

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 СТЕРИЛІЗАЦІЇ
КОНСЕРВОВАНИХ ПРОДУКТІВ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти _____ **Захарченко Сергій Юрійович** _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник:

_____ **ст. викладач, к.т.н., Гончаренко В.А.** _____
(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

Захарченку Сергію Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення обладнання для стерилізації консервованих продуктів»

Керівник роботи к.т.н., ст.викл., Гончаренко В.А.
(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 стерилізації консервованих продуктів.
3. Оптимізація автоклаву для стерилізації харчової сировини.
4. Аналіз результатів досліджень.
5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

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

Обладнання для стерилізації консервованих продуктів.

Система контролю температури для усунення гарячих та холодних зон в автоклаві.

Моделювання теплопередачі в середині автоклаву.

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 стерилізації консервованих продуктів	16.02.2026-10.03.2026
3	Оптимізація автоклаву для стерилізації харчової 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)

Захарченко С.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гончаренко В.А.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 47 сторінки. Робота містить 12 рисунків, 3 таблиці. Список використаних джерел складається з 26 найменувань.

Об'єкт роботи – горизонтальна автоклава.

Предмет роботи – процес стерилізації в автоклаві.

Мета роботи – удосконалення обладнання для стерилізації продуктів.

У роботі зазначено, що у складному світі харчової промисловості безпека та якість продукції мають першочергове значення. Для досягнення цих цілей застосовуються різні методи збереження для усунення або інактивації мікроорганізмів, які можуть викликати захворювання при цьому стерилізація та пастеризація є особливо ефективними.

На основі аналізу, було зазначено, що оптимізація теплопередачі є однією з критичних завдань, що зосереджено на досягненні більш рівномірного розподілу температури по всій камері автоклави. Основна проблема полягає у нерівномірному розподілі температури, що створює «гарячі» та «холодні зони», які порушують якість продукції та надійність процесу. Рівномірний розподіл тепла є важливим для усунення «холодних зон» або мінімізації тривалості перебування в «гарячій зоні».

Запропоновано процес ліквідації «гарячих» та «холодних» зон під час стерилізації сировини, що полягає в забезпеченні абсолютної теплопередачі через модернізацію обладнання та автоматизацію контролю. Вважається за доцільне для витіснення повітря та забезпечення рівномірного розподілу гарячої пари використовувати попереднє вакуумування. Перед подачею пари вакуумний насос відкачує повітря з камери, що дозволяє парі миттєво і рівномірно заповнити весь простір. Примусове видалення повітря виключить утворення повітряних кишень в середині робочої камери. Також доцільно включення теплообмінника для зберігання тепла та інтеграцію з системою нагрівання об'єктів для максимізації загальної енергоефективності.

Впровадження датчиків температури та тиску задля здійснення належного контролю під час процесу стерилізації для усунення «гарячих» та «холодних» зон в автоклаві. Система оснащена двома датчиками тиску, де один знаходиться на паровій лінії після контрольного клапана, а другий датчик застосовується для визначення точного тиску за якого працює система. Система оснащена трьома датчиками температури, де один з них стаціонарний, а інші два мають силіконовий кабель, який дозволяє переміщати їх для визначення точок всередині автоклава для виявлення проблемних зон.

Здійснено моделювання теплопередачі в середині автоклаву за допомогою програмного забезпечення SolidWorks. Результати проведеного моделювання теплопередачі з двома основними входними точками показали, що відбувається рівномірний розподіл тепла в камері автоклаву і відповідно забезпечується досягнення температури стерилізації 121⁰С.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: автоклав, стерилізація, консервовані продукти, система контролю, теплопередача, датчики температури та тиску, моделювання.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СТЕРИЛІЗАЦІЇ КОНСЕРВОВАНИХ ПРОДУКТІВ	7
1.1 Методи збереження продуктів харчування	7
1.2 Методи стерилізації консервованих продуктів	12
1.3 Автоклави в харчовій промисловості	13
1.4 Типи автоклавів для стерилізації сировини	16
РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ АВТОКЛАВУ ДЛЯ СТЕРИЛІЗАЦІЇ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ	22
2.1 Теплопередача в процесі термічної обробки в автоклаві	22
2.2 Розподіл температури в камері автоклаву: гарячі та холодні зони	25
2.3 Система контролю температури для усунення гарячих та холодних зон в автоклаві	29
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	37
3.1 Фактори, що впливають на процес стерилізації	37
3.2 Моделювання теплопередачі в середині автоклаву	38
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45
ДОДАТКИ	47

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення обладнання для стерилізації консервованих продуктів		
Розроб.		Захарченко					
Перевір.		Гончаренко					
Н. Контр.		Омельченко					
Затверд.		Цвіркун			ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
					Лім.	Арк.	Аркушів
						5	1

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що у складному світі харчової промисловості безпека та якість продукції мають першочергове значення. Для досягнення цих цілей застосовуються різні методи збереження для усунення або інактивації мікроорганізмів, які можуть викликати захворювання при цьому стерилізація та пастеризація є особливо ефективними.

