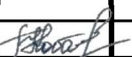
Проаналізовано способи охолодження овочесховищ, серед яких визначено, що найбільш ефективними для сучасних умов є штучні системи повітряного охолодження з використанням холодильних установок. Вони забезпечують незалежність від зовнішніх кліматичних умов, стабільність температурного режиму та можливість точного регулювання параметрів мікроклімату.

					<i>КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		23

Встановлено, що для капусти та столового буряка необхідно підтримувати різні, але близькі за принципами умови зберігання. Капуста потребує високої відносної вологості та стабільної температури, близької до нуля, тоді як буряк більш чутливий до мікробіологічних уражень і потребує чіткого контролю вологості та вентиляції. У обох випадках критично важливим є недопущення різких коливань температури та забезпечення рівномірного повітрообміну.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		24



					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Студент		Акулов О.С.			Розділ 2		Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Корнієнко В.С.							
							ХННІ НУК 25		
Консульт.									
Зав.каф.		Кобалава Г.О.							

РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВІ РОЗРАХУНКИ КОМПЛЕКСУ РЕФРИЖЕРАЦІЇ.

2.1. Вибір ізоляційних конструкцій огорож приміщення, що охолоджується

2.1.1 Розрахунок площі та теплоізоляційних конструкцій холодильника

Одним із головних етапів проектування холодильного комплексу є визначення геометричних параметрів камер зберігання та вибір конструкцій огорожень, які забезпечують необхідний рівень теплоізоляції. Раціонально підібрані розміри приміщень і теплоізоляційних конструкцій дозволяють знизити теплоприпливи із зовнішнього середовища та забезпечити економічну роботу холодильної установки.

Вихідними даними для розрахунку є місткість холодильника та характеристики продукції, що закладається на зберігання. Для кожного виду овочів визначають необхідний вантажний об'єм камери залежно від прийнятої норми завантаження.

Вантажний об'єм камери визначається за формулою

$$V_{\text{гр}} = \frac{G}{q_v} [\text{м}^3]$$

Для камер зберігання буряка

$$V_{\text{гр}} = \frac{125}{0,46} = 272 \text{ м}^3$$

Для камер зберігання капусти

$$V_{\text{гр}} = \frac{120}{0,3} = 417 \text{ м}^3$$

Вантажна площа визначається за формулою

$$F_{\text{в}} = \frac{V_{\text{в}}}{h_{\text{в}}} \text{ м}^2$$

Для камер зберігання буряка

$$F_{\text{в}} = \frac{272}{3} = 90,66 \text{ м}^2$$

Для камер зберігання капусти

$$F_{\text{в}} = \frac{417}{4,14} = 100,72 \text{ м}^2$$

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		26

У даному проєкті овочева продукція розміщується на дерев'яних піддонах розмірами 1200×800×150 мм із використанням стандартних ящиків розміром 620×400×285 мм. У камерах для буряка на одному піддоні передбачено укладання десяти ярусів ящиків, тоді як для капусти прийнято чотирнадцять ярусів. Такий спосіб складування забезпечує ефективне використання внутрішнього простору камери та створює необхідні умови для циркуляції охолодженого повітря.

Будівельну площу камер визначають з урахуванням коефіцієнта використання площі приміщення

$$F_{\text{в}} = \frac{V_{\text{в}}}{h_{\text{в}}} \text{ м}^2$$

Для камер середньої місткості приймається відповідне нормативне значення цього коефіцієнта.

Для буряка

$$F_{\text{в}} = \frac{272}{3} = 90,66 \text{ м}^2$$

Для капусти

$$F_{\text{в}} = \frac{417}{4,14} = 100,72 \text{ м}^2$$

Після визначення будівельної площі встановлюють необхідну кількість будівельних прямокутників, що забезпечує раціональне компонування холодильника.

Кількість будівельних прямокутників визначається за виразом

$$F_{\text{бод}} = \frac{F_{\text{в}}}{\beta_{\text{Р}}} \quad F_{\text{бп}} = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2$$

Для буряка

$$n_{\text{бп}} = \frac{120,88}{36} = 3,35 \text{ шт}$$

Приймаємо необхідну кількість будівельних прямокутників 4 шт.

Для капусти

$$n_{\text{бп}} = \frac{134,29}{36} = 3,73 \text{ шт}$$

Приймаємо необхідну кількість будівельних прямокутників 4 шт.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		27

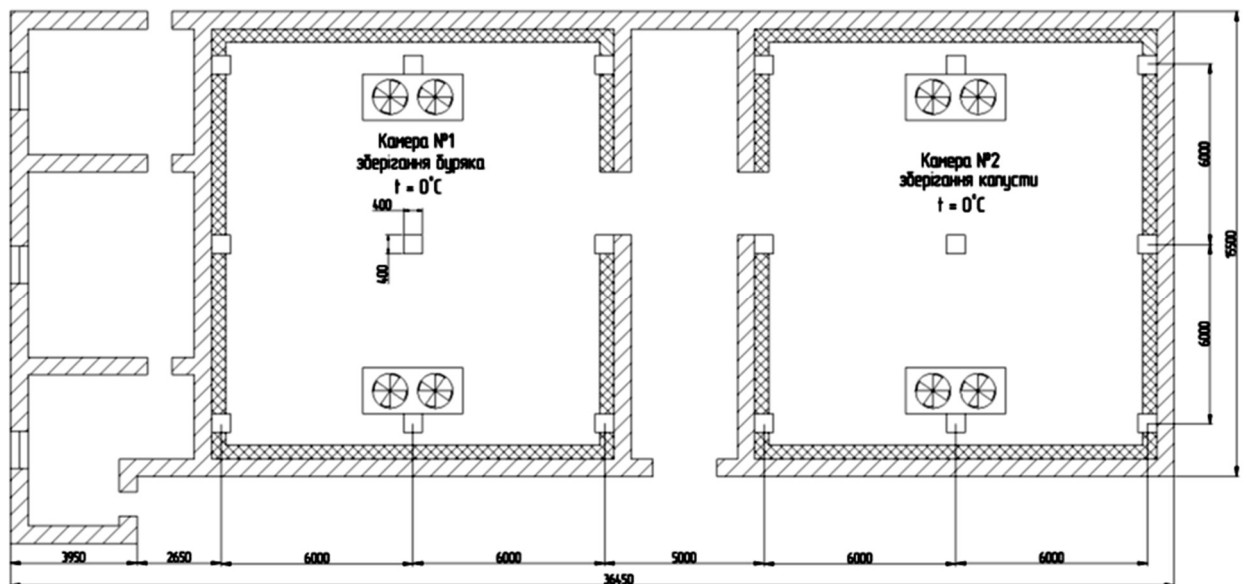


Рисунок 2.1 Розташування камер холодильника

На підставі виконаних розрахунків формується планувальне рішення холодильника, яке забезпечує зручність експлуатації, ефективне розміщення продукції та мінімізацію теплових втрат.

2.1.2 Визначення товщини теплоізоляційного матеріалу

Енергетична ефективність холодильного комплексу значною мірою визначається якістю теплоізоляції огорожувальних конструкцій. Основним її призначенням є обмеження надходження тепла із зовнішнього середовища до охолоджуваних приміщень та зменшення навантаження на холодильне обладнання.

Під час розрахунку теплоізоляції враховуються кліматичні умови району будівництва та температурні режими роботи холодильних камер.

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін визначають за відповідною

$$k_{зс} = 0,16 \cdot e^{0,022 \cdot (40 + t_k)} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$$

$$k_{зс} = 0,16 \cdot e^{0,022 \cdot (40 + 0)} = 0,39 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$$

Аналогічно визначають коефіцієнти теплопередачі покриття холодильника та внутрішніх перегородок, які відокремлюють охолоджувані приміщення від неопалюваних зон будівлі.

Після отримання розрахункових значень виконують перевірку конструкцій на відсутність конденсації вологи на теплій поверхні огороження. Така перевірка дозволяє оцінити можливість утворення конденсату та забезпечити нормальні умови експлуатації конструкцій.

