

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

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Обладнання переробних і харчових
виробництв»

_____ Цвіркун Л.О.
«_____» _____ 2026 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробних і харчових виробництв»
на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОЗРІВАННЯ
М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти _____ Ломака Василь Олександрович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник:

_____ доцент, к.пед.н., Цвіркун Л.О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2026

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

Форма здобуття вищої освіти денна
Ступінь бакалавр
Галузь знань Механічна інженерія
Освітня програма Обладнання переробних і харчових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Обладнання
переробних і харчових виробництв»

Цвіркун Л.О.
« » 2026 року

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

Ломаки Василя Олександровича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення обладнання для дозрівання
м'ясної сировини»

Керівник роботи к.пед.н., Цвіркун Л.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом ректора Криворізького національного університету від
«31» грудня 2025 р. № 85-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи « 12 » червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

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

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.
2. Аналіз обладнання для дозрівання м'яса.
3. Оптимізація камери дозрівання м'ясної сировини.
4. Аналіз результатів досліджень.
5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

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

Камери з контрольованим середовищем.

Узагальнена схема систем камери дозрівання м'яса.

Оптимізація камери для дозрівання м'ясної сировини.

Розподіл температури та вологості в камері дозрівання м'яса.

6. Дата видачі завдання «02» січня 2026 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	05.01.2026-15.02.2026
2	Аналіз обладнання для дозрівання м'яса	16.02.2026-10.03.2026
3	Оптимізація камери дозрівання м'ясної сировини	11.03.2026-15.04.2026
4	Аналіз результатів досліджень	16.04.2026-30.04.2026
5	Висновки по роботі	01.05.2026-12.05.2026
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2026-12.06.2026

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Ломака В.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Цвіркун Л.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 47 сторінки. Робота містить 4 таблиці, 7 рисунків. Список використаних джерел складається з 29 найменувань.

Об'єкт роботи – ферментаційна камера.

Предмет роботи – процес дозрівання м'яса.

Мета роботи – удосконалення обладнання для дозрівання м'ясної сировини.

У роботі зазначено, що дозрівання та сушіння можуть вважатися найдавнішою формою збереження сировини. Поліпшення якості та збереження продуктів за допомогою мікробного дозрівання є давньою стратегією, яка еволюціонувала для виробництва сучасних функціональних ферментованих харчових продуктів.

Запропоновано узагальнену схему, яка містить основні системи камери дозрівання м'яса із застосуванням датчиків температури та вологості. Вважається за доцільне розмістити всі компоненти системи камери для дозрівання м'яса послідовно один за одним, об'єднавши охолоджувач та осушувач в один блок для точного та одночасного контролю температури та вологості, бо при сухому дозрівання ці два параметри є критично залежними один від одного. Оптимізація забезпечить:

- ефективне видалення вологи, бо охолоджувач знижує температуру повітря, через що волога природним чином конденсується на його холодних елементах, цей конденсат виводиться виконуючи функцію осушувача;

- мінімізація втрати ваги м'яса, бо якщо вологість впаде занадто низько м'ясо висохне дуже швидко, що призведе до втрати якості сировини;

- ефективне застосування простору камери для дозрівання, бо один агрегат займає менше місця всередині камери, залишаючи більше простору.

Оптимізована камера для дозрівання м'ясної сировини складається з двох етапів функціонування, перший – це етап охолодження за допомогою якого досягається охолодження м'ясної сировини шляхом керованого використання виконавчих механізмів. Другий етап стосується циклу ферментації, де контролюватиметься відсоток вологості та температура всередині камери. Було запропоновано оптимізоване обладнання для визрівання 20 кг м'яса з двома лотками всередині для розміщення м'яса. Обрано необхідні елементи охолодження, такі як компресор, конденсатор та випарник з охолоджувальною потужністю 26,04 Вт, 328,82 Вт та 309,053 Вт відповідно. Для повітряного потоку всередині камери передбачено вентилятор потужністю 8,5 Вт.

Вважається за доцільне здійснити заміну стандартних осьових вентиляторів на радіальні, що забезпечить горизонтальний ламінарний рух повітря зі швидкістю 0,2-05 м/с або здійснити впровадження вентиляторів із частотно-регульованим приводом забезпечить адаптовануння швидкість обертання залежно від фази дозрівання, а саме інтенсивна вентиляція на початку, а мінімальна наприкінці.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ферментаційна камера, дозрівання, м'ясо.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОЗРІВАННЯ М'ЯСА	7
1.1 Дозрівання м'ясної сировини	7
1.2 Камери з контрольованим середовищем	13
РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ КАМЕРИ ДОЗРІВАННЯ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ	20
2.1 Взаємодія систем камери дозрівання м'яса	25
2.2 Система охолодження	27
2.3 Система нагрівання	31
2.4 Система зволоження	34
2.5 Система вентиляції	35
2.6 Елементи контролю камери дозрівання	37
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	41
3.1 Розподіл температури та вологості в камері дозрівання м'яса	41
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45
ДОДАТКИ	47

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Ломака			Удосконалення обладнання для дозрівання м'ясної сировини				Лім.		Арк.	Аркуші		
Перевір.		Цвіркун									5	1		
									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО					
Н. Контр.		Омельченко												
Затверд.		Цвіркун												

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що дозрівання та сушіння можуть вважатися найдавнішою формою збереження сировини. Поліпшення якості та збереження продуктів за допомогою мікробного дозрівання є давньою стратегією, яка еволюціонувала для виробництва сучасних функціональних ферментованих харчових продуктів.

Мета та задачі дослідження. Удосконалення обладнання для дозрівання м'ясної сировини.

Практична та наукова новизна. Запропоновано узагальнену схему, яка містить основні системи камери дозрівання м'яса із застосуванням датчиків температури та вологості. Вважається за доцільне розмістити всі компоненти системи камери для дозрівання м'яса послідовно один за одним, об'єднавши охолоджувач та осушувач в один блок для точного та одночасного контролю температури та вологості, бо при сухому дозрівання ці два параметри є критично залежними один від одного. Оптимізація забезпечить:

- ефективне видалення вологи, бо охолоджувач знижує температуру повітря, через що волога природним чином конденсується на його холодних елементах, цей конденсат виводиться виконуючи функцію осушувача;

- мінімізація втрати ваги м'яса, бо якщо вологість впаде занадто низько м'ясо висохне дуже швидко, що призведе до втрати якості сировини;

- ефективне застосування простору камери для дозрівання, бо один агрегат займає менше місця всередині камери, залишаючи більше простору для м'ясної сировини.

Оптимізована камера для дозрівання м'ясної сировини складається з двох етапів функціонування, перший – це етап охолодження за допомогою якого досягається охолодження м'ясної сировини шляхом керованого використання виконавчих механізмів. Другий етап стосується циклу ферментації, де контролюватиметься відсоток вологості та температура всередині камери. Було запропоновано оптимізоване обладнання для визрівання 20 кг м'яса з двома лотками всередині для розміщення м'яса. Обрано необхідні елементи охолодження, такі як компресор, конденсатор та випарник з охолоджувальною потужністю 26,04 Вт, 328,82 Вт та 309,053 Вт відповідно. Для повітряного потоку всередині камери передбачено вентилятор потужністю 8,5 Вт та зволожувач, задля забезпечення рівномірного розподілу вологості.

Вважається за доцільне здійснити заміну стандартних осьових вентеляторів на радіальні, що забезпечить горизонтальний ламінарний рух повітря зі швидкістю 0,2-05 м/с або здійснити впровадження вентеляторів із частотно-регульованим приводом забезпечить адаптовануння швидкість обертання залежно від фази дозрівання, а саме інтенсивна вентиляція на початку, а мінімальна наприкінці.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Ломака</i>			Удосконалення обладнання для дозрівання м'ясної сировини	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Цвіркун</i>					
						6	1
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>				ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО	
<i>Затверд.</i>		<i>Цвіркун</i>					

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОЗРІВАННЯ М'ЯСА

1.1 Дозрівання м'ясної сировини

Дозрівання та сушіння можуть вважатися найдавнішою формою збереження сировини. Поліпшення якості та збереження продуктів харчування за допомогою мікробного дозрівання є давньою стратегією, яка еволюціонувала для виробництва сучасних функціональних ферментованих харчових продуктів. Ферментація – процес, що відбувається в продукті під дією ферментів, переважно мікробного походження. Результатом цих процесів (біохімічних реакцій) є утворення речовин, які впливають на процес поступової трансформації продукту у кінцеву фазу [1, 2, 17]. Сушіння можна дуже просто визначити як процес втрати води з продукту. Воно суттєво впливає на консистенцію продукту і важливим є прямий вплив на значення активності води (термін зберігання). Дозрівання – процес, що впливає на виробництво довготривалих ферментованих м'ясних виробів після їх перенесення до кондиційованих камер. Воно включає як ферментацію так і сушіння, що відбуваються одночасно, а також інші реакції (наприклад, окисні), що впливають на властивості фінального продукту. Через модернізацію харчової промисловості та зростання знань про ферментовані м'ясні продукти, використання стартових культур стало важливою стратегією для поліпшення контролю за процесом та якістю.

Дозрівання – це складний процес, який включає значні зміни текстури, кольору, смаку, запаху, метаболізму поживних речовин та інших якісних характеристик, що зрештою робить сировину привабливою та їстівною для споживачів. Температура, освітлення та вологість можуть впливати на процес дозрівання сировини. Вищі температури можуть прискорювати дозрівання, а нижчі – затримувати процес [6, 9]. Температура та вологість середовища дозрівання є критичними параметрами, бо занадто висока температура прискорює деградацію і сприяє розвитку небажаних бактерій, що погіршує якість і безпеку харчових продуктів. Занадто низька температура, навпаки, уповільнює процес дозрівання, подовжуючи термін зберігання, але може вплинути на остаточну ніжність. Волога відіграє важливу роль у збереженні м'яса від висихання, забезпечуючи оптимальну текстуру.

Температура зберігання є дуже критичною, оскільки якщо вона нижче температури замерзання для м'яса (-2°C до -3°C), зупиняться ферментативні процеси, пов'язані зі стиглістю. З іншого боку, якщо температура зберігання висока, ферментативні процеси будуть протікати досить добре але також активізуються бактерії, що призведе до сторонніх смаків. Вологість також потрібно контролювати при сухій витримці, слід регулювати для зберігання

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Ломака			Удосконалення обладнання для дозрівання м'ясної сировини				Літ.	Арк.	Аркушів		
Перевір.		Цвіркун									7	13	
									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО				
Н. Контр.		Омельченко											
Затверд.		Цвіркун											

продуктів. Якщо вона занадто висока, можуть розвиватися бактерії розкладу та утворювати неприємні запахи [3, 7]. Навпаки, якщо вона занадто низька – це обмежить ріст бактерій але сприятиме більшій втраті ваги через випаровування, занадто швидко висушуючи м'ясо та отримуючи менш соковитий стейк, ніж необхідно. Для досягнення належної циркуляції повітря в камері витримки необхідна система примусової подачі повітря у відповідному місці, належним чином спроектований охолоджувальний блок, решітки з нержавіючої сталі, системи фільтрації повітря та ультрафіолетове освітлення, таким чином уникаючи наявності мертвих зон або місць з високою швидкістю. Якщо повітряний потік недостатній, конвекційне сушіння м'яса дуже слабе, тоді як при надмірному потоці м'ясо висихає занадто швидко, збільшуючи втрати зрізу в кінцевому продукті.

Дозрівання м'яса – це процес приготування м'ясної сировини для споживання шляхом витримки з метою покращення текстури та смаку. Витримка дозволяє м'ясу проходити через різні стадії, де природні ферменти та інші біохімічні процеси розм'якшують м'язові волокна та розвивають смак. Дозрівання м'яса – це процес під час якого м'ясо залишають відпочитувати певний час. У цей час природні ферменти, що містяться в м'ясі впливають на м'язові тканини, розщеплюючи колаген і білки, що призводить до більш ніжного та ароматного м'яса. Процес дозрівання може тривати від кількох днів до кількох тижнів, залежно від типу м'яса та бажаного результату. Протягом цього часу м'ясо зберігається в умовах контрольованої температури та вологості, щоб ферменти діяли оптимально.

У процесі дозрівання м'яса беруть участь щонайменше два типи температурно-залежних механізмів, які діють синергетично: ферментативні системи та фізико-хімічні зміни. Важко встановити фіксований час витримки для кожного шматка. Коли йдеться про витримку, мінімальний час, необхідний для кожного шматка, визначається поступовим розвитком аромату та смаку, які, доведені до крайнощів, можуть стати такими ж неприємними, як гниття. Цей аромат та смак виникають внаслідок утворення летких молекул [15]. Ферменти, що природно присутні в м'ясі, розщеплюють м'язові білки, повільно послаблюючи структуру волокон та роблячи м'ясо ніжним. Відповідний період витримки забезпечує оптимальну ніжність для кожного виду м'ясної сировини. У випадку з яловичиною час, необхідний для досягнення оптимальної ніжності, може значно відрізнятись залежно від шматка або комерційного сорту. Процес дозрівання можна проводити двома основними способами, кожен з різними характеристиками та результатами. Існує два основних способи витримки яловичини – сухе та вологе витримання [3, 9, 10].

На практиці для дозрівання яловичини використовують два методи: вологе або сухе дозрівання м'яса, обидва з яких відрізняються економічними вимогами та чутливими властивостями, зокрема смаком і ніжністю м'яса. Тривале і необхідне дозрівання м'яса називається витримкою м'яса. Яловичина, дозріла вологим способом, поміщається у вакуумно герметичний контейнер і зберігається при температурі близько 0–2°C [22]. Цей спосіб дозрівання є одним із найпоширеніших. Другий метод – сухий спосіб дозрівання м'яса, коли

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

тушу підвішують, розпаковують у холодильному обладнанні, де її залишають дозрівати кілька тижнів при контрольованій температурі 0,5–1°C, потоці повітря та відносній вологості 80–85%. Останніми роками зросла популярність спеціальних вакуумних пакетів для сухого витримування м'яса в холодильнику, які поєднують ці два традиційні методи витримування.

Сухе дозрівання здійснюється, залишаючи м'ясо підвішеним у камерах з контролем температури та вологості. Метод дозволяє м'ясу втрачати вологу, що концентрує смаки. Протягом кількох тижнів ферменти розщеплюють м'язові волокна, досягаючи більш насиченого смакового профілю. Незважаючи на втрату ваги, такі шматки, мають величезну користь, набуваючи складного смаку з нотками горіхів. Спеціалізоване обладнання є необхідним для контролю середовища дозрівання, забезпечуючи високу якість кінцевого продукту [3, 11, 15]. Сухе витримування – традиційний метод, який полягає у підвішуванні шматків м'яса в холодній кімнаті при контрольованій температурі та вологості. Вплив повітря дозволяє поступово випаровувати поверхневу воду, концентрувати смаки та формувати характерну скоринку. Метод забезпечує надзвичайно смачне м'ясо, але призводить до значної втрати ваги. Температура залишається в межах 0–2°C, а вологість – близько 85%. Умови дозволяють м'ясу поступово втрачати вологу, концентруючи смаки в залишкових м'язових волокнах.