Мета та задачі дослідження. Удосконалення обладнання для стерилізації консервованих продуктів.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що оптимізація теплопередачі є однією з критичних завдань, що зосереджено на досягненні більш рівномірного розподілу температури по всій камері обробки та всередині сировини, що обробляється. Основна проблема полягає у нерівномірному розподілі температури, що створює гарячі та холодні зони, які порушують якість продукції та надійність процесу. Рівномірний розподіл тепла в камері автоклаву є важливим для усунення «холодних зон» або мінімізації тривалості перебування в «гарячій зоні».

Запропоновано процес ліквідації «гарячих» та «холодних» зон під час стерилізації сировини, що полягає в забезпеченні абсолютної теплопередачі через модернізацію обладнання та автоматизацію контролю. Вважається за доцільне для витіснення повітря та забезпечення рівномірного розподілу гарячої пари використовувати попереднє вакуумування. Перед подачею пари вакуумний насос відкачуватиме повітря з камери, що дозволяє парі миттєво і рівномірно заповнити весь простір. Примусове видалення повітря виключить утворення повітряних кишень в середині робочої камери. Задля рівномірного нагріву та усунення «гарячих» та «холодних» зон доцільно включення теплообмінника для зберігання тепла та інтеграцію з системою нагрівання об'єктів для максимізації загальної енергоефективності.

Впровадження датчиків температури та тиску задля здійснення належного контролю під час процесу стерилізації для усунення «гарячих» та «холодних» зон в автоклаві. Система оснащена двома датчиками тиску, де один знаходиться на паровій лінії після контрольного клапана, а другий датчик застосовується для визначення точного тиску за якого працює система. Система оснащена трьома датчиками температури, де один з них стаціонарний, а інші два мають силіконовий кабель, який дозволяє переміщати їх для визначення точок всередині автоклаву для виявлення проблемних зон.

Здійснено моделювання теплопередачі в середині автоклаву за допомогою програмного забезпечення SolidWorks. Результати проведеного моделювання теплопередачі з двома основними вхідними точками показали, що відбувається рівномірний розподіл тепла в камері автоклаву і відповідно забезпечується досягнення температури стерилізації 121⁰С.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення обладнання для стерилізації консервованих продуктів				Лім.	Арк.	Аркуші		
Розроб.	Захарченко											6	1
Перевір.	Гончаренко												
Н. Контр.	Омельченко											ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО	
Затверд.	Цвіркун												

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СТЕРИЛІЗАЦІЇ КОНСЕРВОВАНИХ ПРОДУКТІВ

1.1. Методи збереження продуктів харчування

Збереження продуктів харчування визначається як застосування технологій, що продовжують термін придатності та доступність продуктів для споживання людиною, захищаючи їх від патогенних мікроорганізмів та інших агентів, відповідальних за їх псування, і таким чином забезпечують можливість їх майбутнього споживання. Консервованими продуктами вважаються ті, які після відповідних обробок зберігаються в належних гігієнічно-санітарних умовах для споживання протягом змінного часу. На сьогодні методи збереження продуктів харчування поділяються на чотири групи: методи збереження за допомогою температури, методи збереження шляхом зміни вмісту води, хімічні методи, новітні методи [1-3]. Мета цих технологій полягає в наступному: зберігати смак, поживні речовини та текстуру, запобігати погіршенню якості виготовлених продуктів харчування. Якщо продукт не досягає вищезазначеного, тоді збереження не виконало своєї мети, і якість продукту може бути порушена. Якість, відповідно до стандартів ISO – це сукупність характеристик та/або атрибутів, що роблять продукт більш привабливим для споживача, враховуючи також поживну та санітарну цінність.