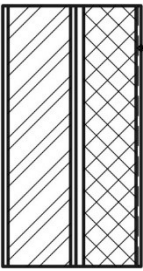
Необхідна товщина теплоізоляційного шару визначається із загального рівняння теплопередачі

$$\delta_{iz} = \left[\frac{1}{\alpha_k} - \left(\frac{1}{\alpha_z} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \cdot \lambda_{iz}$$

де враховуються коефіцієнти тепловіддачі з внутрішнього та зовнішнього боків конструкції, товщина окремих будівельних шарів і коефіцієнти їх теплопровідності.

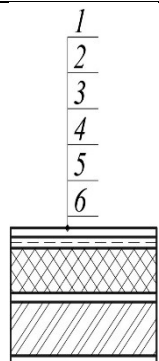
Під час практичних розрахунків необхідно враховувати наявність теплопровідних включень, які знижують ефективність теплоізоляції.

Таблиця 2.1 Зовнішні стіни холодильника

	№	Назва	δ_i , м	λ_i ; $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$
	1	Штукатурка цементна по металевій решітці	0,02	0,93
	2	Теплоізоляція з пінополіуретану		0,035
	3	Пароізоляція – фольга алюмінієва	0,004	0,3
	4	Штукатурка цементна	0,02	0,93
	5	Цегляна кладка	0,38	0,81
	6	Штукатурка цементна	0,02	0,93

$$\delta_{iz} = \left(\frac{1}{0,39} - \left[\frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,004}{0,3} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{9} \right] \right) \cdot 0,035 = 0,065 \text{ [м]}$$

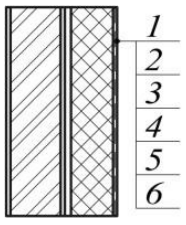
Таблиця 2.2 Зовнішні стіни холодильника

	№	Назва	δ_i , м	λ_i ; $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$
	1	Стяжка з бетону по металевій решітці	0,04	1,86
	2	Теплоізоляція з пінополіуретану «РИПОР»		0,035
	3	Пароізоляція – алюмінієва фольга	0,004	0,3
	4	Штукатурка цементна	0,02	0,93
	5	Залізобетонна плита	0,35	2,04
	6	Штукатурка цементна	0,02	0,93

$$\delta_{iz} = \left(\frac{1}{0,37} - \left[\frac{1}{23} + \frac{0,04}{1,86} + \frac{0,004}{0,3} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,35}{2,04} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{9} \right] \right) 0,035 = 0,08 \text{ [м]}$$

Приймаємо 80 мм.

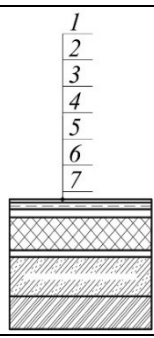
Таблиця 2.3 Зовнішні неопалювані приміщення

	№	Назва	δ_i , м	λ_i ; $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$
	1	Штукатурка цементна по металевій решітці	0,02	0,93
	2	Теплоізоляція з пінополіуретану «РИПОР»		0,035
	3	Пароізоляція – алюмінієва фольга	0,004	0,3
	4	Штукатурка цементна	0,02	0,93
	5	Цегляна кладка	0,38	0,81
	6	Штукатурка цементна	0,02	0,93

$$\delta_{iz} = \left(\frac{1}{0,46} - \left[\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,004}{0,3} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{9} \right] \right) 0,035 = 0,049 \text{ [м]}$$

Приймаємо 50 мм.

Таблиця 2.4 Підлога холодильника

	№	Назва	δ_i , м	λ_i ; $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$
	1	Бетонне покриття	0,04	1,86
	2	Бетонна стяжка	0,08	1,86
	3	Пароізоляція – гідроізол	0,002	0,3
	4	Теплоізоляція – гравій керамзитовий		0,17
	5	Бетон	0,025	0,98
	6	Пісок	0,5	0,58
	7	Земля		

Таблиця 2.6

	t_k , °C	α_z , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	α_k , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	R_z , $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	R_k , $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	$\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	Товщина теплоізолюю- чого шару, мм		Коефіцієнт теплопередачі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	
							δ_{iz}^{TP}	δ_{iz}^D	k^*	k_d^*
Зовнішні стіни холодильника	0	23	9	0,043	0,11	0,55	65	70	0,39	0,37
Зовнішні неопалювані приміщення	0	8	9	0,13	0,11	0,55	49	50	0,46	0,46
Покриття холодильника	0	23	9	0,043	0,11	0,25	80	80	0,37	0,37
Підлога холодильника	0	-	9	-	0,11		80	80	0,39	0,39

2.1.3 Визначення товщини пароізоляційного шару

Надійність роботи теплоізоляційних конструкцій холодильних камер залежить не тільки від їх теплозахисних властивостей, а й від захисту теплоізоляційного матеріалу від проникнення водяної пари. При експлуатації холодильних камер через різницю температур і парціальних тисків вологи відбувається переміщення водяної пари від теплового середовища до холодного. У разі накопичення вологи в теплоізоляційному шарі погіршуються його теплофізичні характеристики, збільшуються теплоприпливи та скорочується термін служби огорожувальних конструкцій.

Для запобігання таким явищам у конструкції огороження передбачають пароізоляційний шар, який розташовують із теплового боку теплоізоляції. Його основним призначенням є обмеження проникнення водяної пари до теплоізоляційного матеріалу та забезпечення стабільності його експлуатаційних характеристик.

Ефективність пароізоляції визначається не тільки місцем її розташування, але й товщиною матеріалу. Вона повинна забезпечувати необхідний опір дифузії водяної пари через огорожувальну конструкцію протягом усього періоду експлуатації холодильника.

Товщину пароізоляційного шару визначають за залежністю

$$\delta_{\text{п}} = \delta_{\text{із}} \cdot \frac{\mu_{\text{п}}}{\mu_{\text{із}}} \cdot \left(\frac{\frac{m}{n} \cdot e^{b \cdot t_{\text{зі}} - c \cdot t_{\text{ві}}} - 1}{c \cdot (t_{\text{зі}} - t_{\text{ві}})} - 1 \right)$$

Для визначення необхідної товщини пароізоляції попередньо знаходять температури зовнішньої та внутрішньої поверхонь теплоізоляційного шару. Їх розрахунок здійснюється на основі закономірностей стаціонарної теплопередачі з урахуванням характеристик окремих шарів конструкції.

Температуру зовнішньої поверхні визначають за виразом

$$t_{\text{зі}} = t_{\text{к}} + k \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{к}}) \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{\text{к}}} + \frac{\delta_{\text{вн}}}{\lambda_{\text{вн}}} + \frac{\delta_{\text{із}}}{\lambda_{\text{із}}} \right)$$
$$t_{\text{зі}} = 0 + 0,37 \cdot (32 - 0) \cdot \left(\frac{1}{9} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,07}{0,035} \right) = 25,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температуру внутрішньої поверхні

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		31

$$t_{\text{вi}} = t_{\text{к}} + k \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{к}}) \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{\text{к}}} + \frac{\delta_{\text{вн}}}{\lambda_{\text{вн}}} \right)$$

$$t_{\text{вi}} = 0 + 0,37 \cdot (32 - 0) \cdot \left(\frac{1}{9} + \frac{0,02}{0,93} \right) = 1,57 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Для зовнішніх стін холодильника розрахунок виконується при температурі повітря в камері 0 °С та розрахунковій температурі зовнішнього середовища 18 °С. Як пароізоляційний матеріал приймається алюмінієва фольга, для якої відомий коефіцієнт паропроникності $\mu_{\text{п}} = 0,0015 \cdot 10^{-12}, \left[\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{Па}} \right]$. Після виконання розрахунків отримують необхідну товщину шару та приймають найближче стандартне значення 0,1 мм.

Аналогічно виконують розрахунок для огорожень, що межують із неопалюваними приміщеннями. У цьому випадку враховуються відповідні температурні умови та характеристики матеріалів конструкції.