Тим часом сухе дозрівання передбачає витримування м'яса у холодильних камерах протягом певного періоду. Найпростіший процес з технологічної точки зору, оскільки він забезпечує значну економію пакувальних матеріалів та обладнання. Проте він має деякі недоліки, які можуть бути дорогими, такі як потреба у спеціальному місці для зберігання, бо сухе дозрівання вимагає спеціалізованої камери, де м'ясо можна залишати на кілька днів у контрольованих умовах. Це також призводить до втрат під час обробки, які можуть сягати до 45% від ваги свіжого шматка [9-11]. Недоліки можуть бути компенсовані сенсорними перевагами цього методу, оскільки він перетворює м'ясо на зовсім інший продукт, який за ароматом і смаком більше схожий на в'ялене м'ясо, ніж на свіже. Дуже характерні органолептичні характеристики м'яса сухої витримки залежать від багатьох факторів, деякі з яких є вирішальними для отримання бажаного продукту [6, 15]:

- характеристики шматка/відрізка: початкова вага, кількість та якість як підшкірного так і внутрішнього м'язового жиру;

- умови дозрівання (температура та відносна вологість): ступінь покращення м'якості під час дозрівання залежить від температури, бо чим вища температура, тим швидше відбуваються зміни в м'ясі (вищі температури також сприяють росту бактерій, тому дозрівання зазвичай проводиться за найнижчої можливої температури без заморожування м'яса).

М'ясо починає заморожуватися при -1,5°C, тому ідеальна температура для тривалого дозрівання становить -0,5°C ± 1°C. Температура 1°C зазвичай використовується для періодів дозрівання, що перевищують 100 днів. Якщо продукт дозріває лише 1-2 тижні, ідеальною вважається температура від 2 до 3°C [15]. Підтримка стабільної температури має вирішальне значення, тому

камера дозрівання повинна мати окремий доступ і бути відокремлена від зовнішнього середовища невеликим охолоджуваним приміщенням, щоб запобігти потраплянню теплого повітря та вологи.

Сухий холод у камерах визрівання – це процес, який використовує низькі температури та контроль вологості для визрівання м'яса. Таке середовище зменшує вологість у м'ясі, що посилює його смак та покращує текстуру, дозволяючи природним ферментам розм'якшувати тканину. Циркуляція повітря та низька вологість є ключовими для запобігання росту бактерій та утворення плісняви, забезпечуючи високоякісний кінцевий продукт.

Фази процесу сухого дозрівання [7, 10]:

7 днів: колаген починає розкладатися, але м'ясо майже не втратило воду і не покращилося у смаку;

21 день: спостерігається втрата ваги від 9% до 11% і починають сохнути та темніти боки м'яса;

30 днів: м'ясо набуває глибшого смаку та покращеної текстури, з втратою ваги 16%;

45 днів: жир змінює смак, а втрата ваги становить близько 20%;

120 днів: це екстремальне дозрівання, з втратою ваги 35% і набагато інтенсивнішим смаком.

Під час процесу сухого витримування яловичини відбуватися вивішування цілих чвертей. Цілі шматки яловичини зазвичай вивішуються протягом 28 – 55 днів за контрольованих та регульованих умов у холодильних установках при температурі близько 0 – 5 °C та відносній вологості 75 – 85 %. Якщо м'ясо піддається дії нижчої вологості, це призводить до втрати соковитості, що веде до висихання м'яса [21]. Якщо ж м'ясо піддається дії вищої вологості, відбувається активніший ріст плісняви. Сухе витримування м'яса є дуже економічно витратним процесом, оскільки при такому способі визрівання м'яса відбуваються значні втрати маси, зокрема через втрату води (3 – 24%) і висихання поверхні (6 – 15%).

Кращі кулінарні властивості спостерігаються у яловичини, яка визрівала сухим способом. Згідно з різними експериментами, час витримки м'яса відрізняється, наприклад, деякі дослідники зазначають, що визрівання м'яса повинно відбуватися протягом одного до п'яти тижнів, а інші, що найпоширеніший час для визрівання яловичини становить від 14 до 40 днів, коли м'ясо набуває найкращих кулінарних властивостей. При сухому способі визрівання м'яса найбільш важливими є кілька факторів до яких належать час та температура визрівання м'яса, циркуляція та вологість повітря. Діапазон повітряного потоку повинен бути у холодильних пристроях від 0,5 до 2,0 м·с⁻¹, а швидкість повітря в діапазоні 0,2 – 1,6 м·с⁻¹ [6-7, 21]. Далі температура для короткочасного визрівання м'яса (10 – 20 днів) повинна бути між 2 – 3°C, а якщо м'ясо визріває довгостроково то оптимальна температура у холодильних пристроях становить 0,5 – 1°C. Важливим фактором, що впливає на суху витримку є концентрування смаку м'яса. Під час процесу витримки відбувається хімічний розклад жирових та білкових компонентів і всмоктування соку в м'ясо. Розклад хімічних компонентів у м'ясі відповідає за

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

інтенсивний горіхово-м'ясний смак. Під час розкладу білків одночасно відбувається розклад сполучної тканини у м'язах, що спричиняє більшу ніжність м'яса.

Сучасні камери дозрівання дозволяють точно контролювати температуру, вологість і циркуляцію повітря, оптимізуючи процес дозрівання та забезпечуючи стабільну якість. Кліматичні камери – спеціальні установки, що імітують реальні умови навколишнього середовища та є незамінними інструментами для багатьох галузей, зокрема харчової промисловості. Технології також дозволяють контролювати ключові параметри в реальному часі, забезпечуючи повну відстежуваність процесу. Завдяки розвитку технологій були створені спеціалізовані камери для дозрівання, які дозволяють точно контролювати умови навколишнього середовища, забезпечуючи отримання кінцевого продукту високої якості та стабільності [2, 10]:

- камери з контрольованим кліматом оснащені системами для регулювання температури, вологості та циркуляції повітря;
- технологія УФ та озон, бо деякі сучасні камери використовують ультрафіолетове світло та озон для стерилізації повітря, зменшуючи ризик мікробного забруднення.

Спеціальні упаковки для сухого визрівання м'яса в холодильнику на ринку відносно недовго, але завдяки своїм властивостям і простоті вони користуються все більшою популярністю та перевагою серед кінцевих споживачів. Пакети є чудовою альтернативою у сухому визріванні, але для досягнення найкращого смаку м'яса сухим способом визрівання можливе лише в холодильнику, де м'ясо можна підвісити на кістку і одночасно відбувається приплив циркулюючого повітря, яке сприяє аеробному біохімічному процесу. Упаковки використовують відомий метод дозрівання м'яса сухим способом, при якому цей метод робить смак м'яса більш ніжним і воно набуває вишуканого та смачного смаку без ризику псування [21]. На відміну від звичайної вакуумної упаковки, завдяки своїм специфічним матеріальним властивостям, оскільки вони виготовлені зі спеціальної мембрани вони пропускають повітря, водночас відводять вологу та захищають м'ясо від запахів і бактерій. Упаковки для витримки м'яса мають переваги у порівнянні з класичною сухою витримкою, коли окремі частини зручно загортають і залишають визрівати необхідну кількість часу. Найкраще залишити м'ясо в загорті в холодильнику на 14–21 день або довше при температурі 3 °С. Під час процесу витримки упаковка з м'ясом час від часу потрібно перевертати через те, що при сухій витримці утворюється шар, майже як скоринку. Якщо він темного кольору то процес сухої витримки працює.

Під час вологого дозрівання м'ясо вакуумно запечатується і зберігається в холодильнику. Метод поширений у м'ясній промисловості завдяки ефективності та збереженню соковитості. На відміну від сухого витримання м'ясо зберігає більший об'єм, створює гладку текстуру [3, 11]. Супермаркети часто обирають техніку через низьку кількість простору та спеціалізоване обладнання. Вологе дозрівання базується на вакуумному пакуванні шматків м'яса –техніка зберігає вологу і прискорює процес дозрівання. Ферменти

працюють у замкненому середовищі, що обмежує втрату ваги. Тривалість зазвичай коротша – від 7 до 15 днів. Вакуумне визрівання – це техніка, яка видаляє все повітря навколо шматка м'яса, щоб зменшити або мінімізувати ріст аеробних бактерій і таким чином уповільнити псування м'ясної сировини. Але це не просто метод консервування продуктів харчування загалом і м'яса зокрема, він також дозволяє м'ясу дозріти, мінімізуючи втрати під час обробки (поверхня не висихає, а втрати сировини контролюються) [6, 15]. Вакуумне дозрівання подовжує термін придатності м'яса, оскільки відсутність кисню запобігає окисленню жиру і, отже, розвитку небажаних запахів і присмаків. Термін придатності такої сировини залежить від температури зберігання, а також від типу використаного пакувального матеріалу (багатошарові пакети, кисневий бар'єр) та стану сировини перед пакуванням.

Час дозрівання варіюється і залежить від кількох факторів: типу м'яса (яловичина, свинина, птиця), розрізу та бажаного результату. Яловичина від 1 до 70 днів, або навіть більше для деяких конкретних технік. Пісне м'ясо зазвичай потребує коротшого періоду дозрівання, ніж жирніше. Довше дозрівання набуває більш насичених смаків і надзвичайної ніжності, але також може призвести до значної втрати ваги через випаровування [9-11]. Суха витримка виконується без упаковки, що дозволяє випаровуванню вологи та формуванню сухої скоринки, яка захищає м'ясо всередині (рис. 1.1). Процес підсилює смак і покращує ніжність але призводить до значної втрати ваги через втрату води. У процесі вологої витримки м'ясо вакуумно упаковується для збереження вологи. Хоча це більш швидкий та ефективний процес, проте смак, що розвивається є менш інтенсивним у порівнянні зі сухою витримкою.

Вакуумна упаковка забезпечує анаеробне середовище, яке усуває забруднення мікроорганізмами, значно подовжуючи термін зберігання. Метод також є економічно вигіднішим, оскільки не потрібно забезпечувати зовнішні впливи, окрім температури для дозрівання. М'ясо не пересихає в пакеті, завдяки чому воно соковите не лише після відкриття пакета, а й після термічної обробки. Сьогодні м'ясо можна придбати вакуумно, дозрілим і недозрілим тому можливо вакуумувати та залишати для визрівання при холодильній температурі у вакуумній упаковці [17]. Всі вакуумні упаковки, що використовуються для обробки або зберігання продуктів харчування, повинні бути виготовлені з матеріалу, придатного для контакту з продуктами харчування. Різні упаковки можуть використовуватися для термічної обробки, а інші тільки для зберігання. Упаковки також відрізняються залежно від використовуваного вакуумного пакувальника. Кожен вакуумний пакувальник вимагає певного типу упаковки. Для безкамерних пакувальників використовуються рифлені вакуумні пакети, натомість для камерних – гладкі пакети. Вакуумні пакети зазвичай виготовляються з двошарової плівки. Зовнішній шар виконаний з поліаміду і забезпечує міцність та стійкість до пошкоджень. Внутрішній шар виготовлений з поліетилену, який впливає на зварюваність пакету. Товщина пакетів, як правило, становить від 90 до 100 мкм.

Камерні для вакуумного пакування – пристрої, які використовуються як у малих, так і у великих підприємствах. Його перевагою порівняно з

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

безкамерними пакувальниками є можливість вакуумування рідких та сипких виробів і це завдяки регулюванню тиску в камері та тривалості зварювання. Наступною перевагою може бути застосування газу як захисної «керованої» атмосфери, якщо обладнання оснащено цією функцією. Обмежувальним фактором є розмір обладнання та його сумісність з розміром і типом обраної упаковки. Використання камерного вакуумного обладнання можна розділити на три основні фази. Додатковою проміжною фазою можна вважати насичення упаковки інертним газом. Упаковка має бути повністю без повітря, пристрій відкачує повітря з камери та з упаковки з продуктом харчування. Завдяки налаштуванню на камерному вакуумному пристрої можна впливати на ступінь всмоктування [6-7, 17]. Це особливо підходить для м'яких продуктів у яких тривале всмоктування могло б спричинити потрапляння продукту в камеру та подальше пошкодження пристрою. Крім того, саме у м'яких продуктів всмоктування могло б текстурно пошкодити продукт. Наступною фазою є запаювання, коли відкритий кінець упаковки вставляється на ущільнювальну стрічку і після проведення всмоктування упаковка запаюється залежно від товщини та матеріалу використаної упаковки обирають довжину та температуру запаювання. Останньою фазою є повторне насичення повітрям камери до досягнення значення атмосферного тиску, що також служить контролем, чи пакет добре закритий.

На сьогоднішній день це належить до найбільш використовуваного способу дозрівання м'яса. І це особливо через свою економічну невибагливість, оскільки єдиним впливом, який потрібно забезпечувати, є температура, при якій м'ясо дозріває за температури 0 – 3°C протягом 7 до 28 днів. У цьому способі дозрівання м'яса відпадає необхідність налаштування, контролю вологості та руху повітря. Дозрівання м'яса мокрим шляхом означає вакуумне пакування заздалегідь розібраних окремих частин м'яса у вакуумні пакети. Упаковка забезпечує анаеробне середовище, яке мінімізує проникнення патогенних мікроорганізмів, і таким чином продовжується його збереження [21]. Завдяки непроникним властивостям вакуумного пакету не відбувається висихання, і завдяки цьому м'ясо оптимально соковите не тільки після відкриття пакету. Техніка усуває втрату води, і тому не відбуваються втрати ваги. Недоліком цього методу є те, що тут не відбувається концентрація та виникнення глибини у смаку, так як це відбувається при сухому дозріванні, через усунення втрат води та ненакопичення цвілі на поверхні. Мокре дозрівання особливо підходить для частин м'яса, які не мають високого вмісту жиру.

1.2 Камери з контрольованим середовищем

Камера з контрольованим середовищем – це приміщення, яке ізольоване від зовнішнього середовища, де можна контролювати та змінювати різні фактори навколишнього середовища такі як температура, відносна вологість, атмосферний тиск, потік повітря та інтенсивність світла, які дозволяють контролювати та створювати різні штучні середовища в межах встановлених

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

діапазонів за допомогою різних виконавчих механізмів, що формують камеру з контрольованим середовищем [5, 8]. Камери дозрівання – це контрольоване середовище, де регулюються такі змінні, як температура (0°C до 16°C), відносна вологість і вентиляція для досягнення природного затвердіння, витримування або дозрівання, що є необхідним для отримання сировини високої якості. У таких камерах можна розміщувати об'єкти дослідження протягом певного часу з метою аналізу їхніх реакцій на вплив певного середовища, створеного всередині камери. Камери з контрольованим середовищем, крім того, що вони здатні відтворювати різні кліматичні умови, які можуть виникати в природі, шляхом контрольованого регулювання параметрів холоду, тепла та вологості, дозволяють здійснювати моделювання екстремальних умов, за допомогою генерації снігу, льоду, відтавання, конденсації та сушіння, серед іншого, разом із їхніми тепловими комбінаціями.