Щоб підтримувати якість продуктів харчування які будуть споживатися пізніше, їх можна зберігати за допомогою холоду, тепла, хімічних консервантів або комбінації цих методів. Холод зазвичай означає охолодження або заморожування. Тепло включає багато методів обробки, таких як пастеризація, комерційна стерилізація та сушіння [2-4]. Інші методи збереження продуктів включають додавання до них інгредієнтів для консервації, обробку та ферментацію. Сировину обробляють, щоб її було легше зберігати та споживати, а іноді її перетворюють на щось більш привабливе. Наприклад, пшеницю обробляють для отримання борошна, яке використовують для виробництва хліба та макаронних виробів. Полуницю можна обробляти та перетворювати на заморожені/сушені фрукти для використання в крупах, або готувати для приготування варення.

Різні типи продуктів харчування зберігаються та обробляються різними способами, щоб продовжити період часу, протягом якого їх можна транспортувати, виставляти в магазині, купувати споживачем і в кінцевому підсумку споживати. Фізичний та хімічний склад продуктів допомагає визначити тип процесу, необхідного для їх збереження. Інші фактори, які впливають на вибір методу зберігання, включають: який кінцевий продукт бажано отримати, тип упаковки, вартість та методи розповсюдження.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Захарченко			Удосконалення обладнання для стерилізації консервованих продуктів				Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевір.		Гончаренко									7		15	
Н. Контр.		Омельченко							ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО					
Затверд.		Цвіркун												

Роль води та кислотності у збереженні продуктів – це два найважливіші фактори в хімічному складі, що впливають на спосіб збереження продукту. Вміст води включає рівень вологості, але ще важливішим є активність води. Активність води стосується стану енергії води в продукті, що визначає чи відбуватимуться хімічні реакції та/або розвиватимуться мікроорганізми. Вміст сировини – такий як цукор, сіль, білки чи крохмаль – «зв’язує» воду, роблячи її менш доступною. Продукти з нижчою активністю води менш схильні до псування через мікроорганізми та зазнають менше небажаних хімічних змін під час зберігання.

Сировину часто консервують за допомогою комбінації формулювання (додавання інгредієнтів), обробки (теплом або холодом) та методів розподілу (стабільно за кімнатної температури, охолодженою, замороженою). Обираючи найкращий метод для збереження продукту, відповідальні за його обробку повинні приділяти велику увагу рівню рН і активності води, одночасно враховуючи, як певна техніка консервування вплине на якість кінцевого продукту. Розглянемо найбільш розповсюджені методи консервування.

1. Охолодження. Потичіюно небезпечні продукти харчування, ті, що мають рН більше 4,6 та активність води більше 0,85, повинні зберігатися при температурі нижче приблизно 4⁰С. До них належать м’ясо та птиця, приготовані страви, молоко та молочні продукти, яйця, страви з яєць, морепродукти та риба. Продукти, які не можна висушити або консервувати, або які потребують збереження свіжими, також можна зберігати шляхом охолодження, наприклад, швидкопсувні фрукти та овочі, м’ясо та птиця, сир, йогурт, неварені соуси та соєве молоко. Продукти мають обмежений термін зберігання на полицях, оскільки охолодження лише сповільнює ріст бактерій, але не зупиняє його [2-4]. Неправильне поводження під час транспортування та з боку споживача може збільшити ріст бактерій і має враховуватися при визначенні терміну придатності на полицях. Крім того, ці продукти мають вищу вартість доставки та зберігання через необхідність дотримання належного охолодження. Проте ці продукти дуже привабливі для споживачів, оскільки вони свіжі та зручні. Це метод короткострокового зберігання не більше 15 днів, проводиться при температурах від 0 до 5⁰С у промислових холодильниках. І від 8 до 12⁰С у побутових холодильниках, майже не змінює сенсорні властивості продуктів.

2. Заморожування можна використовувати для збереження великої кількості продуктів харчування. Заморожування зупиняє ріст бактерій, але не знищує їх. Якщо обробляти продукт обережно, заморожена сировина довгий час зберігатиме якість свого кольору, текстури та смаку. Заморожені страви, такі як м’ясо, яке потребує розморожування перед споживанням, менш зручні, ніж свіжа їжа [2-4]. Однак споживачі сприймають ці продукти (як заморожені страви та десерти) як більш зручні, ніж приготовані вдома. Крім того, вони вважають заморожені фрукти та овочі свіжішими за консервовані. Як і у випадку з охолодженням, комерційно заморожені продукти мають недолік у вигляді вищих витрат на доставку та зберігання, а також витрат енергії на початкове заморожування продукту. Це метод довготривалого зберігання від 3

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

до 12 місяців, виконується за температури -18°C . Можуть виникати хімічні зміни, такі як окиснення вітамінів і жирів, що містяться в продуктах, наприклад, у фруктах, овочах, м'ясі та напівфабрикатів з риби.