Для покриття холодильника методика розрахунку залишається аналогічною. Отримане значення товщини пароізоляції округлюють до найближчого стандартного розміру, що забезпечує надійний захист теплоізоляційного шару від зволоження.

Виконаний розрахунок дозволяє забезпечити довговічність теплоізоляційної конструкції, зменшити теплоприпливи та підвищити енергоефективність холодильного комплексу.

2.2 Розрахунок теплоприпливів та навантаження на холодильне обладнання

Одним із головних етапів проєктування холодильної установки є визначення теплового навантаження, яке повинно компенсувати холодильне обладнання. Від правильності цього розрахунку залежить вибір компресорів, повітроохолоджувачів, теплообмінного обладнання та інших елементів системи.

Теплове навантаження на холодильну установку формується під впливом різних зовнішніх і внутрішніх факторів. До них належать

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		32

теплоприпливи через огорожувальні конструкції, теплота, що надходить із продукцією, повітрообмін із зовнішнім середовищем, експлуатаційні тепловиділення та теплота, яка виділяється продукцією в процесі життєдіяльності.

Під час проектування холодильних систем розрахунок виконують для найбільш несприятливих умов експлуатації, які можуть виникнути в літній період роботи установки. Такий підхід забезпечує надійну роботу холодильного обладнання навіть при максимальних теплових навантаженнях.

До складу загального теплового навантаження входять:

- теплоприпливи через огорожувальні конструкції;
- тепловиділення від продукції під час її охолодження та зберігання;
- теплоприпливи, пов'язані з вентиляцією камер;
- експлуатаційні тепловиділення від освітлення, обладнання та обслуговуючого персоналу;
- теплота, що виділяється продукцією внаслідок фізіологічних процесів.

Загальне теплове навантаження визначають як суму окремих складових

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

При цьому кожна складова розраховується окремо з урахуванням особливостей технологічного процесу та умов експлуатації холодильника.

Одним із основних джерел надходження теплоти до холодильних камер є огорожувальні конструкції будівлі. Незважаючи на використання ефективних теплоізоляційних матеріалів, через стіни, покриття, підлогу та перегородки постійно відбувається передача тепла від середовища з вищою температурою до охолоджуваного приміщення. Ці теплоприпливи є складовою загального теплового навантаження холодильника та враховуються під час вибору холодильної установки.

Теплота, що проникає через огороження, залежить від конструкції будівлі, площі окремих поверхонь, різниці температур по обидва боки конструкції та теплофізичних характеристик використаних матеріалів. Крім

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

того, для зовнішніх стін і покриття додатковим джерелом теплового навантаження є сонячне випромінювання.

Загальний теплоприплив через огородження визначають як суму двох складових

$$Q_1 = Q_{1T} + Q_{1C}$$

Основна частина теплового навантаження виникає внаслідок різниці температур між внутрішнім об'ємом холодильної камери та зовнішнім середовищем. Для кожного огородження теплоприплив визначають окремо.

Розрахунок виконують за виразом

$$Q_{1T} = k \cdot F \cdot (t_n - t_k)$$

Для зовнішніх стін за температуру теплового боку приймають розрахункову температуру зовнішнього повітря. Якщо конструкція межує з неопалюваним або технологічним приміщенням, використовують температуру цього приміщення.

Окрему увагу приділяють розрахунку теплоприпливів через підлогу холодильника. У даному проєкті підлога не обладнується системою електрообігріву, оскільки температурний режим камер не створює умов для промерзання ґрунту. Для більш точного визначення теплоприпливів площу підлоги умовно поділяють на декілька концентричних зон.

Кожна зона характеризується власним умовним коефіцієнтом теплопередачі, який враховує особливості теплового потоку в ґрунті. Загальний теплоприплив через підлогу визначають як суму теплових потоків від окремих зон

$$Q_{1T} = (t_n - t_k) \cdot \sum_{i=1}^4 (k_{ум})_i \cdot F_i$$

Такий підхід забезпечує більш точне визначення теплового навантаження порівняно з використанням усереднених характеристик для всієї площі підлоги.

Додатковим джерелом теплоти для зовнішніх огорожень є сонячна радіація. Під дією сонячного випромінювання температура зовнішньої

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		34

поверхні стін і покриття підвищується, що збільшує інтенсивність теплопередачі всередину холодильної камери.

Теплоприплив від сонячного опромінення визначають за формулою

$$Q_{1c} = k \cdot F \cdot \Delta t_c$$

Величину додаткової температури визначають із урахуванням кліматичних умов району будівництва, орієнтації поверхні відносно сторін горизонту, інтенсивності сонячної радіації та теплофізичних властивостей огороження.

На коефіцієнт тепловіддачі істотно впливає швидкість руху зовнішнього повітря. Зі збільшенням швидкості вітру інтенсивність охолодження поверхні зростає, що відповідно змінює величину додаткового теплоприпливу.

Для зовнішніх стін та покриття розрахунок сонячного навантаження виконується окремо, після чого отримані результати враховуються при визначенні сумарного теплового навантаження холодильної камери.

Після надходження овочевої продукції до холодильних камер необхідно відвести від неї певну кількість теплоти для досягнення встановленої температури зберігання. Цей процес супроводжується додатковим навантаженням на холодильне обладнання, яке залежить від маси продукції, її початкової температури та тривалості охолодження.

Під час розрахунку враховується теплота, яку необхідно відвести безпосередньо від овочевої продукції, а також теплота від транспортної тари, в якій здійснюється її зберігання та переміщення.

Теплоприплив від продукції визначають за залежністю

$$Q_2 = \frac{G_R \cdot (h_1 - h_2)}{0,0864} \cdot \frac{\tau_{ц}}{\tau_p} \text{ [Вт]}$$

$$Q_2 = \frac{10 \cdot (346,5 - 271,7)}{0,0864} \cdot 1 = 8657 \text{ Вт}$$

Оскільки овочева продукція надходить до камер у стандартній тарі, додатково враховується теплота, необхідна для її охолодження.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35

Таблиця 2.7 Розрахунок теплоприпливів по камерам

№		k	F	t_n	t_k	Δt	Δt_c	Q_1
1 камера	Пд	0,37	78	32	0	32	3,5	1025
	Пн	0,37	78	32	0	32	-	924
	С	0,46	89	18	0	18	-	737
	З	0,37	89	32	0	32	-	1054
	Покриття	0,37	193	32	0	32	13,6	3256
	1-а зона	0,48	92,5	32	0	32	-	1421
	2-а зона	0,24	58,5	32	0	32	-	449
	3-а зона	0,12	26,5	32	0	32	-	102
	4-а зона	0,07	0,9	32	0	32	-	2
	Σ							8970
2 камера	Пд	0,37	78	32	0	32	3,5	1025
	Пн	0,37	78	32	0	32	-	924
	С	0,37	89	32	0	32	3,5	1169
	З	0,46	89	18	0	18	-	737
	Покриття	0,37	193	32	0	32	13,6	3256
	1-а зона	0,48	92,5	32	0	32	-	1421
	2-а зона	0,24	58,5	32	0	32	-	449
	3-а зона	0,12	26,5	32	0	32	-	102
	4-а зона	0,07	0,9	32	0	32	-	2
	Σ							9085

Теплоприплив від тари визначають за виразом

$$Q_{2T} = \frac{G_T \cdot (c_1 \cdot t_1 - c_2 \cdot h_2)}{0,0864} \cdot \frac{\tau_{\text{ш}}}{\tau_p} [\text{Вт}]$$

$$Q_{2T} = \frac{2 \cdot (2,5 \cdot 20 - 2,5 \cdot 0)}{0,0864} \cdot 1 = 1157 \text{ Вт}$$

Сумарний теплоприплив від продукції визначають додаванням теплоти, яка відводиться від овочів і транспортної тари

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$Q_2 = Q'_2 + Q_{2т}$$

$$Q_2 = 8757 + 1157 = 9914 \text{ Вт}$$

Отримане значення характеризує навантаження, яке виникає під час надходження нової партії продукції до холодильних камер і враховується при визначенні необхідної холодопродуктивності установки.