Найпоширеніші кліматичні камери використовуються для зміни температури та вологості повітря. Однак вони також можуть імітувати умови, відмінні від температури та вологості повітря, такі як вплив сонячного світла, вітру, вібрацій, дощу, висоти (зміна тиску), впливу пилу тощо. Індукція цих умов використовується для перевірки довговічності, надійності та функціональності різних типів обладнання. Об'єм кондиціонованого приміщення може варіюватися залежно від розмірів тестованого пристрою. Кліматична камера – це випробувальний комплекс, де проводяться прискорені випробування різних типів обладнання, завдяки чому можна аналізувати дефекти в цих пристроях і згодом усунути ці дефекти [12, 22]. Кліматичні випробувальні камери використовуються для забезпечення надійності промислових продуктів, які піддаються впливу одного або декількох кліматичних параметрів протягом певного часу.

Кліматична камера дозволяє змінювати кліматичні умови, зокрема зміну температури та зміну вологості повітря. Вони часто містять аналоговий вихід, цифровий вихід або відеоекран з результатами тестів. Деякі кліматичні камери піддають випробувані деталі температурам і вологості в заданому діапазоні, а також їх змінам, інші контролюють викиди з пристроїв, таких як двигуни внутрішнього згорання, за строго визначених кліматичних умов. Також виготовляються камери для електродинамічних і механічних випробувань вібрацій машинного обладнання. Ще один тип кліматичних камер – це камери для вимірювання корозії, які контролюють вплив змінних умов, таких як температура, вологість, соляний та дощовий туман. Параметри, які використовуються для визначення продуктивності кліматичних камер [22]:

- температурний діапазон та швидкість зміни температури за одиницю часу;
- точність регулювання температури (вказується в градусах або у відсотках);
- вологісний діапазон та швидкість зміни відносної вологості за одиницю часу;
- точність регулювання вологості (вказується у відсотках);
- ємність камери (об'єм камери, доступний для тестування продуктів).

Камера з контрольованим середовищем може мати дуже маленький або дуже великий розмір, все залежить від типу застосування, яке буде здійснюватися та від розміру і кількості зразків з якими будуть працюватися. Камери з контрольованим середовищем дозволяють проводити лабораторні випробування різних типів матеріалів, систем і приладів, а також визначати стійкості продуктів, серед інших застосувань, під впливом різних кліматичних умов холоду, тепла та вологості [5, 13-14]. У кліматичних випробуваннях дуже важливим є елемент, який буде піддаватися випробуванню, оскільки він визначатиме тип камери, яку слід використовувати. Найважливіші характеристики на які слід звертати увагу – це сфера застосування та розмір, однак, залежно від розмірів зразка, камера для використання буде змінюватися. Кліматичні камери або камери з контрольованим середовищем не всі однакові і не призначені для одного і того ж застосування.

Кліматична камера використовується для різних видів випробувань, таких як оцінка прототипів, тестування під час науково-дослідних робіт та розробки, випробування під час виробництва, прискорене навантажувальне тестування, тестування надійності, аналіз відмов та інші випробування, де потрібна кліматична симуляція. Камера може імітувати практично будь-які кліматичні умови, такі як температура, вологість, висота над рівнем моря (зміна тиску), вібрації, сонячне випромінювання, вітер, дощ, пил тощо. Під час розробки продуктів важливо, щоб виробники могли локалізувати дефекти продуктів ще до того, як продукти потраплять на ринок. Тестування продуктів у кліматичній камері дозволяє [22]:

- зменшити необхідний час на розробку продукту;
- забезпечення якості продукції та надійності;
- передбачити термін служби продукту;
- зменшити витрати;
- зменшити частоту несправностей продукту.

Камера витримки м'яса – це водонепроникна шафа, яка покращує текстуру та смак м'яса, а також дозволяє контролювати циркуляцію повітря, вологість і температуру всередині. Камери існують відповідно до певних стандартів, які відрізняються за обсягом, що вони обробляють, типом джерела світла та випромінювання, яке вони використовують, часом експозиції, кількістю випромінювання, типами зразків та сенсорів, які вони використовують, серед багатьох інших характеристик. Таким чином досягається отримання надійних та точних результатів при використанні цих камер для певного застосування [5, 8]. Існує багато камер з контрольованим середовища, які зосереджуються на певному застосуванні або випробуванні, але, як правило, існують два типи камер, які залежать головним чином від об'єму зразка, який буде підданий випробуванню та від розташування або умов приміщення, де буде встановлена ця камера. Кліматична камера – це сучасний замкнений простір, який створений для імітації та регулювання різноманітних кліматичних умов. У кліматичній камері можна контролювати зміни температури, вплив вологості, вплив світла та теплові навантаження. Вони можуть функціонувати у двох режимах: постійний, який підтримує стабільні

умови протягом часу і динамічний, що включає змінні умови протягом усього процесу роботи [4]:

Камери з постійним кліматом розроблені для підтримки стабільних умов протягом тривалих періодів (рис. 1.1). Камери забезпечують точне регулювання температури, вологості та інтенсивності світла, необхідні для надійності харчових процесів. Камери з постійним кліматом дозволяють проводити детальний моніторинг і збирати дані, що дозволяє здійснювати аналіз деградації продукції, точки відмови компонентів і стійкість до навколишнього середовища під постійним впливом.

Динамічні кліматичні камери розроблені для швидких змін температури середовища, таких як теплові удари та швидкі коливання вологості (рис. 1.2). Камери оснащені для піддавання зразків інтенсивним циклічним умовам – критично важливим для термічного циклу. Точний контроль швидкостей нарощування та часу перебування дозволяє точно оцінювати продуктивність продукту в реальних операційних напруженнях.



Рисунок 1.1 – Камера з постійним кліматом



Рисунок 1.2 – Динамічна кліматична камера

Обладнання з контрольованою температурою та відносною вологістю широко використовується, оскільки має широкий спектр застосувань, включаючи витримку м'яса [3, 5]. Більшість камер виготовлені з алюмінію та нержавіючої сталі, щоб уникнути корозії, а також повинні мати герметичне ущільнення для збереження внутрішніх умов камери, тоді як зовні вони оснащені цифровим контролем, який здійснює моніторинг і контролює умови температурного та вологісного режиму, ефективно виконуючи свою функцію. Необхідна температура підтримується за допомогою системи охолодження, яка відводить тепло від м'яса, зберігаючи його при відповідній температурі. З іншого боку, відносна вологість забезпечується через генератор пари, таким чином гарантується потрібне середовище.

Вибір відповідної камери для кліматичних випробувань є критично важливим кроком для розробки продукту, забезпечення якості. Ключові фактори, які слід враховувати, включають тип зразка, цільові параметри

(наприклад, контроль температури та вологості) [5, 12-14]. Камери з контрольованим середовищем проєктуються відповідно до кожного застосування, враховуючи основні змінні, такі як: охолоджувальна потужність, нагрівальна потужність, здатність до зволоження, розміри камери, компактний або знімні панелі, маса, що підлягає обробці, збереженню або випробуванню; тепловиділення вмісту та додаткові змінні. Контрольовані середовища є дуже корисними, оскільки вони полегшують отримання продукту в умовах, відмінних від звичайних і протягом різних кліматичних сезонів, оскільки дозволяють відокремити внутрішній клімат від зовнішнього.

Компактні камери – камери, розроблені для обробки зразків малого та середнього розміру з хорошою термоізоляцією. Вони контролюють вологість та температуру в широкому діапазоні та виготовляються з немагнітних матеріалів. Тип камер з контрольованим середовищем є стандартизованою моделлю зі здатністю зберігання від 81 до 2000 літрів.

Камери великого розміру – це закриті приміщення, розміри якого дозволяють доступ як людей так і великого обладнання або мас з можливістю пересування всередині. Тип камер дозволяє створювати всередині різні кліматичні умови з метою проведення кондиціонування, обробки, випробувань та досліджень обладнання і систем в контрольованих умовах навколишнього середовища різні речовини та маси, оскільки панелі, що їх утворюють, забезпечують достатню теплову ізоляцію та герметичність [5, 22]. Тип камер контрольованого середовища використовується для проведення кліматичного кондиціонування великих мас, екологічних симуляцій, термічних обробок, збереження та заморожування продуктів, випробувань контролю якості та досліджень, характеризується оптимізованою теплоізоляцією, міцністю та стабільністю, легкістю монтажу та демонтажу, герметичністю, конструкцією, що витримує корозію для виконання множинних конфігурацій завдяки її конструкції, за допомогою знімних модульних панелей. Звичайний діапазон вологості становить від 10 до 90% відносної вологості, а звичайний діапазон температур – від -60 до +95°C.

Розглянемо види кліматичних камер:

Теплова камера регулює температуру і досліджує впливи на продукт у межах температурних умов. Циклювання температури може виконуватися в поєднанні зі зміною вологості, висоти та вібрації. Теплові камери дозволяють перевірити вплив підвищеної температури повітря на обладнання та матеріали. Теплові камери з прямим нагріванням підходять лише для простих кліматичних випробувань з невеликими виробами у яких не потрібно відстежувати зміни їхніх властивостей безпосередньо у випробувальному кліматі. Теплові камери, які містять обладнання для примусової циркуляції повітря, забезпечують однорідність середовища в усьому робочому просторі [22, 28]. Вологісна камера регулює вологість і досліджує вплив цієї вологості на продукт у межах вологісних умов. Тестування вологості може проводитися або зі зміною температури або без зміни температури. У вологісних камерах підтримується постійна відносна вологість повітря при постійній температурі. Вологісні камери дозволяють відносно легко перевірити вплив підвищеної вологості

повітря на матеріали та технічні пристрої.

Настільна випробувальна камера – ці камери використовуються насамперед у випадках, коли доступно небагато місця або у випадках, коли необхідно тестувати невеликі предмети. Для цих камер характерні невеликі розміри, мала вага, низький рівень шуму та можливість однофазного підключення 230 В. Виробляються з внутрішнім об'ємом приблизно 160 літрів. Настільні випробувальні камери дозволяють регулювати температуру та вологість. Температурний діапазон зазвичай від досить великий, а діапазон вологості зазвичай від 10% до 95% [8, 22, 28]. Камери підходять для тестування дрібніших виробів, таких як комп'ютерні компоненти, автомобільні датчики та поєднують хорошу продуктивність при невеликих розмірах.

Теплова шоківна камера навантажує випробовуваний зразок температурним шоком, що означає, що деталь піддається швидким змінам температури (до 10 секунд) у температурному діапазоні від -80 до +220°C. Випробувальне обладнання, що дозволяє визначати властивості матеріалів, поведінку виробів та пристроїв при швидкій зміні навколишніх температур. Теплові шоківні камери мають кілька (дві-три) повністю відокремлених окремих температурних зон. Швидкість переходу між зонами визначається механічною зміною положення між випробувальними приміщеннями [22, 28]. Існують два основні типи шоківних камер:

- тип повітря-повітря – це двозонна камера у якій випробовуваний зразок переміщується між гарячою та холодною частинами за допомогою спеціального підйомника;

- тип рідина-рідина – камера обладнана гарячою та холодною ваннами, між якими зразок переміщується за допомогою спеціальної корзини.

Вібраційна камера – камери мають знімні підлоги і сумісні з різними електродинамічними вібраторами, які можуть генерувати коливання в горизонтальному та вертикальному напрямках. Тестований зразок піддається зміні температури та вологості у поєднанні з вібраціями. Вібраційні випробувальні системи дозволяють проводити перевірку довговічності виробу в умовах його передбачуваного використання, стійкості під час перевезення або для виявлення можливих інших дефектів за допомогою вібрацій або їх поєднання зі змінами кліматичних умов [13, 22, 28]. Соляні корозійні камери – камери, які створюють тестове середовище з високим вмістом солі з дуже високою вологістю та зазвичай з підвищуючоюся температурою. Тестовані зразки таким чином піддаються постійному впливу високо корозійного соляного туману.

Циклічні корозійні камери – цей тип камер здатний створювати різні корозійні середовища, які потім комбінуються і формують тестовий цикл, що імітує реальні корозійні умови. Зазвичай камери такого типу здатні виробляти соляний туман (так само, як і соляні камери), сушку повітрям (без або з контрольованою вологістю) та середовище з насиченою вологістю. Існує можливість створювати інші типи тестового середовища за допомогою додаткового обладнання. Усі середовища можна програмувати так, щоб вони поступово з'являлися в тестовій послідовності будь-якої тривалості при будь-

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

кій температури та для будь-якої кількості циклів.

На основі вище зазначеного можна вважати, що дозрівання та сушіння можуть вважатися найдавнішою формою збереження сирової сировини. Поліпшення якості та збереження продуктів харчування за допомогою мікробного дозрівання є давньою стратегією, яка еволюціонувала для виробництва сучасних функціональних ферментованих харчових продуктів. Ферментація – процес, що відбувається в продукті під дією ферментів, переважно мікробного походження. Результатом цих процесів (біохімічних реакцій) є утворення речовин, які впливають на процес поступової трансформації продукту у кінцеву фазу.

Зазначено, що дозрівання – це складний процес, який включає значні зміни текстури, кольору, смаку, запаху, метаболізму поживних речовин та інших якісних характеристик, що зрештою робить сировину привабливою та їстівною для споживачів. Дозрівання м'яса – це процес приготування м'ясної сировини для споживання шляхом витримки з метою покращення текстури та смаку. Витримка дозволяє м'ясу проходити через різні стадії, де природні ферменти та інші біохімічні процеси розм'якшують м'язові волокна та розвивають смак.

Існує два основних способи витримки яловичини – сухе та вологе витримання. Сухе витримання – традиційний метод, який полягає у підвішуванні шматків м'яса в холодній кімнаті при контрольованій температурі та вологості. Вплив повітря дозволяє поступово випаровувати поверхневу воду, концентрувати смаки та формувати характерну скоринку. Сучасні камери дозрівання дозволяють точно контролювати температуру, вологість і циркуляцію повітря, оптимізуючи процес дозрівання та забезпечуючи стабільну якість. Вологе (вакуумне) визрівання – це техніка, яка видаляє все повітря навколо шматка м'яса, щоб зменшити або мінімізувати ріст аеробних бактерій і таким чином уповільнити псування м'ясної сировини.