Теплова обробка – метод, який використовується для збереження продуктів харчування з метою продовження їхнього терміну придатності та, відповідно, часу зберігання. Процес полягає у видаленні патогенних мікроорганізмів та інактивації ферментів, що впливають на продукт. Існують різні методи теплової обробки, серед них – бланшування, пастеризація, стерилізація, варіння, випікання, смаження та інші [1]. У процесі обробки необхідно враховувати тип продукту для обробки, для цього враховуються його фізичні властивості, текстура, рН, необхідна стабільність у кінцевому продукті та схильність до псування; оскільки цей тип обробки впливає на його сенсорну якість, харчову цінність (руйнування вітамінів, денатурація білків), навіть зміни у смаку та текстурі. Тому вибір термічного процесу має відповідати продукту, який обробляють. Нижче описано деякі термічні процеси, які часто зустрічаються в харчовій промисловості:

3. Пастеризація – це термічний процес, використовуваний для видалення патогенів у продуктах харчування, які виготовляються при максимальній температурі 100°C . Існують три види проведення цього процесу: пастеризація при низьких температурах, пастеризація при високих температурах та ультрашвидка пастеризація [1, 4]. Мета всіх трьох типів пастеризації подібна, а саме безпечність продукту. Слід підкреслити, що зазначені технології відрізняються температурою роботи та тривалістю обробки. Пастеризація при високих температурах використовується найчастіше, оскільки забезпечує більш ефективне знищення мікроорганізмів.

Пастеризація використовує термічну обробку протягом короткого часу для знищення шкідливих мікроорганізмів, які можуть перебувати в їжі, без негативного впливу на її смак чи колір. Процес застосовується для забезпечення того, щоб оброблена сировина була безпечною для споживання людиною. Пастеризація є найпоширенішим методом, що використовується для рідин, таких як молоко та соки. Молоко є найпоширенішим продуктом, який піддають пастеризації [2, 3]. Молоко, пастеризоване при високій температурі протягом короткого часу, нагрівають протягом 15 секунд до 60°C . Молоко, пастеризоване при дуже високій температурі, нагрівають протягом 2 секунд до 60°C . Ці методи обробки за різного часу/температури для молока є однаково ефективними для зменшення кількості шкідливих бактерій та багатьох шкідливих мікробів. Крім того, що це робить продукт більш безпечним для споживання людиною, пастеризація також збільшує термін його зберігання. Більшість пастеризованих продуктів зберігаються в холодильнику і не можуть зберігатися при кімнатній температурі.

5. Стерилізація – це термічний процес, який застосовується в різних типах промисловості, найбільш поширеними серед яких є харчова промисловість. Цей процес полягає у тому, щоб обробити продукт при високій температурі понад 100°C протягом певного часу з метою отримання безпечного продукту, який

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

може зберігатися тривалий час за кімнатної температури [1, 4]. У харчовій промисловості різниця між цим процесом та пастеризацією полягає в характеристиках продукту та його здатності витримувати високі температури, оскільки стерилізація є більш інтенсивним тепловим процесом. Метою використання високих температур є майже повне знищення мікроорганізмів, токсинів та ензимів. Це можна застосовувати двома способами:

- комерційне пакування: де продукт поміщається у контейнер, герметично закривається, а потім нагрівається протягом певного часу при визначеній температурі;

- асептичний процес: продукт нагрівається протягом часу та при температурі, достатній для досягнення стерильності, після чого поміщається у стерильний контейнер і запаюється.

Важливими є час та температура обробки продукту, щоб не вплинути на його якість, це залежить від: природи та консистенції продукту, розміру та форми контейнера та матеріалу контейнера. Існують три методи збереження при високих температурах [2, 3]:

- бланшування використовується для пригнічення дії певних ензимів, які викликають потемніння продукту. Застосовується для фруктів та овочів та може бути трьох типів: бланшування гарячою водою: продукт занурюють у гарячу воду за температури від 85 до 98⁰С; бланшування парою: продукт піддають впливу пари; хімічне бланшування: проводиться шляхом додавання хімічної речовини, використовуючи сполуки, такі як діоксид сірки, сульфіти, які реагують з фенольними сполуками, інактивуючи ензими.