Для овочесховищ вентиляція виконує декілька важливих функцій. Вона забезпечує видалення надлишкової вологи та вуглекислого газу, які виділяються продукцією в процесі дихання, сприяє підтриманню рівномірного температурного поля та покращує умови тривалого зберігання овочів.

Теплоприплив від вентиляції визначають за залежністю

$$Q_3 = \frac{V_6 \cdot \alpha \cdot \rho_k \cdot (h_3 - h_k)}{3,6 \cdot \tau}$$

Для камер зберігання овочевої продукції вентиляцію організовують таким чином, щоб забезпечити відведення продуктів дихання овочів та підтримання стабільного мікроклімату при мінімальних теплових навантаженнях.

$$Q_3 = \frac{351 \cdot 5 \cdot 1,3 \cdot (58 - 10)}{3,6 \cdot 24} = 1268 \text{ Вт}$$

Отримане значення теплоприпливу враховується при визначенні сумарної холодопродуктивності холодильного обладнання.

Під час роботи холодильних камер додаткове теплове навантаження створюється внаслідок експлуатації технологічного обладнання та допоміжних систем. До цієї групи відносять теплоприпливи від освітлювальних приладів, електродвигунів, транспортних механізмів, обслуговуючого персоналу та інших джерел теплоти, що виникають у процесі функціонування холодильного комплексу.

Хоча окремі експлуатаційні тепловиділення є порівняно невеликими, їх сумарний вплив може бути досить значним, особливо для холодильних камер середньої та великої місткості. Тому вони обов'язково враховуються при розрахунку загального теплового навантаження.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		37

Під час роботи холодильних камер, крім теплоприпливів через огорожувальні конструкції та від охолодження продукції, виникають додаткові теплові навантаження, пов'язані з процесом експлуатації сховища. До них належать тепловиділення від систем освітлення, електричних двигунів повітроохолоджувачів, обслуговуючого персоналу, надходження теплого повітря при відкриванні дверей, а також теплота, що виділяється овочевою продукцією в результаті фізіологічних процесів.

Теплоприпливи від освітлення залежать від встановленої потужності світильників та тривалості їх роботи. Оскільки освітлення камер використовується лише під час проведення вантажних і технологічних операцій, його внесок у загальне холодильне навантаження є відносно невеликим.

Додаткове теплове навантаження створюють електродвигуни вентиляторів повітроохолоджувачів. Практично вся споживана ними електрична енергія переходить у теплоту, яка надходить до об'єму холодильних камер і повинна компенсуватися холодильною установкою.

Під час експлуатації камер відбувається надходження теплоти від персоналу та через відкривання дверей. Кількість цих теплоприпливів залежить від режиму роботи сховища, інтенсивності вантажних операцій та тривалості перебування людей у камерах. Для овочесховищ такі навантаження мають періодичний характер і враховуються при визначенні сумарної потреби в холоді.

Особливістю зберігання овочевої продукції є безперервне виділення теплоти внаслідок процесів дихання. Інтенсивність цього процесу визначається видом продукції, її фізіологічним станом та температурою зберігання. При підтриманні оптимальних температурних режимів інтенсивність тепловиділення зменшується, що позитивно впливає на тривалість зберігання та якість продукції.

Сумарні експлуатаційні теплоприпливи визначаються шляхом урахування всіх перелічених джерел теплоти та включаються до загального

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		38

холодильного навантаження камер. Їх врахування при проектуванні холодильної установки дозволяє правильно визначити необхідну холодопродуктивність обладнання та забезпечити стабільне підтримання заданих параметрів мікроклімату в овочесховищі.

Таблиця 2.8 Експлуатаційних теплоприпливів від різних джерел:

	Q'_4	Q''_4	Q'''_4	Q''''_4	Q_4
1	191	1693	810	1351	4045
2	191	1702	810	1351	4054

При розрахунку холодильних установок для овочесховищ теплоту дихання необхідно враховувати поряд з іншими джерелами теплоприпливів, особливо при тривалому зберіганні продукції великими партіями.

Теплоприплив від дихання овочів визначають за залежністю

$$Q_5 = q'_5 \cdot G_{\pi} + q''_5 \cdot (G - G_{\pi})$$

Для камер зберігання буряка:

$$Q_5 = 81,8 \cdot 10 + 19,5 \cdot (125 - 10) = 3061 \text{ Вт}$$

Для камер зберігання капусти:

$$Q_5 = 68,7 \cdot 10 + 14,5 \cdot (125 - 10) = 2355 \text{ Вт}$$

Загальне навантаження

$$Q'_0 = \frac{k \cdot \sum Q_0}{b}$$

При децентралізованій системі холодопостачання розрахунок ведемо для камери з більшим тепловим навантаженням

$$Q'_0 = \frac{1,045 \cdot 27382}{0,9} = 32 \text{ кВт}$$

2.3. Вибір системи охолодження та холодильного агенту

Для забезпечення необхідних умов зберігання капусти та столового буряка прийнято децентралізовану холодильну систему, виконану на базі поршневих компресорів. Такий варіант дозволяє забезпечити надійну та

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		39

економічно доцільну роботу овочесховища, а також спрощує монтаж і подальшу експлуатацію обладнання.

При проєктуванні холодильних комплексів можуть використовуватися централізовані та децентралізовані системи холодопостачання. Централізовані установки характеризуються можливістю керування всіма елементами системи з одного пункту, що полегшує контроль технологічних параметрів та технічне обслуговування обладнання. Крім того, багатокомпресорні агрегати забезпечують гнучке регулювання холодопродуктивності залежно від поточного навантаження.

Разом із тим для холодильників невеликої та середньої місткості децентралізовані системи мають низку експлуатаційних переваг. Вони не потребують облаштування окремого машинного відділення, а компресорні агрегати можуть бути встановлені безпосередньо поблизу охолоджуваних камер або на відкритих майданчиках. Це дозволяє більш раціонально використовувати внутрішній простір будівлі та скоротити довжину трубопроводів.

Однією з важливих переваг децентралізованої схеми є підвищена експлуатаційна надійність. У разі виходу з ладу окремого агрегату інші холодильні машини продовжують функціонувати, що дозволяє уникнути повної втрати холодопродуктивності системи. Крім того, заміна або ремонт окремих елементів обладнання можуть виконуватися без значного порушення технологічного процесу зберігання продукції.

Зменшення довжини трубопроводів сприяє скороченню втрат тиску, зниженню витрат холодоагенту та спрощенню монтажних робіт. У сукупності це забезпечує економічну ефективність та зручність експлуатації холодильної установки.

Як робочу речовину в даному проєкті прийнято холодоагент R404A. Його застосування обумовлено широким використанням у промислових та комерційних холодильних системах середньо- та низькотемпературного призначення. Холодоагент характеризується стабільними термодинамічними

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		40

властивостями та придатний для експлуатації в установках з поршневими компресорами.

R404A є багатокомпонентною сумішшю гідрофторвуглецевих сполук, до складу якої входять компоненти з різними теплофізичними характеристиками, що забезпечують ефективну роботу холодильних систем у широкому діапазоні температур кипіння та конденсації.

До основних переваг використання холодоагенту R404A належать:

- стабільна робота в середньотемпературних та низькотемпературних холодильних установках;
- достатньо високі холодильні характеристики при різних режимах експлуатації;
- порівняно невисока температура нагнітання, що позитивно впливає на довговічність компресорного обладнання;
- можливість технічного обслуговування та дозаправлення системи при проведенні ремонтних робіт;
- сумісність із сучасними синтетичними мастильними матеріалами.

Важливою характеристикою холодоагенту є відсутність хлору в його складі, завдяки чому він не чинить прямого руйнівного впливу на озоновий шар атмосфери. За міжнародною класифікацією безпеки R404A належить до групи негорючих і малотоксичних холодоагентів, що забезпечує безпечну експлуатацію обладнання за умови дотримання встановлених вимог.