Камера з контрольованим середовищем – це приміщення, яке ізольоване від зовнішнього середовища, де можна контролювати та змінювати різні фактори навколишнього середовища такі як температура, відносна вологість, атмосферний тиск, потік повітря та інтенсивність світла, які дозволяють контролювати та створювати різні штучні середовища в межах встановлених діапазонів за допомогою різних виконавчих механізмів, що формують камеру з контрольованим середовищем. Камера витримки м'яса – це водонепроникна шафа, яка покращує текстуру та смак м'яса, а також дозволяє контролювати циркуляцію повітря, вологість і температуру всередині. Вони можуть функціонувати у двох режимах: постійний, який підтримує стабільні умови протягом часу і динамічний, що включає змінні умови протягом усього процесу роботи:

– камери з постійним кліматом розроблені для підтримки стабільних умов протягом тривалих періодів, забезпечують точне регулювання температури, вологості та інтенсивності світла, необхідні для надійності харчових процесів;

– динамічні кліматичні камери розроблені для швидких змін температури середовища, таких як теплові удари та швидкі коливання вологості.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

РОЗДІЛ 2

ОПТИМІЗАЦІЯ КАМЕРИ ДОЗРІВАННЯ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ

2.1 Взаємодія систем камери дозрівання м'яса

Кліматичні камери – це пристрої, які дозволяють точно моделювати параметри які використовуються для забезпечення надійності промислових продуктів, які піддаються впливу одного або кількох кліматичних змінних протягом певного часу. Передбачається, що кліматичні камери містять точні вимірювальні прилади для контролю вологості та температури повітря. Часто вони містять аналоговий вихід, цифровий вихід або відеодисплей з результатами моніторингу [12, 28]. Деякі кліматичні камери піддають випробувані компоненти температурам і вологості в заданому діапазоні та також їх змін, інші контролюють викиди зі пристроїв, таких як двигуни внутрішнього згорання, за строго встановлених кліматичних умов. Також виробляються камери для електродинамічних та механічних випробувань вібрацій машинного обладнання. Іншим типом кліматичних камер є камери для вимірювання корозії, які контролюють вплив змінних умов, таких як температура, вологість, соляний туман і дощовий туман.

Камери дозрівання – це контрольоване середовище, де регулюються такі змінні, як температура (0°C до 16°C), відносна вологість і вентиляція для досягнення природного витримування або дозрівання, що є необхідним для отримання сировини високої якості. Більшість кліматичних камер мають однакову конструкцію та виконання. Вони складаються з камери для технологічного процесу, джерел тепла (охолоджувачі та нагрівачі), джерел вологості (зволожувачі та осушувачі) і регулюючого обладнання. Потік повітря керується окремими кліматичними блоками (охолоджувач, нагрівач, зволожувач, осушувач), які в камері створюють примусову циркуляцію повітря. Основні системами камери для дозрівання м'яса [12-14, 28]:

- система охолодження забезпечує основний робочий режим для сухого дозрівання м'яса, підтримуючи температура від +1°C до +3°C;
- система нагрівання необхідна для точної стабілізації температури, якщо зовнішнє середовище занадто холодне, а також для активації деяких етапів процесу дозрівання;
- система зволоження відповідає за нагрівання води до точки кипіння шляхом передачі тепла від нагрівального елемента до рідини;
- система вентиляції забезпечує циркуляцію повітря всередині обладнання, задля однорідного розподілу повітря в певній зоні, а також допомагає підтримувати рівномірні умови як відносної вологості так і температури всередині камери.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення обладнання для дозрівання м'ясної сировини			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.	Ломака									20	21
Перевір.	Цвіркун										
Н. Контр.	Омельченко									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО	
Затверд.	Цвіркун										

Варіанти розташування окремих компонентів камери для дозрівання м'яса наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розташування окремих компонентів камери для дозрівання м'яса [23]

Конфігурація	Характеристика
1	Варіант має паралельно з'єднаний нагрівач з охолоджувачем та зволожувач з осушувачем. Потік повітря до окремих блоків направляють напрямні заслінки відповідно до необхідної операції. Рух повітря забезпечується двома вентиляторами. Недоліком такого розташування є необхідність використання напрямних заслінок.
2	Варіант має всі блоки розташовані послідовно один за одним. Потік повітря через так розташовані блоки забезпечується двома вентиляторами. Залежно від необхідної операції в роботі перебувають окремі кліматичні блоки. Наприклад, якщо необхідно підігріти та зволожити повітря в роботі буде нагрівач та зволожувач. Недоліком послідовного розташування кліматичних блоків є повільна зміна характеру обробки повітря. Наприклад, якщо повітря спочатку підігрівається, а потім охолоджується, може трапитися втрата. Втрати виникають через те, що після вимкнення нагрівання корпус нагрівача залишається гарячим. Тому потрібно подавати більшу охолоджувальну потужність від охолоджувача, що призводить до подовження загального часу охолодження, порівняно з випадком, коли контур охолодження та нагрівання розділений, як показано у варіанті 1.
3	Варіант має всі кліматичні блоки, які розташовані послідовно один за одним. Різниця між варіантом 2 і варіантом 3 полягає в тому, що в цьому варіанті охолоджувач і осушувач об'єднані в один блок. Конфігурацію можна використовувати в тих випадках, коли осушування відбувається за принципом вологого охолодження (відбувається конденсація). Потік повітря через кліматичні блоки забезпечується вентиляторами. Перевагою цього варіанту є те, що охолоджувач і осушувач об'єднані в один блок. Недоліком є повільна зміна характеру обробки повітря, як описано у варіанті 2.

Узагальнена схема систем камери дозрівання м'яса, що дозволяє здійснювати керування зміною температури та відносної вологості повітря наведено на рисунку 2.1. Обробка повітря (охолодження/нагрівання та зволоження/осушення) відбувається поза робочим простором кліматичної камери. Потік повітря через окремі кліматичні блоки (охолоджувач, нагрівач, зволожувач та осушувачі) керується за допомогою вентиляторів, які створюють примусову циркуляцію повітря в камері.

Обладнання для визрівання – це промислова установка в якій зберігають і

ферментують м'ясні шматки протягом відповідного часу залежно від розрізу та типу, які пізніше будуть реалізовані. В процесі оптимізації обладнання слід враховувати:

- систему охолодження;
- систему нагрівання;
- систему контролю.

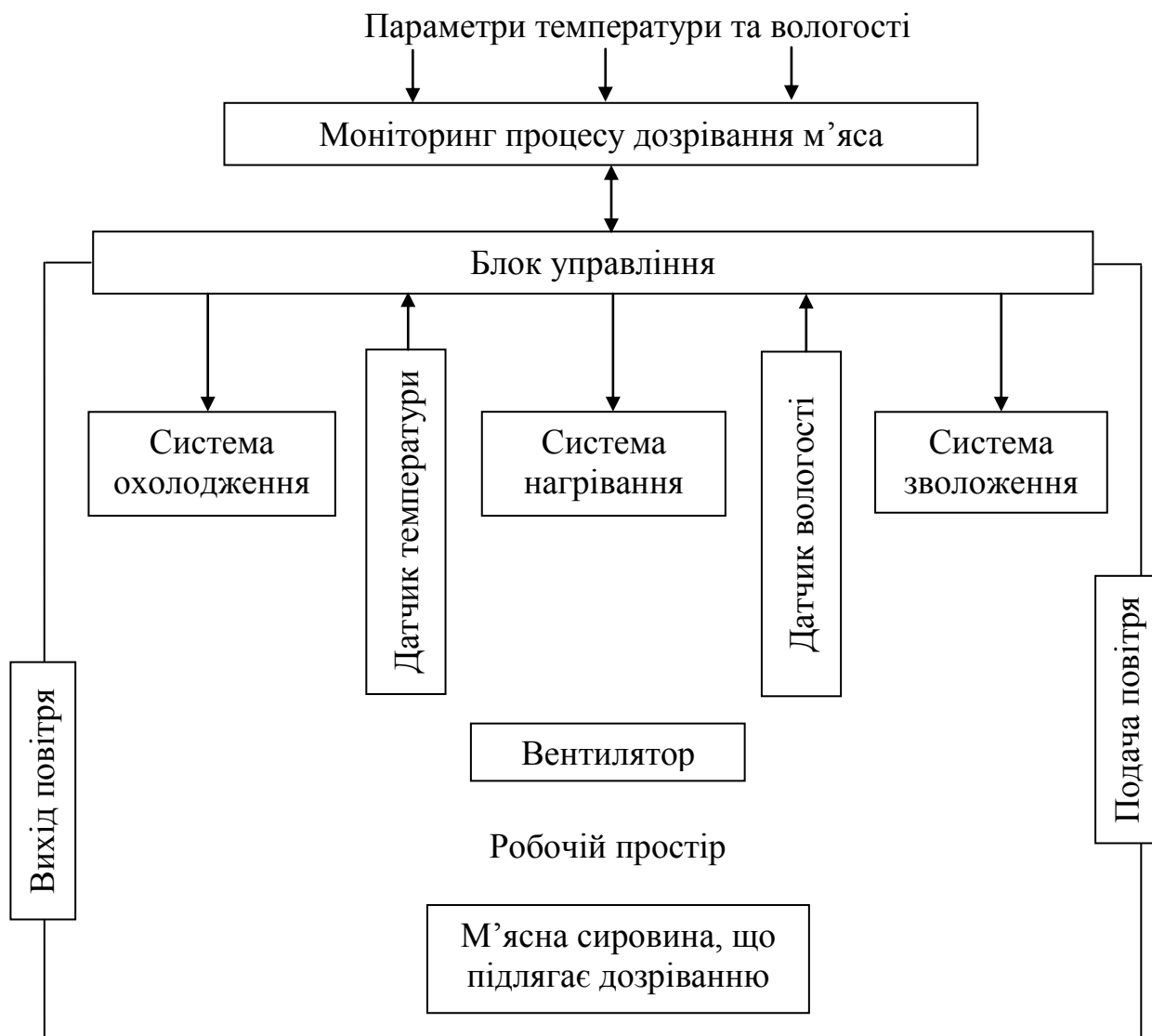


Рисунок 2.1 – Узагальнена схема систем камери дозрівання м'яса

Доцільно розмістити всі компоненти системи камери для дозрівання м'яса послідовно один за одним, об'єднавши охолоджувач та осушувач в один блок для точного та одночасного контролю температури та вологості, бо при сухому дозріванні ці два параметри є критично залежними один від одного. Осушувач в камері для дозрівання м'яса – це кліматичний прилад, який видаляє надлишкову вологу з повітря для підтримки строго заданого рівня відносної вологості. Конфігурацію можна використовувати в тих випадках, коли осушування відбувається за принципом вологого охолодження (відбувається конденсація). Оптимізація забезпечить:

– ефективне видалення вологи, бо охолоджувач знижує температуру повітря, через що волога природним чином конденсується на його холодних елементах (випарнику), цей конденсат виводиться виконуючи функцію осушувача;

– мінімізація втрати ваги м'яса, бо якщо вологість впаде занадто низько м'ясо висохне дуже швидко, що призведе до втрати якості сировини;

– ефективне застосування простору камери для дозрівання, бо один агрегат займає менше місця всередині камери, залишаючи більше простору для м'ясної сировини.

При розмірі обладнання для визрівання слід враховувати різні фактори, які дозволять здійснити правильний розрахунок, серед яких основні:

– простір, який займатиме продукт;
– метод ферментації та зберігання;
– конструкція має 2 піддонів, які будуть підтримувати 13 шматків м'яса протягом приблизно 14–35 днів з приблизною вагою 1,5 кг кожен.

– у камері для визрівання м'яса можна зберігати загалом 24 кг.

Об'єм лотка [3]

$$V = (2 \times 520 \times 450) \text{ mm}$$

$$V = 468000 \text{ mm}^3 \rightarrow 468 \text{ m}^3$$

Товщина лотка

$$D = \frac{21,83 \text{ Kg}}{468 \text{ m}^3}$$

$$D = 0,0466 \text{ kg/m}^3$$

Площа піддону [3]

$$A = (520 \times 450) \text{ mm}$$

$$A = 234000 \text{ mm}^2 \rightarrow 234 \text{ m}^2$$

Припускаючи, що в області підносу існує конфігурація з 2 рядків і 3 стовпців (6 шматків м'яса на підносі), маємо ширину та довжину

Мінімальна довжина

$$L = (60 \text{ mm}) \times 3$$

$$L = 180 \text{ mm}$$

Мінімальна ширина [3]

$$A = (212 \text{ mm}) \times 2$$

$$A = 424 \text{ mm}$$

Необхідна площа піддона в камері визрівання. Рекомендується, щоб продукти зберігання мали вільний простір для циркуляції повітря, який складає 10% від загальної площі передньої частини продукту

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_{\min}=1,15\times(180\text{ mm})=207\text{ mm}$$

$$A_{\min}=1,15\times(424\text{ mm})=487,6\text{ mm}$$

$$A=100933,2\text{ mm}^2=100,93\text{ m}^2$$

Конструкція лотків відповідає

$$234\text{ m}^2 > 100,93\text{ m}^2$$

Частково надмірність пояснюється тим, що, можливо не завжди мають порції однакої ваги, тому важливо мати вдвічі більше необхідного простору.

Камера з контрольованим середовищем повинна мати джерело холоду, джерело тепла та освітлювальну панель, щоб можна було отримати умови температури, вологості та освітленості, які імітують природне середовище. Зазвичай джерелом холоду є система кондиціонування повітря, керована термостатом, а джерело тепла складається з набору електричних резисторів достатньої потужності. Обидві системи потребують вентиляційної системи, яка рівномірно розподіляє повітря. Системи нагрівання та охолодження в камері дозрівання потрібні для точного контролю температури, яка безпосередньо впливає на процеси дозрівання м'ясної сировини. Основні компоненти обладнання для дозрівання м'яса наведено на рисунку 2.2, таблиця 2.2.