- пастеризація: використовується для максимальної ліквідації ризику патогенних бактерій, які руйнують продукти харчування та завдають шкоди здоров'ю споживача. Використовуються температури від 60 до 65⁰С протягом 3-4 годин.

- стерилізація (водяна баня) використовується для знищення всіх мікроорганізмів, для чого потрібні спеціальні пристрої, такі як автоклави. Використовуються температури від 118 до 120⁰С протягом дуже короткого часу – 1 хвилина. Наприклад, молоко, фруктові соки, морозиво та всі ті продукти, які будуть герметично упаковуватися в консервні банки або скляні банки.

6. Сушіння (традиційне, сушіння розпиленням або спреєм). Дегідратовані продукти мають триваліший термін зберігання, оскільки видалення вологи зменшує активність води, щоб шкідливі організми не могли розвиватися. Фрукти та овочі можна висушити та продавати у такому вигляді або використовувати у інших сухих продуктах тривалого зберігання, таких як крупи або мюслі [1-4]. Традиційне сушіння використовує тепло, повітря і час у кількох процесах, що дозволяють досягти бажаного рівня вологості. Сублімаційна сушка – це спосіб дегідrataції, при якому продукт заморожують, а воду з нього видаляють у вигляді пари. Сушіння методом розпилення або спрею – це метод, який швидко висушує водний розчин, розпорошуючи його маленькими краплями в гарячій камері. Молоко, яке піддають цьому процесу, продається як порошкове молоко, яке можна відновити. Зменшення вмісту

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

вологи шляхом термічної обробки для сушіння продукту може бути дорогим, залежно від необхідного часу. Крім того, будь-який метод сушіння зазвичай пов'язаний із втратою кількості та якості.

1.2 Методи стерилізації консервованих продуктів

Комерційною стерилізацією називають тепловий процес, який застосовується до консервованих продуктів, що здійснюється шляхом використання вологого тепла або пари всередині камери автоклава. Використовують пару через її велику перевагу у проникненні та ліквідації мікробних бактерій за короткий час [7]. Процес стерилізації за допомогою насиченої водяної пари відбувається при високих температурах протягом певного часу. Серед найпоширеніших – 121⁰С протягом 15 хвилин, що зазвичай використовується для стерилізації та подальшого зберігання продуктів харчування та 134⁰С протягом 3 хвилин.

Стерилізація є фундаментальною опорою у виробництві харчових продуктів і є критично важливим кроком для гарантування безпеки і цілісності продукту. Стерилізація визначається як процес за допомогою якого здійснюється знищення або повне знищення всіх форм мікробного життя. Цей рівень знищення мікроорганізмів є абсолютним і відрізняється від стерилізації інших процесів контролю мікроорганізмів [8, 9]. Стерилізація є ключовим етапом у харчовій промисловості, бо його важливість полягає в необхідності забезпечення безпеки продуктів для використання, усуваючи будь-які бактерії чи мікроорганізми, які можуть зашкодити якості продукту та здоров'ю споживачів. Методи стерилізації, які використовуються у харчовій промисловості в основному поділяються на дві категорії залежно від характеру речовини: фізичні та хімічні. Вибір методу стерилізації залежить від матеріалу, який обробляється, рівня безпеки та технічних обмежень. Від тепла до хімічних і фізичних методів – кожна техніка має певні переваги, які роблять її незамінною у сфері застосування.

Фізичні методи стерилізації базуються на застосуванні енергії або механічному розділенні мікроорганізмів.

Термічна стерилізація. Тепло є надзвичайно ефективним стерилізуючим агентом, оскільки всі мікроорганізми чутливі до його дії в різному ступені. Тепло спричиняє денатурацію білків, плавлення та дезорганізацію клітинних мембран, а також/або незворотні окислювальні процеси у мікроорганізмів, що призводить до їх інактивації та загибелі. Ефективність тепла як методу стерилізації залежить від температури та часу впливу [5-7]. Термічна стерилізація: волога та суха. Волога термостерилізація – один із найефективніших і найпоширеніших методів. Процес виконується в автоклаві – пристрої, який використовує водяну пару під високим тиском і температурою (зазвичай від 121⁰С протягом 15-20 хвилин). Пара проникає в сировину, руйнуючи мікроорганізми шляхом денатурації їхніх білків і ферментів. Цей метод ідеально підходить для скляного посуду та харчової сировини, оскільки не залишає токсичних залишків і є дуже надійним. Однак його не можна

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

застосовувати до матеріалів, чутливих до тепла чи вологи.