Для роботи холодильної установки на R404A використовуються синтетичні поліефірні мастила, які забезпечують належне змащування компресора та стабільну циркуляцію мастильного матеріалу в холодильному контурі.

З урахуванням розрахованих теплових навантажень для даного холодильника приймається безнасосна схема циркуляції холодоагенту з верхньою подачею до приладів охолодження. Така схема відзначається простотою конструкції, надійністю роботи та не потребує встановлення додаткового насосного обладнання.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

За таких умов найбільш доцільним є використання одноступеневої холодильної машини, яка забезпечує необхідну холодопродуктивність при відносно простій конструкції та економічній експлуатації.

Для створення рівномірного температурного поля в холодильних камерах передбачено застосування повітряної системи охолодження. Охолодження повітря здійснюється підвісними повітроохолоджувачами з примусовою циркуляцією, що забезпечують рівномірний розподіл охолодженого повітря по всьому об'єму приміщення та підтримання необхідних параметрів зберігання овочевої продукції.

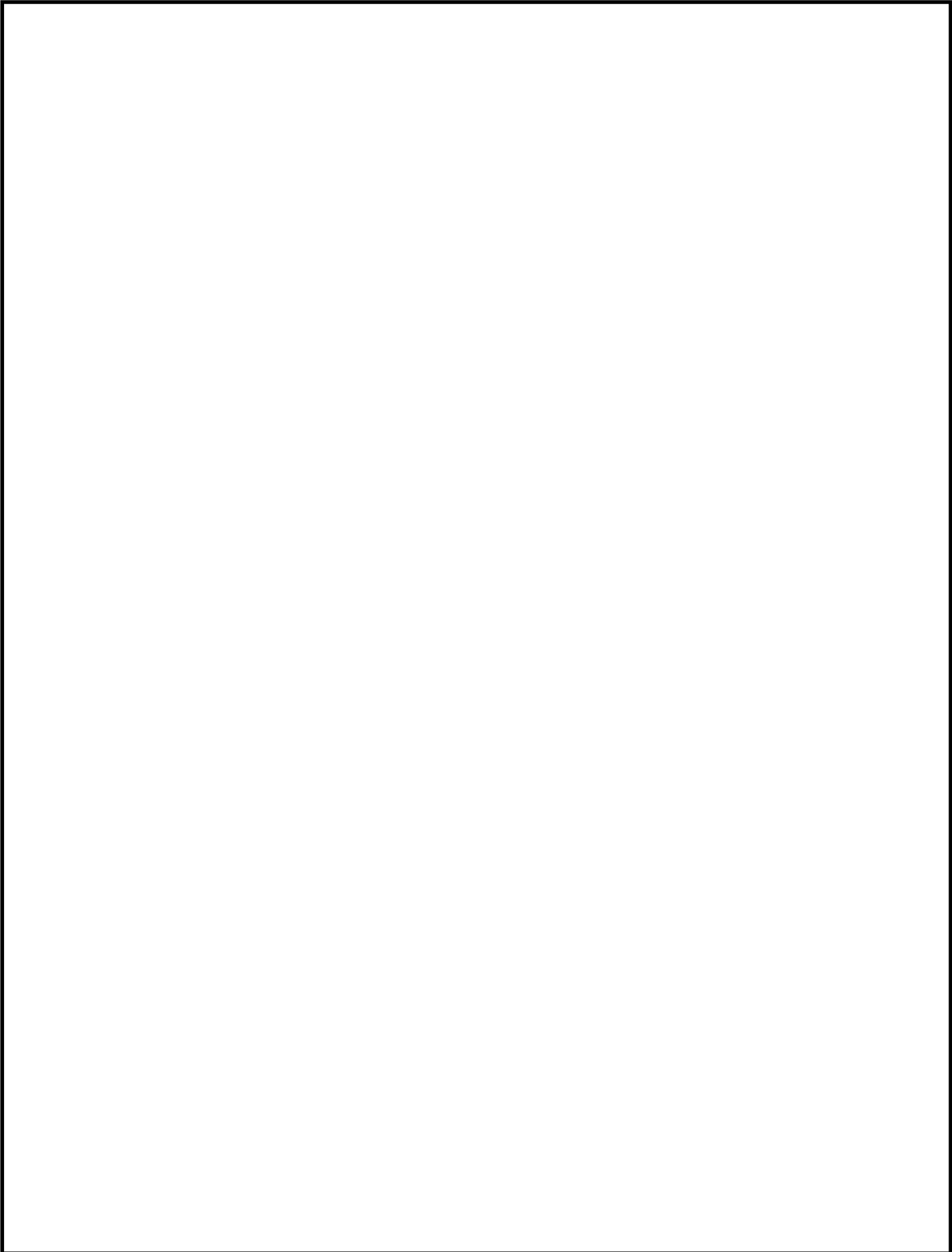
Відведення теплоти від холодильного агенту здійснюється за допомогою повітряних конденсаторів. Їх використання дозволяє відмовитися від систем оборотного водопостачання, спростити експлуатацію обладнання та зменшити витрати на обслуговування холодильного комплексу.

2.4. Висновки за розділом 2

У другому розділі виконано теплотехнічний розрахунок овочесховища та визначено основні параметри холодильних камер. Обґрунтовано вибір теплоізоляційних і пароізоляційних конструкцій огорожень, що забезпечують зменшення теплових втрат та підтримання необхідних умов зберігання овочевої продукції.

Проведено розрахунок основних теплоприпливів до холодильних камер та визначено сумарне холодильне навантаження, яке є основою для подальшого підбору обладнання. Також обґрунтовано вибір децентралізованої холодильної установки, холодоагенту R404A та прийнято схему охолодження, здатну забезпечити необхідний температурний режим і надійну роботу овочесховища.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		42



					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.03			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 3	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Степанов Р.О.						
Керівник		Корнієнко В.С.						
Консульт.								
Зав.каф.		Кобалава Г.О.				ХННІ НУК		
						43		

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ

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

Для створення необхідних умов зберігання овочевої продукції в проєктованому овочесховищі прийнято холодильну систему з окремими компресорними агрегатами для кожної камери. Таке конструктивне рішення дає можливість незалежно підтримувати задані параметри роботи, підвищує експлуатаційну надійність установки та спрощує проведення технічного обслуговування обладнання. У разі необхідності ремонтних робіт одна з камер може працювати автономно без повного припинення функціонування холодильного комплексу.

Холодильна установка працює за одноступеневою схемою стиснення із безпосереднім кипінням холодоагенту в повітроохолоджувачах. Подача холодоагенту до приладів охолодження здійснюється без використання циркуляційних насосів, що дозволяє зменшити кількість допоміжного обладнання та спростити конструкцію системи. Для забезпечення необхідної холодопродуктивності застосовується холодоагент R404A, а підтримання рівномірного температурного режиму в камерах здійснюється за допомогою повітроохолоджувачів із примусовою циркуляцією повітря. Прийнята схема відповідає умовам експлуатації овочесховища та забезпечує ефективну й надійну роботу холодильної установки.

Для рівномірного охолодження повітря в камерах застосовуються підвісні повітроохолоджувачі з примусовою циркуляцією повітря, що дозволяє підтримувати стабільний температурний режим по всьому об'єму сховища.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		44

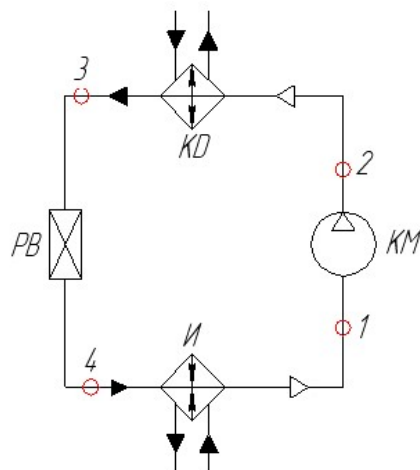


Рисунок 3.1 Схема фреонової холодильної машини

Відведення теплоти здійснюється через повітряні або водяні конденсатори залежно від умов експлуатації та доступності теплоносія, що забезпечує ефективну роботу холодильного циклу.