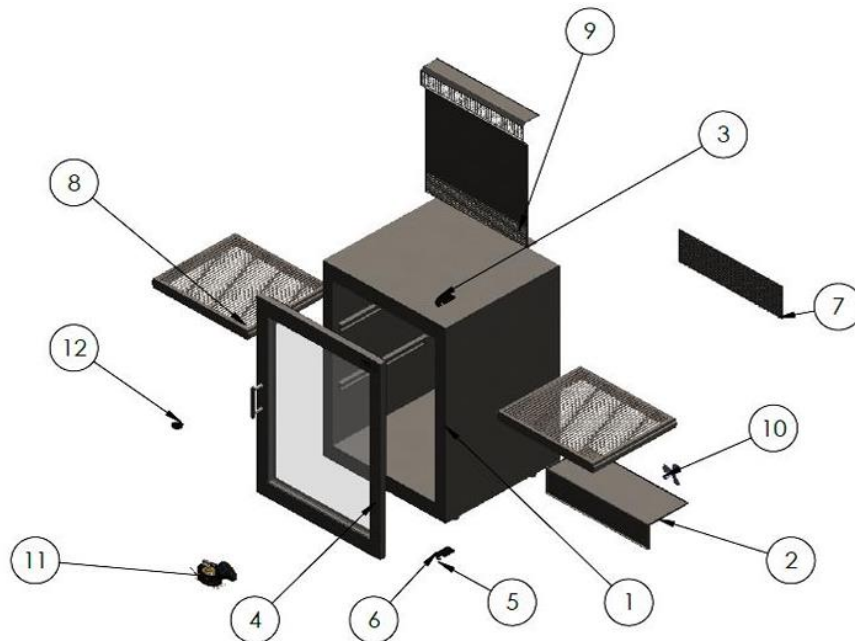


Рисунок 2.2 – Основні компоненти обладнання

Таблиця 2.2 – Характеристика основних компонентів обладнання

Позиція	Компонент	Характеристика
1	Корпус обладнання для дозрівання	Геометрична конфігурація обладнання в цілому з 4 адаптаціями для розміщення лотків та 4 підставками

Продовження таблиці 2.2

2	Корпус для компресора	Простір, призначений для розміщення компресора та системи охолодження
3	Верхній шарнір	Розташований у верхньому правому куті корпусу дозрівання
4	Зібрані двері	Комплект, що складається з 3 деталей, а саме: – дверна рама; – 2 скла товщиною 4 мм; – ізоляційна гума.
5	Кріплення	Діаметр: 6 мм Довжина: 5 мм
6	Нижня петля	Розташована в нижньому правому куті обладнання для дозрівання
7	Сітка компресора	Розташована в нижній задній частині корпусу
8	Зібраний лоток	Збірка обох лотків, що складається з 2 частин: – знімний лоток; – адаптований лоток
9	Вентиляційний короб	Розташований у внутрішній частині охолоджувальної камери та місці, де відбувається рециркуляція повітря
10	Вентилятор	Розташований у нижній частині обладнання
11	Компресор	Розташований всередині корпусу компресора
12	Зволожувач повітря	Розташований у верхній частині обладнання для дозрівання.

2.2 Система охолодження

Охолодження відбувається, коли тепло переноситься з одного місця в інше за допомогою застосування відповідного холодоагенту в закритій системі. Метою охолодження є видалення тепла з об'єкта або речовини та підтримання його на встановленій температурі, яка є нижчою за температуру навколишнього середовища. Процес базується головним чином на першому та другому законах термодинаміки, які стверджують, що енергія не створюється і не знищується, тобто енергія не зникає без того, щоб була зафіксована її зменшення в іншій формі [3, 5, 27]. Охолодження – це процес за допомогою якого можна отримати та підтримувати місце ізольованим за температури нижчої, ніж у навколишньому середовищі, що можливо завдяки поглинанню або видаленню тепла з приміщення, рідини або продукту, який бажано охолодити від рівня з низькою температурою до більш високого. Таке видалення або поглинання досягається завдяки холодильним системам або системам охолодження.

Розрізняють два основні принципи охолодження повітря. Сухе охолодження та вологе охолодження (залежно від того, чи відбувається конденсація, чи ні). Під час сухого охолодження не відбувається конденсації водяної пари, оскільки поверхнева температура теплообмінника вища за температуру точки роси. Температура точки роси – це температура при якій починає конденсуватися водяна пара з повітря, тобто температура при якій повітря насичене. Температура точки роси різна для різної абсолютної вологості (маса водяної пари на одиницю об'єму вологого повітря). Чим вища абсолютна вологість, тим вища температура точки роси і навпаки. Оскільки при сухому охолодженні не відбувається конденсація водяної пари то питомий вміст вологи під час охолодження залишається сталим [23]. При вологому охолодженні відбувається конденсація водяної пари, поверхнева температура охолоджувача нижча за температуру точки роси. Оскільки відбувається конденсація водяної пари то змінюється також питома вологість повітря.

Об'єм та площа внутрішньої частини охолоджувальної камери. Щоб отримати об'єм та площу камери охолодження зсередини, її аналізують частинами, оскільки площа не є симетричною.

Загальна внутрішня площа обладнання [3]

$$A_1 = (580 \times 220) \text{ mm}$$

$$A_1 = 127600 \text{ mm}^2 \rightarrow 127,6 \text{ m}^2$$

$$A_2 = (580 \times 370) \text{ mm}$$

$$A_2 = 214600 \text{ mm}^2 \rightarrow 214,6 \text{ m}^2$$

$$A = 127600 \text{ mm}^2 + 214600 \text{ mm}^2$$

$$A = 342200 \text{ mm}^2 \rightarrow 342,2 \text{ m}^2$$

Загальний внутрішній об'єм обладнання [3]

$$V_1 = (580 \times 220 \times 720) \text{ mm}$$

$$V_1 = 91872000 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,091872 \text{ m}^3$$

$$V_2 = (580 \times 370 \times 120) \text{ mm}$$

$$V_2 = 25752000 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,025752 \text{ m}^3$$

$$V = 91872000 \text{ mm}^3 + 25752000 \text{ mm}^3$$

$$V = 117624000 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,117624 \text{ m}^3$$

Види повітряних охолоджувачів [23]:

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

– водяні охолоджувачі – це теплообмінники вода-повітря (мідні трубки з алюмінієвими пластинами). Найчастіше їх виготовляють типу пластинчастих (мідні трубки і алюмінієві пластини), багаторядні (зазвичай двох- до п'ятирядні). Теплоносієм є вода або незамерзаюча рідина.

– прямі випарники – це теплообмінники холодоагент-повітря. Перед прямим випарником розміщується дросельний вентиль. Холодоагент, який впорскується у випарник, випаровується і через стінки випарника забирає тепло з охолоджуваного простору. Випарники досягають вищої холодинної потужності і можуть досягати низьких температур. Однак вони схильні до замерзання, і їхню потужність важко регулювати. Холодоагент – це хімічна речовина або суміш речовин, яка використовується в холодинному контурі. Він забирає тепло під час фазових переходів із газоподібного стану у рідкий і назад. Під час випаровування холодоагент приймає теплоту фазового переходу з охолоджуваного простору, а під час конденсації він віддає це тепло в іншому місці холодинного контуру.

Системи охолодження засновані на використанні зворотного циклу Карно за допомогою адаптацій та пристроїв, які дозволяють обмінюватися теплом між двома або більше тілами. Тепло завжди передається від високої температури до іншого тіла з нижчою температурою, тому в будь-якій системі охолодження потрібен ізоляційний матеріал, щоб зберегти температуру охолодженого об'єкта якомога довше від зовнішньої температури, яка зазвичай є вищою, запобігаючи мінімальному теплообміну [3, 5]. Системи охолодження відповідають механічним пристроям, які використовують термічні властивості динаміка матерії для передачі теплової енергії у формі тепла між двома або більше джерелами, відповідно до потреби. Застосовуються для зниження температури продукту, що зберігається у холодинних камерах або камерах охолодження.

Існують два типи систем охолодження: охолодження за допомогою компресії та охолодження за допомогою абсорбції, системи, які відрізняються одна від одної, головним чином, за типом споживаної енергії, оскільки в той час як система охолодження за допомогою компресії споживає механічну енергію, система охолодження за допомогою абсорбції споживає теплову енергію [3, 5]. Існує кілька циклів, що використовуються в промисловості, найпоширенішим є цикл з оборотом пари за допомогою поршнів, що дозволяє здійснювати процеси конденсації та випаровування холодоагенту, дозволяючи йому змінювати фазу. З іншого боку, існують охолоджувальні цикли за допомогою газу, абсорбційні, каскадні та із використанням термоелектричних матеріалів, де створюється через протікання напруги двома матеріалами з різними характеристиками.

У циклі охолодження за допомогою стиснення рідина, яка випаровується при постійному тиску, забезпечує засіб для поглинання тепла при низькій постійній температурі. Утворений пар стискається до більш високого тиску, а потім охолоджується і конденсується з виділенням тепла на вищому рівні температури. Рідина з конденсатора повертається до свого первісного тиску через процес розширення. Цикл охолодження за допомогою механічного стиснення складається з чотирьох основних компонентів: випарника,

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компресора, конденсатора та розширювального пристрою (рис. 2.3).

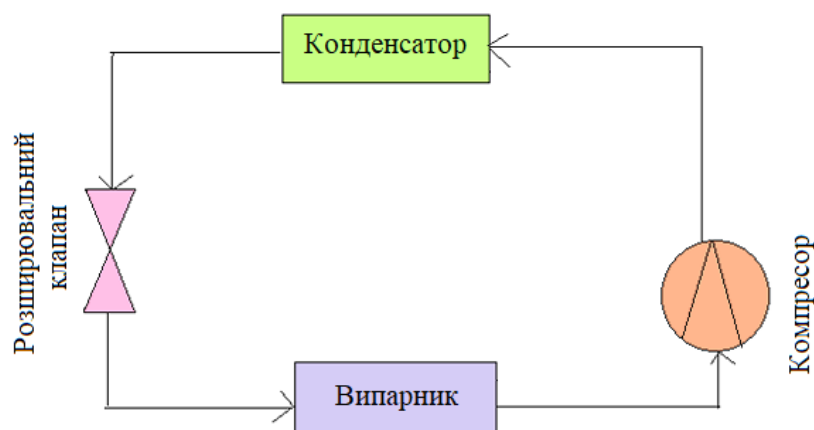


Рисунок 2.3 – Холодинний цикл

Випарник – це пристрій у якому холодоагент у рідкому стані поглинає тепло під час випаровування і саме ця зміна фази призводить до охолодження всередині камери, іншими словами, його робота полягає у відведенні тепла з навколишнього середовища для забезпечення охолодження. Раніше використовувалися випарники із гладких трубок, які були неефективними, наразі існують інші системи, такі як використання труб із ребрами або елементів із пластинами, що допомагають теплопередачі. Ефективність випарника збільшується, якщо до системи вводиться вентилятор [3, 5, 19]. Випарник – це теплообмінник, розташований усередині приміщення, яке потрібно охолодити, у який холодоагент входить у рідкому або переважно рідкому стані під низьким тиском і, відповідно, при низькій температурі кипіння. При зіткненні зі стінками випарника він починає випаровуватися з подальшим поглинанням тепла. Поглинання викликає охолодження стінок випарника і охолодження оточуючого його середовища. На виході з випарника отримується холодоагент у вигляді пари під низьким тиском, який «навантажений» тепловою енергією, поглинутою стінками цього пристрою та навколишнім середовищем.

Холодоагентна пара потрапляє до компресора, де він стискається до високого тиску. Тиск повинен бути нижчим за критичний тиск холодоагенту, але водночас достатньо високим, щоб дозволити конденсацію холодоагенту при температурі трохи вищій за температуру навколишнього повітря. Це стиснення відбувається при постійній ентропії. У міру збільшення тиску холодоагенту підвищується і його температура і він перегрівається, а перегріта пара подається до конденсатора. Температура кипіння випарника має бути нижчою за температуру охолоджуваного простору приблизно становить 6°C [3, 26]

$$T_{\text{camara}} = 1^{\circ}\text{C}$$

$$T_v = T_{\text{camara}} - 6^{\circ}\text{C}$$

$$T_v = 1^\circ\text{C} - 6^\circ\text{C}$$

$$T_v = -5^\circ\text{C}$$

Конденсатор – теплообмінник через який видаляється тепло продуктів, яке поглинув холодоагент, і воно передається до середовища, яке має нижчу температуру. Кількість тепла, що виділяється в навколишнє середовище, подібна до тієї, що було поглинуто в випаровувачі, плюс тепло, отримане від входу стиснення. Холодоагент переходить зі стану пари в рідкий стан, оскільки відбувається конденсація. Другий теплообмінник – основна оболонка всередині системи, яка здійснює конденсування холодоагенту під високим тиском, що надходять від компресора. Конденсація цих парів означає перетворення їх у рідину і для цього необхідно відвести від них тепло, тобто охолодити. Тепло, видалене з парів холодоагенту в цьому елементі, є тим самим теплом, яке було поглинуте в випарнику, плюс невелика кількість, додана холодоагенту через роботу компресора [3, 5, 20]. Тепло, витягнуте з холодоагенту, передається навколишньому середовищу, шляхом охолодження цього елемента за допомогою води або повітря. На виході з конденсатора маємо рідкий холодоагент під високим тиском. Рідина-холодоносія під високим тиском надходить далі до розширювального клапана, який відповідає за зниження тиску рідини-холодоносія, що надходить із конденсатора та подачу її до випарника як рідини під низьким тиском, таким чином цикл починається знову. У деяких випадках він діє як регулятор, контролюючи кількість рідини, що надходить до випарника.

Для вибору конденсатора для обладнання для визрівання спочатку потрібно визначити тепловий перепад, який у цьому випадку становитиме 15°C , а навколишнього середовища 14°C [3]

$$T = 14^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{con}} = T + 15^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{con}} = 14^\circ\text{C} + 15^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{con}} = 29^\circ\text{C}$$

Масовий потік охолоджуючої речовини

$$\dot{m} = \frac{0,2202 \text{ kW}}{173,94 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\dot{m} = 0,001266 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Тепло відведене конденсатором [3]

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$\dot{Q}_{\text{con}} = 0,001266 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left(233,13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 420,59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\dot{Q}_{\text{con}} = - 0.2373 \text{ kW} \rightarrow - 237,324 \text{ W}$$

Тепло отримане в випарнику [3]

$$\dot{Q}_v = 0,001266 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left(400,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 226,08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\dot{Q}_v = 0,2204 \text{ kW} \rightarrow 220,436 \text{ W}$$

$$Q_{\text{con}} = 0,2202 \text{ kW} \times \frac{15}{15} \times 1,22 \times 1,20 \times 1,02$$

$$Q_{\text{con}} = 0,3288 \text{ kW} \rightarrow 328,82 \text{ W}$$

Отримавши необхідну потужність для конденсатора, вибирають конденсатор типу SB-72, модель конденсатора має охолоджувальну потужність 598 Вт, що задовольняє обчислену потужність, яка становить 328,82 Вт. Характеристики конденсатора наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики конденсатора

Параметри	Значення
Температура конденсації, °C	29
Тепловий стрибок конденсації, °C	15
Охолоджувальна здатність, Вт	598
Розміри, мм	215x85x250
Продуктивність вентилятора, м³/год	445

Компресор – це пристрій, який відповідає за всмоктування пари, що утворюється у випарнику і подачу її до конденсатора. Найпоширенішим типом є поршневий, але існують інші, які здобули популярність, наприклад, відцентрові компресори, гвинтові компресори. У невеликих застосуваннях використовується герметичний компресор, де компресор і двигун конструктивно об'єднані в одну повністю герметичну одиницю. Він відповідає за стиснення та всмоктування холодоагенту всередині системи охолодження. Для підтримки тиску та температури на низькому рівні досягається за рахунок компресора, який всмоктує пару з випарника. Компресор також можна визначити як пристрій, що транспортує робочу рідину в холодильному колі. У компресорі відбувається наступне: робоча рідина стискається, тому виходить як перегріта пара і надалі надходить у компресор. Стиск відбувається за допомогою поршня. Компресор потребує енергії і виконує роботу, яка передається холодоагенту [3, 5, 21]. Пристрій розширення також називається пристроєм обмеження, його призначення полягає в забезпеченні достатнього

диференціального тиску між високим і низьким боками. Найшвидший спосіб викликати цей ефект – використання капілярної трубки, яку розташовують між конденсатором і випарником. Однак капілярна трубка використовується лише в малих пристроях, оскільки вона не здатна регулювати потік рідини, що надходить у випарник; з іншого боку, існують термостатичні запірні клапани, які виконують цей процес без ускладнень.

Потужність компресора [3]

$$\dot{W} = 0,001266 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left(420,59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 400,02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\dot{W} = 0,02604 \text{ kW} \rightarrow 26,04 \text{ W}$$

2.3 Система нагрівання

Система нагрівання дозволяє підвищувати температуру певного приміщення у порівнянні з зовнішньою температурою навколишнього середовища, щоб створити конкретні умови навколишнього середовища. Необхідно врахувати чи існує потреба забезпечити нагрівання всього приміщення або лише окремих секторів, тому слід обирати централізовану або незалежну систему або ті, що мають здатність індивідуального регулювання по приміщеннях. Камера дозрівання має електричну систему нагрівання, яка полягає у перетворенні електрики на тепло через електричний нагрівач. Такий тип нагрівання має наступні переваги порівняно з іншими системами [5]:

- вона демонструє ефективне використання енергії;
- електричне нагрівання є чистим;
- не відбувається горіння, немає диму, відходів чи запахів, не споживає кисень і не забруднює навколишнє середовище;
- електрика є безпечною, не потребує зберігання з відповідним ризиком витоків та вибуху, а обладнання не потребує монтажних робіт та технічного обслуговування;
- ефективність дуже висока, тому він практично використовує всю споживану електроенергію.
- можна легко автоматизувати та програмувати.

Нагрів повітря відбувається за сталої питомої вологості (питома вологість показує масу водяної пари, яка припадає на 1 кілограм сухого повітря). Однак змінюється відносна вологість повітря, яка з ростом температури знижується (відносна вологість показує нам відношення маси водяної пари, що міститься у повітрі до маси водяної пари, яку мав би той самий об'єм повітря при тій самій температурі і тиску, якби він був повністю насичений водяною парою, тобто містив насичену водяну пару) [23]. Види повітряних нагрівачів:

- водяні нагрівачі – це теплообмінники вода-повітря, які найчастіше конструюються як пластинчасті (мідні трубки та алюмінієві пластини) або однорядні або багаторядні, де теплоносієм є вода;
- парові нагрівачі – використовуються переважно там, де доступна пара.

Підходять для нагріву до високих температур – мають велику потужність. Вони більш навантажені, ніж водяні нагрівачі (вищий тиск), тому зазвичай виготовляються з сталевих трубок;

– електричні нагрівачі використовуються у малих пристроях, де достатньо малої потужності. Як нагрівальні елементи використовуються різні форми стержнів або спіралей їхні форми та розміри можна пристосувати за потребою, а регулювання можна здійснювати зміною.

Теплова ізоляція має велике значення для запобігання надмірним втратам тепла в обладнанні та для підтримання протягом якнайдовшого часу належних умов у камері всередині, саме з цієї причини тип теплоізоляції можна вибрати на основі таких властивостей: теплопровідність, паропроникність, характеристики міцності та встановлення, а також щоб вона не поглинала і не створювала неприємних запахів. Навантаження, що виникають у камері дозрівання, використовуються для кількісної оцінки тепла, яке потрібно видалити за певний час, щоб підтримувати внутрішні бажані температурні умови.

Розрахунок загального коефіцієнта обладнання для дозрівання [3]

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}} + \frac{0,0007 \text{ m}}{15 \text{ W/mK}} + \frac{0,038 \text{ m}}{0,026 \text{ W/mK}} + \frac{0,0007 \text{ m}}{15 \text{ W/mK}} + \frac{1}{1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}}}$$

$$U_1 = 0,3687 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Слід зазначити, що двері будуть спроектовані з подвійним склом, щоб відповідальна особа могла спостерігати за процесом дозрівання. Беруться значення k для скла та повітря 1,4 та 0,026 Вт/мК відповідно.

Розрахунок загального коефіцієнта для двокамерних дверей для обладнання для визрівання [3]

$$U_2 = \frac{1}{\frac{1}{1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}} + \frac{0,004 \text{ m}}{1,4 \text{ W/mK}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,026 \text{ W/mK}} + \frac{0,004 \text{ m}}{1,4 \text{ W/mK}} + \frac{1}{1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}}}$$

$$U_2 = 0,4938 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Теплопередачі через стінки обладнання

$$\dot{Q}_p = U_A \Delta T$$

де Q_p – втрата тепла через стіни, Вт;

U – глобальний коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²К;

A – зовнішня площа перерізу, м²;

ΔT – різниця між температурою зовнішнього повітря та повітря у приміщенні для охолодження, К.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Північна стіна [3]

$$\dot{Q}_p = 0,3687 \frac{W}{m^2 K} \times 0,70 m^2 \times (14-1)^\circ C$$

$$\dot{Q}_p = 3,3552 W$$

Двері [3]

$$\dot{Q}_p = 0,4938 \frac{W}{m^2 K} \times 0,70 m^2 \times (14-1)^\circ C$$

$$\dot{Q}_p = 4,4936 W$$

Навантаження продукту відноситься до кількості тепла, яке потрібно відняти та видалити таким чином, щоб досягти бажаної температури. Для проектування обладнання яловичину. Оскільки тонкий сегмент потрібно охолоджувати, тому обчислюється відведене тепло від початкової температури 10°C (з урахуванням того, що ланцюг холодопостачання був порушений до досягнення дозрівальної камери), після чого бажано знизити його температуру до 1°C.

$$\dot{Q}_1 = m c_1 (T_1 - T_2)$$

де Q_1 – теплота, яка видалена з продукту, кДж;

m – кількість продукту, кг;

T_1 – початкова температура продукту вище точки замерзання, °C;

T_2 – температура охолодження для м'яса, °C.

$$\dot{Q}_1 = 20 kg \times 3,53 \frac{kJ}{kg K} \times (10-1)^\circ C$$

$$\dot{Q}_1 = 635,40 kJ$$

Кількості тепла, яке необхідно видалити з продукту за 1 годину [3]

$$\dot{Q}_c = \frac{Q_1}{3600n}$$

де Q_c – середня потужність охолодження, кВт;

Q_1 – теплота, яка видалена з продукту, кДж;

n – бажаний час охолодження, год.

Встановлюють час на 1 годину, щоб весь продукт досяг температури 1°C

$$\dot{Q}_c = \frac{635,40 kJ}{3600 \times 1h} = 0,1765 kW$$

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$\dot{Q}_c = 176,5W$$

2.4 Система зволоження

Щоб здійснювати відповідний контроль вологості, який був би економічним, ефективним і не викликав жодних проблем як сировини, що знаходяться або утворюють систему обробки, слід мати обладнання для зволоження, яке, простіше кажучи, відповідає за додавання води в повітря. Камера дозрівання може бути оснащена системою зволоження за допомогою занурюваних резисторів, яка відповідає за нагрівання «води до точки кипіння шляхом передачі тепла від нагрівального елемента (електричного резистора) до рідини [5]. Працювати з демінералізованою водою, оскільки не використовують електропровідність води з мінімальним утворенням вапнякових відкладень. Щоб уникнути перегріву резистивних елементів, слід мати детектори, які показують стан рівня води, у якій вони занурені. Якщо бажано контролювати водяну пару, що утворюється такими системами, слід мати різні компоненти, такі як реле, які дозволяють подавати електричну потужність із змінним робочим циклом протягом визначеного робочого циклу.

Зволожувач – це пристрій, відповідальний за надання певної кількості вологи в приміщення. Він складається з резервуара для води та системи для контрольованого викидання її у вигляді пари. Зволоження повітря може проводитися двома способами: або водою або парою. Зволоження повітря водою відбувається за сталої ентальпії – це адіабатичний процес. Якщо питома вологість повітря збільшується то температура повітря знижується, а це явище в деяких випадках можна використовувати і для охолодження. Зволоження повітря паром відбувається за теоретично постійної температури (температура повітря трохи підвищується але з практичної точки зору ця зміна незначна). Існують різні типи зволожувачів, наприклад, ультразвуковий зволожувач – це пристрій, який розроблений для підвищення вологості в навколишньому середовищі за допомогою високочастотних ультразвукових вібрацій [16, 23]. Вібрації розщеплюють частинки води на дрібні краплі, створюючи холодний або гарячий туман, залежно від моделі, який розсіюється в повітрі. Процес зволоження в цих пристроях базується на невеликому диску, який вібрує на ультразвуковій швидкості. Диск розщеплює воду на дуже дрібні частинки, які викидають у повітря у вигляді м'якого туману. Внутрішній вентилятор пристрою допомагає розсіяти цей туман, швидко підвищуючи рівень вологості в навколишньому середовищі та не створюючи надмірного тепла.

Головним компонентом ультразвукового зволожувача є зволожувальний блок. З резервуара зволожувального блока вода вивільняється у вигляді мікроскопічних крапель за допомогою ультразвукових вібрацій. Вентиляційна система заганає ці вивільнені мікроскопічні краплі в зволожуваний простір. Зволожувачі здатні досягати найвищих зволожувальних показників серед зволожувачів при низькому споживанні енергії. З зволожуючого блоку вода виділяється у вигляді мікроскопічних крапель за допомогою ультразвукових коливань і далі вентиляційна система вдуває виділені мікроскопічні краплі у

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

зволожуваний простір. Цей тип зволожувачів має здатність досягати найвищих показників зволоження серед зволожувачів при низькому споживанні енергії, але вони чутливі до жорсткої води. Якщо зволожувач не містить бактерицидного пристрою, слід замінювати стару воду на нову [23, 25]. Парові зволожувачі повітря – це добре регульоване зволоження повітря водяною парою (пара майже не впливає на температуру повітря). У великих кондиціонерних установках пара подається з центрального джерела (парового котла) у менших кондиціонерах пара виробляється безпосередньо (електричний нагрів). Складається з редукційного клапана та труби з соплами через які пара подається в зволожувальну камеру кондиціонера або безпосередньо в повітропровід. Пара добре розчиняється у повітрі, з цієї точки зору це ефективно зволоження, однак при високому споживанні електроенергії.

Зволожувачі повітря з холодним випаровуванням відбувається за допомогою фільтрувального елемента (або обертовий диск – дисковий зволожувач, або фільтрувальна касета – пластинчастий зволожувач), який втягує воду з резервуара. З нього вода потім випаровується і за допомогою вентилятора подається в зволожуваний простір. Зволожувачі частково очищають повітря. Найприродніший принцип зволоження, тому не може статися надмірного зволоження повітря. При зневаженому чищенні утворюються бактерії в резервуарі і їх подальше розповсюдження у зволожуваному просторі [23]. Призначений для підвищення рівня вологості в повітрі шляхом виділення водяної пари в прохолодному або ненагрітому стані. На відміну від моделей гарячої пари, які нагрівають воду для утворення пари, моделі з холодною парою використовують безпечніші та енергоефективніші методи для розподілу вологи в навколишнє середовище. Існує два основних типи зволожувачів холодного туману: випарні та ультразвукові [17, 29]. Випаровні працюють за допомогою вентилятора, який проштовхує повітря через вологий фільтр, де повітря поглинає вологу і потім викидається в навколишнє середовище. Ультразвуковий використовує ультразвукові вібрації для розщеплення води на мікроскопічні частинки, які потім виділяються у вигляді холодного туману.

Теплі зволожувачі нагрівають воду до точки кипіння для утворення пари. Хоча вони корисні для видалення бактерій або вірусів у воді, проте потребують більше енергії через процес нагрівання. Деякі зволожувачі пропонують комбінацію гарячого та холодного туману, створюючи теплу пару [17, 29]. Однак у цьому випадку набагато доцільніше використовувати моделі холодної пари, оскільки вони більш енергоефективні та безпечні завдяки відсутності гарячих деталей або систем опалення без необхідності контролю за їх використанням. Інші типи зволожувачів використовують більш специфічні методи випуску пари, але вони зазвичай більш спеціалізовані і не так поширені, як моделі прямого приводу.

Зволожувачі відіграють важливу роль у підтриманні правильного балансу вологості повітря, захищаючи сировину, оптимізуючи процеси та сприяючи більш здоровому та комфортному робочому середовищу. На ринку представлено різні типи зволожувачів, включаючи парові та випарні

зволожувачі. Типи зволожувачів, які класифіковані відповідно до способу випускання води в приміщення наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Типи зволожувачів [3, 17]

Тип	Характеристика
Ультразвуковий зволожувач	Виробляє густий туман, утримуваний маленькими краплями води, через систему ультразвукової вібрації.
Холодний зволожувач	Працює за допомогою диска, який обертається на великій швидкості і створює холодний туман із водяних частинок
Випарний зволожувач	Використовує вентилятор, який дує повітря через мокрий матеріал, випускаючи вологе повітря.
Гарячий зволожувач	За допомогою електричних елементів (наприклад, електродів) він нагріває воду, утворюючи водяну пару, додатково містить підтип, який охолоджує пару перед виходом з пристрою.

Зволожувач пристрій, який відповідає за створення необхідної вологості для протікання процесу дозрівання. Обираємо ультразвуковий зволожувач, оскільки він працює з холодною водяною парою, тому не додаватиме тепла до системи охолодження, як інші типи зволожувачів, що працюють за принципом випаровування. У керуванні вологістю потрібно враховувати два фактори. Перший – підвищення відносної вологості у внутрішньому просторі кліматичної камери, а другий, навпаки, є зниження відносної вологості в камері. Проблеми вирішуються за допомогою таких пристроїв. Першим пристроєм є ультразвуковий зволожувач, який служить для підвищення відносної вологості. Це поплавок, що містить п'єзоелектричний осцилятор, який розташований на поверхні резервуара з водою [24]. Другим пристроєм є заслінка, яка у випадку перевищення встановленого значення відносної вологості відкривається та за допомогою вентилятора та видуватиме частину повітря з кліматичної камери і таким чином відбудеться зниження значення відносної вологості.