3.1.2 Визначення розрахункових температур холодильного циклу

Холодильна установка, що обслуговує камери з заданими температурними параметрами, працює на холодоагенті R404A. У якості вихідних умов прийнято температуру кипіння, що відповідають розрахунковому режиму роботи системи.

$$t_{\text{кам}} = 0^{\circ}\text{C}$$

$$Q_0 = 32 \text{ кВт.}$$

Холодильний агент R – 404a.

Температура кипіння $t_0 = -9^{\circ}\text{C}$

Температура конденсації $t_k = 37^{\circ}\text{C}$

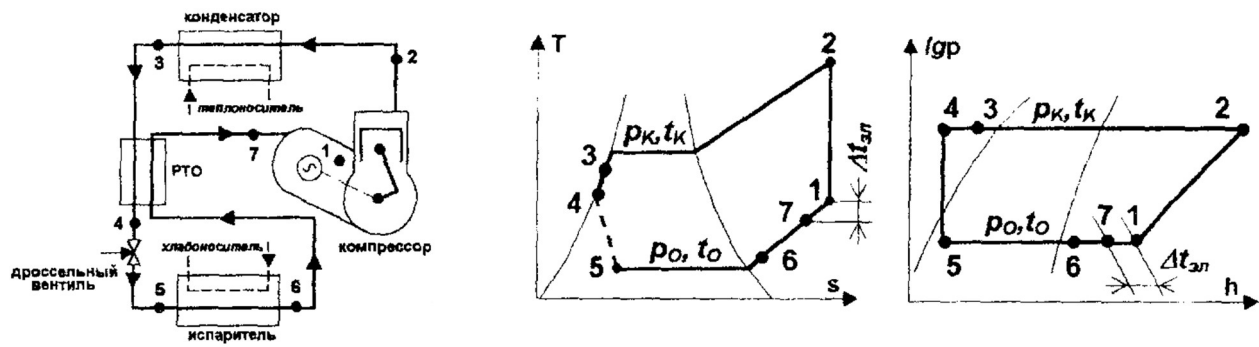


Рисунок 3.2. Цикл у діаграмі $\lg P - h$, та $T - s$.

На основі побудованого циклу в діаграмах $\lg P-h$ та $T-s$ (рис. 3.2) визначаються основні термодинамічні точки робочого процесу та відповідні параметри стану холодоагенту. Отримані значення зведено до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Точка	P, bar	t, °C	h, кДж/кг
1	19	34	240
2	4.5	-9	240
3	4.5	-9	390
4	4.5	-4	398
5	4.5	0	402
6	19	88	468
7	19	37	260

1. Питома масова холодопродуктивність:

$$q_0 = i_5 - i_2,$$

$$q_0 = 402 - 240 = 162 \text{ кДж/кг.}$$

2. Питома робота стиску компресора:

$$l_k = i_6 - i_5,$$

$$l_k = 468 - 402 = 66 \text{ кДж/кг.}$$

3. Питоме теплове навантаження на конденсатор:

$$q_k = i_6 - i_1,$$

$$q_k = 468 - 240 = 228 \text{ кДж/кг.}$$

Перевірка теплового балансу:

$$q_k = q_0 + l_k,$$

$$228 = 162 + 66 = 228 \text{ кДж/кг.}$$

4. Термодинамічний холодильний коефіцієнт:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_k},$$

$$\varepsilon = \frac{162}{66} = 2,45.$$

Отримане значення відповідає робочим режимам холодильної установки на холодоагенті R404A.

5. Масова витрата холодоагенту:

$$G = \frac{Q_0}{q_0},$$

$$G = \frac{32}{162} = 0,198 \text{ кг/с.}$$

Приймаємо

$$G = 0,20 \text{ кг/с.}$$

6. Теплове навантаження на конденсатор:

$$Q_k = G \cdot q_k,$$

$$Q_k = 0,198 \cdot 228 = 45,1 \text{ кВт.}$$

Приймаємо

$$Q_k = 45 \text{ кВт.}$$

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

3.2.1 Розрахунок та підбір холодильного компресора

Для забезпечення необхідної холодопродуктивності кожної камери прийнято окрему холодильну установку на базі поршневого компресора BITZER 4NES-14Y-40P. Холодопродуктивність однієї установки становить 32 кВт, що відповідає розрахунковому тепловому навантаженню камери.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		47

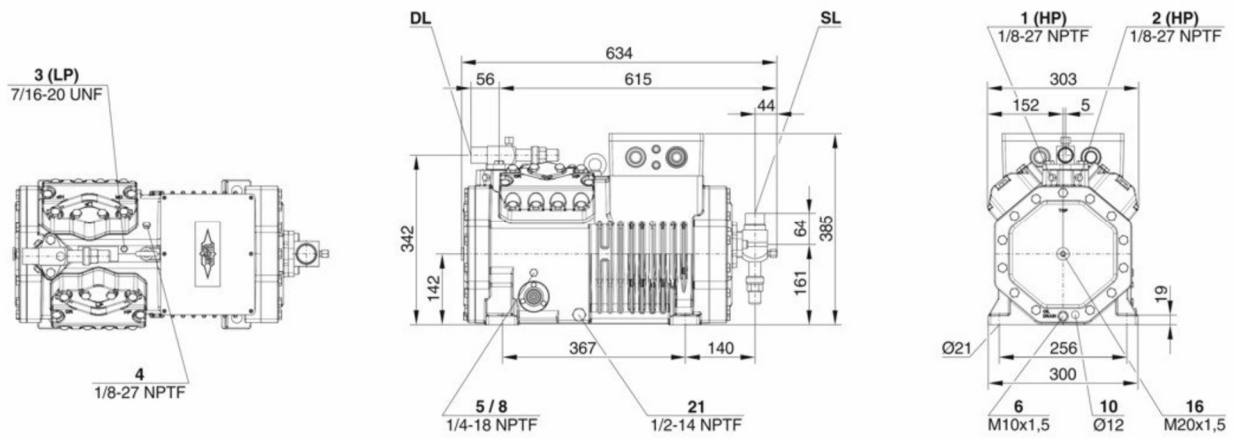


Рисунок 3.3. Вид компресора

3.2.2 Розрахунок та підбір конденсатора

Теплове навантаження на конденсатор $Q_k = 45$ кВт. З урахуванням можливих коливань режимів роботи та впливу температури навколишнього середовища вводиться експлуатаційний коефіцієнт запасу 1,15:

$$Q_{k, \text{розр}} = 45 \cdot 1,11 = 49,5 \text{ кВт}$$

Таким чином, необхідна холодопродуктивність конденсатора становить близько 50 кВт.

Виходячи з розрахунку, для системи приймається кожухотрубний водяний конденсатор **BITZER KVC 55 / KVC 60**, який забезпечує теплову потужність до 60 кВт та має достатній запас продуктивності для стабільної роботи системи.

3.2.3 Підбір допоміжного обладнання контуру

Лінійний ресивер виконує функцію накопичення рідкого холодоагенту після конденсатора та забезпечує стабільну подачу робочої речовини до регулюючих органів. Для даної установки приймається ресивер **BITZER FS126** об'ємом 12,5 л, що забезпечує необхідний запас холодоагенту та стабільність роботи системи при змінних навантаженнях.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		48

Для захисту регулюючої арматури та випарників від вологи та механічних домішок встановлюється фільтр-осушувач **Danfoss DML 032**, який забезпечує очищення холодоагенту та підвищує надійність роботи системи.

Регулювання подачі холодоагенту здійснюється за допомогою електронного розширювального вентиля типу **Danfoss ETS**, який підтримує оптимальний перегрів пари на виході з випарника та запобігає потраплянню рідкого холодоагенту до компресора.