2.5 Система вентиляції

Система вентиляції – комплекс пристроїв та каналів, які полегшують і дозволяють оновлення та циркуляцію повітря всередині обладнання. Завдяки цим системам вдається досягти однорідного розподілу повітря в певній зоні або приміщенні, а також допомагають підтримувати рівномірні умови як відносної вологості так і температури всередині приміщення, таким чином можливо забезпечити кліматичні умови в певному просторі [5]. Зазвичай у звичайних кліматичних камерах використовуються системи вертикальної вентиляції знизу вгору, які є чутливими до змін в експлуатації, оскільки залежать від розподілу

продукції всередині обладнання. Камера дозрівання передбачає систему вентиляції, де на правому боці існує позитивний тиск подачі, а на лівому боці – негативний тиск зворотного потоку з метою досягнення рівномірного розподілу повітряного потоку по всій камері. Комбінація спрямовує повітря через поверхню перфорованої пластини. Навіть коли обладнання заповнене продуктом, кожен рівень отримує постійний потік повітря за рівних умов для належного контролю температури та відносної вологості.

Вентиляція забезпечує нам подачу та відведення повітря (циркуляцію повітря) у даному приміщенні. Природна циркуляція повітря працює на принципі фізичних явищ, таких як різна температура (густина) повітря в певному просторі. Тепле повітря має меншу щільність, ніж холодне, тому тепле повітря в замкненому просторі має тенденцію підніматися, а холодне – падати, і через це повітря починає циркулювати природно [23]. Примусова циркуляція забезпечується за допомогою вентиляторів, які гарантують постійний рух повітря в певному приміщенні. Комбінація примусової та природної циркуляції – це або природний приплив і примусовий відвід повітря, або примусовий приплив і природний відвід повітря. Вентилятори служать для подачі повітря в потрібний простір. Залежно від напрямку потоку газу через вентилятор, вентилятори поділяються на осьові, радіальні, діагональні та діаметральні. Як привід найчастіше використовується електродвигун.

Рівномірний обдув сировини є критичним фактором. Потоки повітря не повинні створювати «мертві зони» або, навпаки, занадто завітрювати м'ясо. Тому вважається за доцільне здійснити заміну стандартних осьових вентиляторів на радіальні з використанням перфорованих стінових флеш-панелей, що забезпечить горизонтальний ламінарний рух повітря зі швидкістю 0,2-05 м/с. Впровадження вентиляторів із частотно-регульованим приводом. Вони адаптують швидкість обертання залежно від фази дозрівання, а саме інтенсивна вентиляція на початку, мінімальна наприкінці.

2.6 Елементи контролю камери дозрівання

Дозрівання м'яса – це важливий процес, який покращує її смак, текстуру та ніжність. Сучасні технології мають точно контролювати умови дозрівання, забезпечуючи стабільні та якісні результати. Процес включає контроль температури, вологості та інших факторів за допомогою автоматизованих систем і сучасного програмного забезпечення. Дозрівання м'ясних продуктів називають процесом відпочинку якому піддають м'ясо для його поступового дозрівання в умовах контрольованої температури та вологості протягом тривалого часу. Температура є одним із найважливіших факторів у дозріванні м'яса. Оптимальна температура для сухої дозрівання яловичини становить від 0°C до 4°C. Автоматизовані системи холодильного зберігання дозволяють підтримувати температуру з високою точністю, що мінімізує ризик росту небажаних мікроорганізмів і забезпечує безпеку м'яса. Вологість – ще один критичний фактор, бо надмірна вологість може призвести до появи цвілі, а занадто низька вологість може призвести до надмірного висихання м'яса.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Оптимальна вологість для сухого витримки становить близько 80%. Автоматизовані системи контролю вологості контролюють і регулюють рівень вологості в режимі реального часу, щоб забезпечити ідеальні умови для дозрівання.

Камера дозрівання має бути оснащена датчиком рівня, низкою світлових індикаторів, двопозиційним перемикачем, таймером та автоматичним заповненням з електромагнітним клапаном. Кожен з них передбачає низку запобіжних заходів, щоб уникнути можливих пошкоджень різних встановлених систем, а також для відображення їхньої поточної роботи, що дозволяє визначити, коли щось не так і яка система постраждала [5]. Електричні вимикачі – це пристрої, які служать для відхилення або перешкоджання потоку електричного струму. У цьому випадку камера оснащена селекторним вимикачем типу «кульова ручка», який має ручку, яку можна повернути між двома положеннями з чітко визначеними режимами керування, один з яких дозволяє увімкнення системи контролю та наявного датчика вологості і температури, тоді як інше положення вимикає зазначене раніше, що перешкоджає роботі камери визрівання.

Індикаторні елементи дозволяють взаємодію користувача з обладнанням. Користувач може миттєво дізнатися чи є обладнання вимкненим або ввімкненим, або чи працює воно правильно чи неправильно, просто спостерігаючи за станом індикаторів у момент подачі команди. У цьому випадку є серія світлових індикаторів для системи охолодження, нагрівання, зволоження та для індикації рівня води [5]. У відношенні до систем, ці індикатори показують, яка з них увімкнена або вимкнена, тоді як для позначення рівня води індикатор, пов'язаний із цим, загоряється, коли резервуар з водою порожній або має низький рівень води, попереджаючи про необхідність не використовувати систему зволоження, оскільки це може спричинити можливі пошкодження нагрівального елемента через перегрів.

Пристрій, який називають детектором – це пристрій, який здатен лише розрізняти два можливі значення або стани вимірюваної системи та перетворювати їх на електричні змінні. У цьому випадку маємо детектор рівня, який відповідає за контроль контролювати постійно рівень води в системі зволоження. Датчик виконує захисну функцію, оскільки завдяки йому активується світловий індикатор рівня води і, таким чином, користувач розуміє, що цю систему не слід активувати, щоб уникнути її пошкодження. Дія датчика та індикатора не обмежує використання системи зволоження. Таким чином, можна отримати більш надійні показники, оскільки при спрацьовуванні цього детектора, таймер очікує кілька секунд, щоб знову перевірити стан детектора і прийняти рішення, чи активувати світловий індикатор, пов'язаний з ним [5].

Крім того, до цього датчика рівня підключений електромагнітний клапан, який дозволяє або не дозволяє проходження води при активації або дезактивації датчика рівня, тобто, якщо цей датчик показує, що рівень води низький то він живить електромагнітний клапан, щоб він відкрився і дозволив проходження води, а коли датчик рівня перестає показувати, що рівень води низький, цей клапан знеструмлюється і закривається, перешкоджаючи проходженню води.

Окрім датчика рівня, камера визрівання оснащена ще парою сенсорів: одним для температури та одним для вологості [3]. Завдяки їм можливо дізнатися поточні умови всередині камери та зміни, викликані різними системами, які вона має при підключенні або відключенні однієї з них. Датчик температури мають діапазон вимірювань від -10°C до 70°C , тоді як датчик вологості базується на ємнісному і має діапазон вимірювань від 0% до 100% відносної вологості без конденсації.

На основі вище зазначеного можна вважати, що дозрівання м'яса – це важливий процес, який покращує її смак, текстуру та ніжність. Сучасні технології мають точно контролювати умови дозрівання, забезпечуючи стабільні та якісні результати. Сухе дозрівання м'яса має кілька переваг порівняно з іншими методами, підкреслюючи органолептичні властивості м'яса, забезпечуючи якісний продукт для споживачів, незважаючи на вартість і час, який займає цей процес. Камера з контрольованим середовищем повинна мати джерело холоду, джерело тепла, щоб можна було отримати умови температури та вологості, які імітують природне середовище. Обидві системи потребують вентиляційної системи, яка рівномірно розподіляє повітря. Системи нагрівання та охолодження в камері дозрівання потрібні для точного контролю температури, яка безпосередньо впливатиме на процеси дозрівання м'ясної сировини.

Запропонована узагальнена схема систем камери дозрівання м'яса із застосуванням відповідних датчиків температури та вологості. Температура є одним із найважливіших факторів у дозріванні м'яса. Оптимальна температура для сухої дозрівання яловичини становить від 0°C до 4°C . Автоматизовані системи холодильного зберігання дозволяють підтримувати температуру з високою точністю, що мінімізує ризик росту небажаних мікроорганізмів і забезпечує безпеку м'яса. Вологість – ще один критичний фактор, бо надмірна вологість може призвести до появи цвілі, а занадто низька вологість може призвести до надмірного висихання м'яса. Оптимальна вологість для сухого витримки становить близько 80%. Автоматизовані системи контролю вологості контролюють і регулюють рівень вологості в режимі реального часу, щоб забезпечити ідеальні умови для дозрівання. Доцільно розмістити всі компоненти системи камери для дозрівання м'яса послідовно один за одним, об'єднавши охолоджувач та осушувач в один блок для точного та одночасного контролю температури та вологості, бо при сухому дозріванні ці два параметри є критично залежними один від одного. Осушувач в камері для дозрівання м'яса – це кліматичний прилад, який видаляє надлишкову вологу з повітря для підтримки строго заданого рівня відносної вологості. Конфігурацію можна використовувати в тих випадках, коли осушування відбувається за принципом вологого охолодження (відбувається конденсація). Оптимізація забезпечить:

- ефективне видалення вологи, бо охолоджувач знижує температуру повітря, через що волога природним чином конденсується на його холодних елементах (випарнику), цей конденсат виводиться виконуючи функцію осушувача;

- мінімізація втрати ваги м'яса, бо якщо вологість впаде занадто низько

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

м'ясо висохне дуже швидко, що призведе до втрати якості сировини;

– ефективно застосування простору камери для дозрівання, бо один агрегат займає менше місця всередині камери, залишаючи більше простору для м'ясної сировини.

Оптимізована камера дозрівання для м'ясної сировини складається з двох етапів функціонування, перший – це етап охолодження за допомогою якого досягається охолодження м'ясної сировини шляхом керованого використання виконавчих механізмів. Другий етап стосується циклу ферментації, де контролюватиметься відсоток вологості та температура всередині камери, такий контроль є необхідним для досягнення бажаних параметрів за допомогою контрольованого використання виконавчих механізмів. Було запропоновано оптимізоване обладнання для визрівання 20 кг м'яса з двома лотками всередині для розміщення м'яса. Обрано необхідні елементи охолодження, такі як компресор, конденсатор та випарник з охолоджувальною потужністю 26,04 Вт, 328,82 Вт та 309,053 Вт відповідно. Для повітряного потоку всередині камери передбачено осьовий вентилятор потужністю 8,5 Вт та зволожувач, задля забезпечення рівномірного розподілу вологості.

Обрано ультразвуковий зволожувач, оскільки він працює з холодною водяною парою, тому не додаватиме тепла до системи охолодження, як інші типи зволожувачів, що працюють за принципом випаровування. У керуванні вологістю потрібно враховувати два фактори. Перший – підвищення відносної вологості у внутрішньому просторі кліматичної камери, а другий, навпаки, є зниження відносної вологості в камері. Проблеми вирішуються за допомогою таких пристроїв. Першим пристроєм є ультразвуковий зволожувач, який служить для підвищення відносної вологості. Другим пристроєм є заслінка, яка у випадку перевищення встановленого значення відносної вологості відкривається та за допомогою вентилятора та видуватиме частину повітря з кліматичної камери, і таким чином відбудеться зниження значення відносної вологості.

Рівномірний обдув сировини є критичним фактором. Потоки повітря не повинні створювати «мертві зони» або, навпаки, занадто завітрювати м'ясо. Тому вважається за доцільне здійснити заміну стандартних осьових вентиляторів на радіальні з використанням перферованих стінових флеш-панелей, що забезпечить горизонтальний ламінарний рух повітря зі швидкістю 0,2-05 м/с. Впровадження вентиляторів із частотно-регульованим приводом. Вони адаптують швидкість обертання залежно від фази дозрівання, а саме інтенсивна вентиляція на початку, мінімальна наприкінці.

Запропоновано впровадження оптимальної системи ферментації на основі контролю температури та вологості. Камера для дозрівання м'ясної сировини матиме подвійне призначення:

– по-перше, камера слугуватиме для зберігання в умовах відповідної температури;

– по-друге, камера надаватиме оптимальні умови для того, щоб ферментація відбувалася за найкоротший можливий час для чого було впроваджено відповідні датчики температури та вологості.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розподіл температури та вологості в камері дозрівання м'яса

Для дослідження розподілу температури та вологості в камері дозрівання м'яса було застосоване програмне забезпечення SolidWorks, яке містить численні інструменти, що дозволяють проводити аналіз потоків рідини з великою точністю результатів. Враховуючи зручність у використанні SolidWorks, було прийнято рішення використовувати цей інструмент для аналізу внутрішньої камери обладнання для визрівання. Варто зазначити, що для моделювання розглядатиметься лише внутрішня камера, яка є основною зоною, що застосовується в процесі дозрівання. Аналіз рециркуляції повітря та охолодження потоком повітря проводився за такими параметрами [3]:

- температура навколишнього середовища 14°C;
- температура робочої рідини: постійна 1°C;
- тиск навколишнього середовища 71940,75 Па;
- охолодження за рахунок компресійного розширення пара;
- рідина – вологе повітря;
- швидкість вентилятора – 1,6 м/с.

На основі встановлених параметрів отримано:

- розподіл температури в камері дозрівання;
- потік повітря в камері визрівання;
- вирівнювання відносної вологості повітря в камері коли вона містить лотки та продукт.

На початковому етапі все повітря в камері має температуру навколишнього середовища. Після увімкнення системи охолодження повітря починає охолоджуватися: в центрі камери дозрівання температура вища, ніж на її кінцях, що пов'язано з тим, як циркулює повітря, проте з часом досягає однорідності по всьому об'єму. Під впливом вентилятора виникає більший потік повітря, бо спочатку рідина знаходиться у стаціонарному стані, тобто величина дорівнює 0 м/с, під впливом вентилятора повітря починає рухатися, потік поступово збільшується, а саме досягає скляних дверей і залишається рівномірним протягом наступного часу. Простір, де циркуляція повітря становить 0,3 м/с, зменшується доки не стає рівномірним у всій камері.

Чим нижча температура тим менша відносна вологість повітря. Значення відносної вологості підтримуються в діапазоні від 83% до 79% [3]. Розподіл температури в камері дозрівання з продуктом показано на рисунку 3.1, де спостерігається зміна температури від навколишнього середовища, яке становить 14°C, до бажаної температури 1°C. Різниця полягає в тому, що при наявності продукту досягнення бажаної температури охолодження займає

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення обладнання для дозрівання м'ясної сировини				Літ.	Арк.	Аркуші		
Розроб.	Ломака											41	2
Перевір.	Цвіркун												
Н. Контр.	Омельченко												
Затверд.	Цвіркун				ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО								

більше часу, оскільки продукт додає більшу масу для охолодження. Потік повітря має тенденцію затримуватися довше, щоб охопити весь простір через наявність м'яса, що перешкоджає вільній циркуляції. Потік повітря через 200 с досяг майже усієї камери, що вказує на те, що обладнанню потрібен більше часу для роботи.

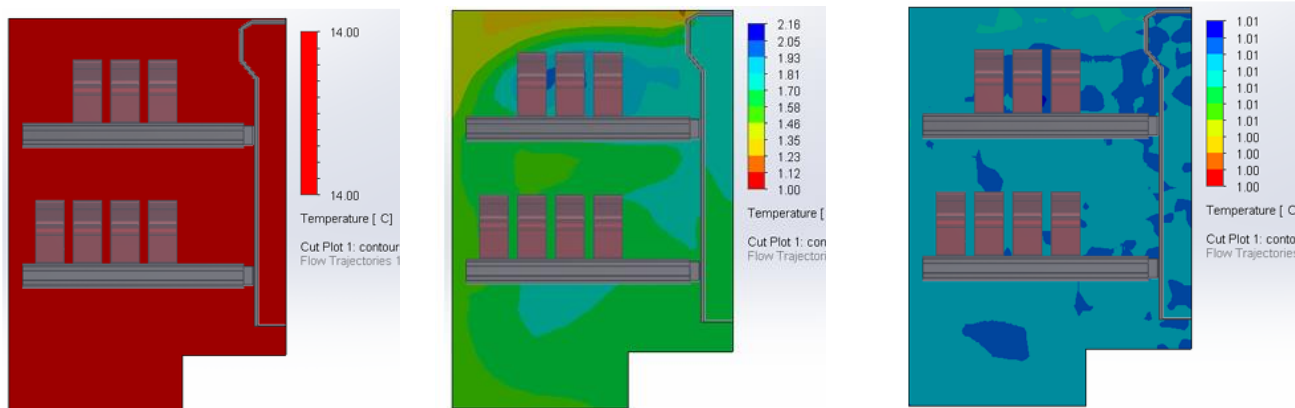


Рисунок 3.1 – Розподіл температури в камері дозрівання з продуктом (0 с, 50 с, 200 с)

На рисунку 3.2 показано зміну відносної вологості в обладнанні для дозрівання, яке містить продукт і яке прагне зберігати відсоток на рівні 80% до 100 с роботи, а потім падає на 1% починаючи з 150 с і залишається таким до кінця моделювання.

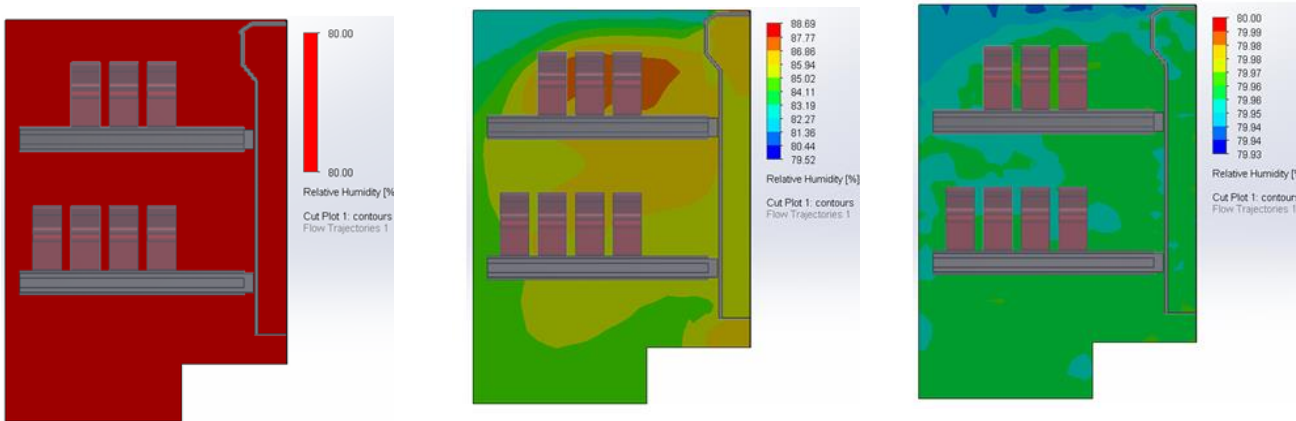


Рисунок 3.2 – Розподіл відносної вологості в камері дозрівання з продуктом

На основі вище зазначеного можна вважати, що потік повітря при розподілі температури в камері дозрівання з продуктом має тенденцію затримуватися довше, щоб охопити весь простір через наявність м'яса, що перешкоджає вільній циркуляції. Потік повітря через 200 с досяг майже усієї камери, що вказує на те, що обладнанню потрібен трішки більше часу для роботи. Розподіл відносної вологості в обладнанні для дозрівання, яке містить продукт прагне зберігати відсоток на рівні 80% до 100 с роботи, а потім падає на 1% починаючи з 150 с і залишається таким до кінця моделювання.

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню обладнання для дозрівання м'ясної сировини. У роботі зазначено, що дозрівання та сушіння можуть вважатися найдавнішою формою збереження сировини. Поліпшення якості та збереження продуктів за допомогою мікробного дозрівання є давньою стратегією, яка еволюціонувала для виробництва сучасних функціональних ферментованих харчових продуктів.

Зазначено, що дозрівання – це складний процес, який включає значні зміни текстури, кольору, смаку, запаху, поживних речовин та інших якісних характеристик, що робить сировину привабливою та їстівною. Дозрівання м'яса – це процес приготування м'ясної сировини для споживання шляхом витримки з метою покращення текстури та смаку. Витримка дозволяє м'ясу проходити через різні стадії, де природні ферменти та інші процеси розм'якшують м'язові волокна та розвивають смак сировини.

Аналіз наукових джерел дав змогу констатувати, що існує два основних способи дозрівання м'яса, а саме сухе та вологе витримування. Сухе дозрівання полягає у витримуванні м'яса в ферментаційній камері при контрольованій температурі та вологості. Вплив повітря дозволяє поступово випаровувати поверхневу воду, концентрувати смаки та формувати характерну скоринку. Вологе (вакуумне) визрівання – це техніка, яка видаляє все повітря навколо шматка м'яса, щоб зменшити або мінімізувати ріст аеробних бактерій і таким чином уповільнити псування м'ясної сировини.

Камера з контрольованим середовищем – це приміщення, яке ізольоване від зовнішнього середовища, де можна контролювати та змінювати різні параметри: температура, відносна вологість, потік повітря, які дозволяють контролювати та створювати різні штучні середовища в межах встановлених діапазонів. Камера витримки м'яса – це водонепроникна шафа, яка покращує текстуру та смак м'яса, а також дозволяє контролювати циркуляцію повітря, вологість і температуру всередині. Вони можуть функціонувати у двох режимах: постійний, який підтримує стабільні умови протягом часу і динамічний, що включає змінні умови протягом усього процесу:

- камери з постійним кліматом розроблені для підтримки стабільних умов протягом тривалих періодів, забезпечують точне регулювання температури, вологості та інтенсивності світла, необхідні для надійності харчових процесів;

- динамічні кліматичні камери розроблені для швидких змін температури середовища, таких як теплові удари та швидкі коливання вологості.

Запропоновано узагальнену схему, яка містить основні системи камери дозрівання м'яса із застосуванням датчиків температури та вологості. Камера з контрольованим середовищем має джерело холоду, джерело тепла, щоб можна було отримати умови температури та вологості, які імітують природне

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Ломака</i>				Удосконалення обладнання для дозрівання м'ясної сировини	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						<i>Аркуші</i>
							43
							2
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>						

середовище. Обидві системи потребують вентиляційної системи, яка рівномірно розподіляє повітря. Системи нагрівання та охолодження в камері дозрівання потрібні для точного контролю температури, яка безпосередньо впливатиме на процеси дозрівання м'ясної сировини.

Доцільно розмістити всі компоненти системи камери для дозрівання м'яса послідовно один за одним, об'єднавши охолоджувач та осушувач в один блок для точного та одночасного контролю температури та вологості, бо при сухому дозрівання ці два параметри є критично залежними один від одного. Оптимізація забезпечить:

- ефективне видалення вологи, бо охолоджувач знижує температуру повітря, через що волога природним чином конденсується на його холодних елементах, цей конденсат виводиться виконуючи функцію осушувача;

- мінімізація втрати ваги м'яса, бо якщо вологість впаде занадто низько м'ясо висохне дуже швидко, що призведе до втрати якості сировини;

- ефективне застосування простору камери для дозрівання, бо один агрегат займає менше місця всередині камери, залишаючи більше простору для м'ясної сировини.

Оптимізована камера для дозрівання м'ясної сировини складається з двох етапів функціонування, перший – це етап охолодження за допомогою якого досягається охолодження м'ясної сировини шляхом керованого використання виконавчих механізмів. Другий етап стосується циклу ферментації, де контролюватиметься відсоток вологості та температура всередині камери, що є необхідним для досягнення бажаних параметрів м'ясної сировини. Було запропоновано оптимізоване обладнання для визрівання 20 кг м'яса з двома лотками всередині для розміщення м'яса. Обрано необхідні елементи охолодження, такі як компресор, конденсатор та випарник з охолоджувальною потужністю 26,04 Вт, 328,82 Вт та 309,053 Вт відповідно. Для повітряного потоку всередині камери передбачено вентилятор потужністю 8,5 Вт та зволожувач, задля забезпечення рівномірного розподілу вологості.

Рівномірний обдув сировини є критичним фактором. Потоки повітря не повинні створювати «мертві зони» або, навпаки, занадто завітрювати м'ясо. Тому вважається за доцільне здійснити заміну стандартних осьових вентиляторів на радіальні, що забезпечить горизонтальний ламінарний рух повітря зі швидкістю 0,2-05 м/с або здійснити впровадження вентиляторів із частотно-регульованим приводом забезпечить адаптовануння швидкості обертання залежно від фази дозрівання, а саме інтенсивна вентиляція на початку, а мінімальна наприкінці.

Здійснено аналіз розподілу температури та вологості в камері дозрівання м'яса. Результати свідчать, що потік повітря при розподілі температури в камері дозрівання з продуктом має тенденцію затримуватися довше, щоб охопити весь простір через наявність м'яса, що перешкоджає вільній циркуляції. Потік повітря через 200 с досяг майже усієї камери, що вказує на те, що обладнанню потрібно більше часу для роботи. Розподіл відносної вологості в обладнанні для дозрівання, яке містить продукт прагне зберігати відсоток на рівні 80% до 100 с роботи, а потім падає на 1% починаючи з 150 с і залишається таким до кінця моделювання.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основні поняття дозрівання м'яса і їх етапи. Режим доступу: <https://italtrade.com.ua/ua/a410307-sozrevanie-myasa.html>.
2. Дозрівання м'яса: важливий етап кулінарної підготовки для ідеального смаку та текстури. Режим доступу: <https://food-equip.com.ua/ua/stati/sozrevanie-miasa-vazhnyi-etap-kulinarnoi-podgotovki-dlia-idealnogo-vkusa-i-tekstury>.
3. Diseño y simulación de un equipo para maduración de carne con capacidad de 20 kg. URL: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22276>.
4. Climate chambers: types, designs, uses and benefits. URL: <https://www.iqsdirectory.com/articles/environmental-chamber/climate-chambers.html>.
5. Cámara de ambiente controlado. URL: <file:///C:/Users/admin/Downloads/Camara%20de%20Ambiente%20Controlado.pdf>.
6. Сухе та вологе визрівання м'яса. Режим доступу: <https://brandfood.net/butcher/sukhoie-i-vlazhnoie-vyzrievaniie-miasa/#:~:text=>
7. Дозрівання м'яса: короткий огляд. Режим доступу: <https://weber-ukraine.com/dozrivannia-miasa-korotkyi-ohliad/>.
8. Кліматичні камери. Режим доступу: <https://www.testextextile.com/uk/climate-chambers-the-ultimate-guide-to-choosing-the-right-one/#:~:text=>
9. An overview of ripening processes. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/88803>.
10. Guía definitiva de la maduración en seco/humedo de la carne. URL: <https://cdn.minicoursegenerator.com/production/documents/miguel638625960411890156/18337d86-97e1-4e70-ba89-52e5529ac7b5.pdf>.
11. La viande maturée: un processus d'affinage pour des saveurs intenses. URL: <https://alimentation.pagesjaunes.fr/astuce/voir/632227/viande-maturee#:~:text=>
12. Кліматична камера – що це за техніка та для чого використовується. <https://bfb.org.ua/klimatychna-kamera-shho-cze-za-tehnika-ta-dlya-chogo-vykorystovuyetsya/>.
13. Конструкція кліматичної камери з освітленням, адаптованим для вирощування сільськогосподарських культур. Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/360405930>.
14. Що таке кліматична камера визрівання сиру, сиров'яленої ковбаси та ферментації м'яса. Режим доступу: <https://avs-climat.com.ua/ua/a505948-scho-take-klimatichna.html>.
15. Maduración de la carne, un proceso clave para un producto de calidad. URL: <https://www.contextoganadero.com/cronica/cronica-maduracion-de-la-carne-un-proceso-clave-para-un-producto-de-calidad>.
16. Qué es, cómo funciona y por qué deberías considerarlo. URL: <https://mejoreshumidificadores.com/humidificador-ultrasonico/#:~:text=>
17. Jakostní parametry trvanlivých fermentovaných masných výrobků. URL: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=50545.
18. Změny technologických parametrů při zrání hovězího předního masa. URL:

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

http://195.178.95.140:8080/bitstream/handle/10563/42120/koch%C3%A1nek_2018_dp.pdf?sequence=1.

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

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

21. Види компресорів холодильного обладнання. Переваги та недоліки. Режим доступу: <https://redmedua.com/uk/rnews/61-vidy-kompressorov-holodilynogo-oborudovaniya-dostoinstva-i-nedostatki>.

22. Využití nových technologií pro zrání hovězího masa. URL: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/51332/ho%c5%88ka_2022_dp.pdf?sequence=-1.

23. Konstrukce klimatické komory. URL: https://theses.cz/id/kwdw7a/2014_BP_Novak_Petr_145572.pdf?lang=en.

24. Konstrukce a řízení klimatické komory. URL: <https://dspace.cvut.cz/entities/publication/01abfa3f-e477-469e-a975-cca16ab22b6a>.

25. Ультразвуковий зволожувач повітря: робота та переваги. Режим доступу: <https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/poleznye-sovety/ultrazvukovyj-zvolozuvach-povitria-robota-ta-perevahy/>.

26. Класифікація та типи випарників холодильних машин. Режим доступу: <https://zaoknom.com.ua/tekhnolohii/klasyfikatsiia-ta-typu-vyparnykyv-kholodylnykh-mashyn/>.

27. Мнацаканов Г.К. Холодильна техника і технология. Одесса: ОДАХ, 2008. 128 с.

28. Matematicko-fyzikální analýza klimatické komory. URL: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=173367.

29. Understanding humidification solutions: selecting the right type of humidifier. URL: <https://d2tsmyh31fn7w8.cloudfront.net/public-documents/docs/white-paper/Understanding-humidification-solutions-white-paper.pdf>.