Додатково в системі передбачається встановлення соленоїдного вентиля **Danfoss EVR 6** для автоматичного перекриття подачі холодоагенту при зупинці компресора, а також масловідділювача **BITZER OMC**, який забезпечує повернення масла в компресор і стабілізацію системи змащення.

3.3. Розміщення обладнання холодильної установки у приміщенні

Компресорний агрегат, виконаний на базі поршневого компресора **BITZER 4NES-14Y-40P**, а також лінійний ресивер, конденсаційне обладнання та шафа автоматичного керування розміщуються в окремому машинному відділенні. Таке компонування забезпечує зручність експлуатації, проведення профілактичних робіт і відповідає вимогам безпечної роботи холодильних установок.

Для зменшення впливу динамічних навантажень компресорний агрегат встановлюється на спеціальній основі з вібропоглинальними елементами. Використання пружинних або гумометалевих опор дозволяє знизити передачу вібрацій та шуму на будівельні конструкції й підвищує надійність роботи обладнання.

Планування машинного відділення передбачає вільний доступ до основних вузлів холодильної установки для проведення технічного обслуговування та ремонтних робіт. Відстані між обладнанням і будівельними конструкціями приймаються відповідно до нормативних вимог, забезпечуючи

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		49

безпечні умови експлуатації та достатній простір для монтажу й демонтажу окремих елементів системи.

Трубопроводи холодоагенту прокладаються відкритим способом на металевих опорах і кронштейнах, що спрощує контроль їх технічного стану та виконання ремонтних робіт. Всмоктувальна магістраль покривається теплоізоляційним матеріалом для запобігання утворенню конденсату та зменшення небажаних теплових надходжень до холодоагенту під час його руху до компресора.

Для виготовлення трубопроводів холодильного контуру застосовуються безшовні мідні труби, які характеризуються високою механічною міцністю, стійкістю до корозії та довговічністю. З'єднання окремих ділянок трубопроводів передбачається виконувати методом капілярного паяння із застосуванням твердих припоїв, що забезпечує герметичність системи та надійну роботу холодильного обладнання протягом тривалого терміну експлуатації.

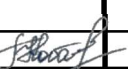
3.4. Висновки за розділом 3

У розділі виконано підбір основного та допоміжного холодильного обладнання для проєктованої установки. Обґрунтовано вибір поршневого компресора **BITZER 4NES-14Y-40P**, який забезпечує необхідну холодопродуктивність та стабільну роботу системи в заданих режимах експлуатації.

Проведено підбір повітряного конденсатора холодопродуктивністю 50 кВт, що гарантує ефективне відведення теплоти конденсації та стабільність роботи холодильного циклу. Також обґрунтовано вибір допоміжного обладнання холодильного контуру, зокрема ресивера, фільтра-осушувача, розширювального вентиля та елементів захисту компресора.

Запропонована схема холодильної установки забезпечує надійну роботу обладнання, автоматичне регулювання процесів охолодження та підтримання необхідних температурних режимів у камерах зберігання овочевої продукції.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.04		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 4		
Студент		Степанов Р.О.					
Керівник		Корнієнко В.С.					
Консульт.							
Зав.каф.		Кобалава Г.О.			ХННІ НУК 51		

РОЗДІЛ 4. КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІННИКА

4.1. Основні характеристики повітроохолоджувачів

Для підтримання температурного режиму в холодильній камері приймається система повітряного охолодження з примусовою циркуляцією повітря. Загальне теплове навантаження на камеру становить

$$Q_{\text{кам}} = 27,382 \text{ кВт.}$$

У камері встановлюється два однакових повітроохолоджувачі, тому холодопродуктивність одного апарата дорівнює

$$Q_{\text{по}} = \frac{Q_{\text{кам}}}{2},$$
$$Q_{\text{по}} = \frac{27,382}{2} = 13,691 \text{ кВт.}$$

Приймаємо

$$Q_{\text{по}} = 13,7 \text{ кВт.}$$

Вихідні дані:

- холодопродуктивність одного апарата – 13,7 кВт;
- температура повітря в камері – 0°C;
- температура кипіння холодоагенту – -9°C;
- температура конденсації – 37°C;
- холодоагент – R404A.

4.2. Розрахунок та підбір повітроохолоджувача

Масову витрату холодоагенту визначають за формулою

$$G = \frac{Q_{\text{по}}}{q_0} = \frac{13,7}{162} = 0,0846 \text{ кг/с.}$$

де

$$Q_{\text{по}} = 13,7 \text{ кВт;}$$

$$q_0 = 162 \text{ кДж/кг.}$$

Приймаємо

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		52

$$G = 0,085 \text{ кг/с.}$$

Визначення площі поверхні теплообміну

Основне рівняння теплопередачі має вигляд

$$Q = kF\Delta t,$$

звідки

$$F = \frac{Q}{k\Delta t}.$$

Для оребрених повітроохолоджувачів приймаємо

$$k = 13 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

$$t = 9^\circ\text{C}.$$

Тоді

$$F = \frac{13700}{13 \times 9} = 117,1 \text{ м}^2,$$

Приймаємо

$$F = 120 \text{ м}^2.$$

Визначення витрати повітря

Необхідна кількість повітря визначається за залежністю

$$L = \frac{Q}{c_p \rho \Delta t},$$

Тоді

$$L = \frac{13700}{1,005 \cdot 1300 \cdot 5} = 2,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

У перерахунку на годину

$$L = 2,1 \cdot 3600 = 7560 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Приймаємо

$$L = 7600 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Підбір вентиляторів

Для забезпечення необхідної циркуляції повітря приймається два осьових вентилятори.

Продуктивність одного вентилятора

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		53

$$L_1 = \frac{7600}{2} = 3800 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Приймаємо два вентилятори продуктивністю по 3800 м³/год кожний.

Визначення кількості труб

Для виготовлення теплообмінника приймаємо мідні труби зовнішнім діаметром $d = 12\text{мм}$, $l = 1,5\text{м}$.

Площа поверхні однієї труби

$$F_1 = \pi dl,$$

$$F_1 = 3,14 \times 0,012 \times 1,5 = 0,0565\text{м}^2.$$

Без урахування оребрення

$$n = \frac{120}{0,0565} = 2124.$$

Оскільки використовується алюмінієве оребрення, коефіцієнт збільшення поверхні приймаємо $\psi = 18$.

Тоді

$$n = \frac{2124}{18} = 118.$$

Приймаємо

$$n = 120\text{труб.}$$

Визначення довжини трубного пучка

Приймаємо 4 ряди труб.

Тоді

$$n_1 = \frac{120}{4} = 30.$$

Крок між трубами

$$S = 38\text{мм}$$

Довжина теплообмінника

$$L = 30 \times 38 = 1140\text{мм.}$$

Приймаємо

$$L = 1,2\text{м.}$$

Визначення висоти теплообмінника

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		54

$$H = 4 \times 33 = 132 \text{ мм.}$$

$$S_2 = 33 \text{ мм, } m = 4.$$

З урахуванням колекторів

$$H = 450 \text{ мм.}$$

Приймаємо

$$H = 0,45 \text{ м.}$$

Визначення швидкості руху холодоагенту

Площа живого перерізу однієї труби

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,01^2}{4} = 7,85 \times 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Для 30 паралельних труб

$$f_0 = 30 \times 7,85 \times 10^{-5} = 0,00235 \text{ м}^2.$$

Об'ємна витрата

$$V = \frac{0,085}{18} = 0,0047 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Швидкість руху

$$w = \frac{V}{f} = \frac{0,0047}{0,00235} = 2,0 \text{ м/с.}$$

Це знаходиться в рекомендованому діапазоні

$$1,5 \dots 4 \text{ м/с.}$$

Визначення аеродинамічного опору

Швидкість повітря через теплообмінник

$$w = 3 \text{ м/с.}$$

Приймаємо

$$\Delta P = 100 \text{ Па.}$$

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55

Таблиця 4.1. Основні конструктивні параметри повітроохолоджувача

Параметр	Значення
Холодопродуктивність	13,7 кВт
Температура кипіння	-9°C
Температура камери	0°C
Холодоагент	R404A
Площа теплообміну	120 м²
Кількість труб	120
Довжина труб	1,5 м
Кількість рядів	4
Довжина теплообмінника	1,2 м
Висота теплообмінника	0,45 м
Масова витрата холодоагенту	0,085 кг/с
Витрата повітря	7600 м³/год
Кількість вентиляторів	2
Продуктивність вентилятора	3800 м³/год
Швидкість холодоагенту	2,0 м/с
Аеродинамічний опір	100 Па

4.3 Висновки по розділу 4

У розділі виконано конструктивний розрахунок повітроохолоджувача для холодильних камер зберігання овочевої продукції. На підставі визначеного теплового навантаження встановлено необхідну холодопродуктивність одного апарата та розраховано основні параметри його роботи. Визначено витрату холодоагенту, площу теплообмінної поверхні, інтенсивність циркуляції повітря та основні конструктивні характеристики теплообмінника.

Результати розрахунків свідчать про можливість забезпечення стабільного температурного режиму в камерах зберігання та ефективного

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		56

відведення теплових надходжень від продукції й навколишнього середовища. Прийняті конструктивні рішення узгоджуються з параметрами холодильної установки та створюють умови для надійної й економічної роботи системи охолодження овочесховища.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		57

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.05			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Степанов Р.О.			Розділ 5	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Корнієнко В.С.						
Консульт.								
Зав.каф.		Кобалава Г.О.			ХННІ НУК 58			

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз небезпек в машинному відділенні

Безпечна експлуатація холодильної установки є однією з необхідних умов надійної роботи овочесховища та забезпечення нормальних умов праці обслуговуючого персоналу. Під час роботи холодильного обладнання в машинному відділенні можуть виникати фактори, які здатні негативно впливати на здоров'я працівників та справність технічних засобів. Тому при проєктуванні установки передбачаються конструктивні й організаційні рішення, спрямовані на зниження виробничих ризиків.

5.1.1 Безпечна експлуатація системи з холодоагентом R404A

У холодильній установці використовується холодоагент R404A, який характеризується хімічною стабільністю та не підтримує процес горіння за нормальних умов експлуатації. Незважаючи на це, під час обслуговування системи необхідно враховувати особливості його фізичних властивостей.

У випадку пошкодження герметичності трубопроводів або обладнання холодоагент може накопичуватися в нижній частині приміщення, оскільки його густина перевищує густину повітря. Зменшення концентрації кисню створює небезпеку для людей, які перебувають у машинному відділенні. Для своєчасного виявлення аварійної ситуації доцільно використовувати засоби контролю концентрації холодоагенту та забезпечити ефективний повітрообмін у приміщенні.

Під час виконання ремонтних і профілактичних робіт можливий контакт персоналу з рідким холодоагентом, температура якого значно нижча від температури навколишнього середовища. Для запобігання пошкодженню шкіри та органів зору працівники повинні застосовувати спеціальні рукавиці та захисні окуляри.

					<i>КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.05</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		59

Особливу увагу необхідно приділяти недопущенню контакту холодоагенту з відкритими джерелами високої температури, оскільки за таких умов можуть утворюватися небезпечні продукти розкладання. Проведення зварювальних та інших вогневих робіт у безпосередній близькості від елементів холодильної системи допускається лише після виконання відповідних підготовчих заходів.

5.1.2 Заходи електробезпеки та захисту від механічних впливів

Основне холодильне обладнання працює від трифазної електричної мережі, тому одним із важливих напрямків забезпечення безпеки є захист від ураження електричним струмом.

Конструкцією установки передбачено приєднання металевих корпусів компресорів, теплообмінних апаратів, електричних шаф та інших струмопровідних елементів до системи захисного заземлення. Електричні кола обладнуються автоматичними пристроями захисту від перевантажень та коротких замикань, а також системами відключення при виникненні аварійних режимів роботи.

Для запобігання механічним травмам рухомі частини вентиляторів і приводів закриваються захисними екранами або решітками, що унеможливають випадковий доступ до небезпечних зон під час роботи обладнання. Технічне обслуговування та ремонт механізмів виконуються лише після їх повної зупинки та відключення від джерел електроживлення.

5.1.3 Заходи пожежної безпеки

Під час експлуатації холодильної установки необхідно забезпечити належний рівень пожежної безпеки машинного відділення. Основними потенційними джерелами займання можуть бути несправності електрообладнання, порушення режимів роботи електродвигунів або короткі замикання в силових мережах.

Для зниження ймовірності виникнення пожежонебезпечних ситуацій у приміщенні використовуються будівельні конструкції з негорючих матеріалів,

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		60

забезпечуються вільні проходи до обладнання та аварійних виходів, а також передбачаються засоби оперативного оповіщення про виникнення небезпечних ситуацій.

Машинне відділення комплектується первинними засобами пожежогасіння, а персонал проходить інструктаж щодо дій у разі виникнення аварії або пожежі. Регулярний контроль технічного стану електричного обладнання та своєчасне проведення профілактичних робіт дозволяють знизити ризик виникнення надзвичайних ситуацій.

5.2. Висновки за розділом 5.

У розділі розглянуто основні небезпечні та шкідливі фактори, які можуть виникати під час експлуатації холодильної установки овочесховища. Проаналізовано особливості роботи обладнання з холодоагентом R404A, питання електробезпеки, захисту від механічних впливів і забезпечення пожежної безпеки. Запропоновані технічні та організаційні заходи спрямовані на створення безпечних умов праці, підвищення надійності роботи холодильного обладнання та зниження ймовірності виникнення аварійних ситуацій під час експлуатації установки.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		61

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено проєкт холодильної установки для овочесховища, призначеного для зберігання капусти та буряка із забезпеченням необхідних температурних умов протягом усього періоду експлуатації.

У ході роботи виконано аналіз особливостей холодильного зберігання овочевої продукції та визначено оптимальні параметри мікроклімату для збереження її якості. Проведено теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій, визначено теплоприпливи до холодильних камер і встановлено необхідне холодильне навантаження.

На підставі отриманих результатів розраховано цикл холодильної машини на холодоагенті R404A та виконано підбір основного обладнання. Для кожної холодильної камери прийнято окрему компресорну установку на базі напівгерметичного поршневого компресора BITZER 4NES-14Y-40P, що забезпечує надійну та економічну роботу системи. Також виконано підбір повітряного конденсатора та допоміжного обладнання холодильного контуру.

Проведено конструктивний розрахунок повітроохолоджувачів, визначено їх основні параметри та підтверджено можливість підтримання необхідного температурного режиму в камерах зберігання овочевої продукції.

Окрему увагу приділено питанням автоматизації та безпечної експлуатації холодильної установки. Передбачені засоби контролю та захисту обладнання забезпечують стабільну роботу системи, а розроблені заходи з охорони праці спрямовані на створення безпечних умов для обслуговуючого персоналу.

Отримані результати свідчать про технічну доцільність прийнятих конструктивних рішень та можливість ефективного використання спроєктованої холодильної установки для тривалого зберігання овочевої продукції із забезпеченням необхідних показників якості та мінімізацією експлуатаційних витрат.

					<i>КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.00</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		62

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. *(Для расчета твоего воздухоохладителя)*
3. Хмельнюк М. Г. Автоматизація холодильних установок та систем кондиціювання повітря / М. Г. Хмельнюк. – Одеса : ОНАХТ, 2015. – 210 с. *(Для Раздела 5 про автоматику Danfoss)*
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. *(Для подраздела по охране труда)*
9. Розрахунок штучного освітлення виробничих приміщень: Методичні вказівки до виконання випускних робіт бакалаврів. – Миколаїв : НУК, 2019.

					КРБ.142.4257.06.05.ПЗ.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		63