Стерилізація сухим теплом. На відміну від автоклаву, стерилізація сухим теплом використовує гаряче повітря замість пари, досягаючи вищих температур (160-180⁰С) протягом тривалого часу (1-2 години). Метод підходить для матеріалів, які можуть пошкодитися вологою, таких як порошки та олії. Хоча сухе тепло ефективне, воно має деякі недоліки, такі як довший цикл циклу та менший проникнення порівняно з парою. Класичним прикладом є стерилізація скляних банок для консервування.

Фільтраційна стерилізація: видалення мікроорганізмів без нагрівання. Фільтраційна стерилізація – це фізичний метод, який не включає нагрівання, що робить його ідеальним для термолабільних речовин. Фільтрація – це механічний метод, який дозволяє відокремити мікроорганізми від рідкої або газоподібної речовини [5, 8, 9]. Вона полягає у фізичному ліквідуванні мікроорганізмів, присутніх у рідині, шляхом проходження через фільтри з дуже малими порами. Процес використовує пористі мембрани з певним розміром пор (зазвичай 0,22 мкм або 0,45 мкм), які утримують бактерії та гриби, дозволяючи стерильній рідині проходити крізь них. Однією з найбільших переваг цього методу є збереження цілісності білків та інших теплочутливих сполук. Крім того, потрібне ретельне обслуговування фільтрів, щоб уникнути засмічень і забруднення. Незважаючи на ці обмеження, вона залишається важливою технікою у виробництві біологічних продуктів і в наукових дослідженнях.

Радіаційна стерилізація використовує енергію для інактивації мікроорганізмів. Дія залежить від типу випромінювання, дози та часу впливу. Іонізуюче випромінювання (гамма, бета та рентгенівське випромінювання) має бактеріцидні властивості, вбиваючи мікроби та нейтралізуючи інші шкідливі організми [8, 9]. Вони дуже ефективно деактивують мікроорганізми, знищуючи, інактивуючи або відновлюючи мікроорганізми у твердих або рідких матеріалах без утворення тепла. Їх часто використовують для стерилізації харчових продуктів, а також застосовують для сублімаційних продуктів, сухих порошків, попередньо заповнених пристроїв, наносуспензій та активних інгредієнтів. Ультрафіолетове випромінювання пошкоджує клітинну мембрану мікроорганізмів і денатурує клітинні білки. Він переважно використовується для дезінфекції поверхні та повітря, але його низьке проникнення обмежує застосування для глибокої стерилізації матеріалів.

2. Методи хімічної стерилізації використовують хімічні агенти для інактивації або знищення мікроорганізмів. Оксид етилену – це хімічний агент, який широко використовується для стерилізації термочутливих матеріалів. Це алкілюючий агент, який діє на білки та інші клітинні компоненти, викликаючи незворотну модифікацію ферментів і пригнічуючи активність ферментів. Він використовується в газовій стерилізації [7-9]. Альдегіди – це алкілатори, які діють на білки, викликаючи незворотну модифікацію ферментів і пригнічуючи активність ферментів.

Існує кілька матеріалів, які використовуються для зберігання або консервації продукту. Серед них є: скло, метал, пластик. Характеристики

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

упаковок для харчових продуктів наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристики упаковок для харчових продуктів

Матеріал	Характеристика
Скло	Матеріал часто використовується у різних харчових продуктах та напоях, оскільки він має відмінну водонепроникність до будь-яких речовин, його легко стерилізувати та він підлягає переробці.
Метал	Матеріал використовують для консервних банок, які забезпечують належне збереження продуктів, оскільки дозволяють зберігати їх колір, смак, текстуру, вітаміни та поживні речовини. Вони мають відмінну герметичність, легко стерилізуються, підлягають переробці, легкі та нетоксичні.
Пластик	Матеріал є гнучким, легким і може витримувати різні температури залежно від його складу. Його використовують для збереження напоїв, молока, йогурту, ковбасних виробів.

1.3 Автоклави в харчовій промисловості

У складному світі харчової промисловості безпека та якість продукції мають першочергове значення. Для досягнення цих цілей застосовуються різні методи збереження для усунення або інактивації мікроорганізмів, які можуть викликати захворювання, при цьому стерилізація та пастеризація є особливо ефективними. У випадку харчових продуктів стерилізація передбачає термічний процес, спрямований на знищення або знищення всіх форм життя, що містяться в об'єкті чи речовині, включаючи бактерії, віруси, гриби та спори. Процес здійснюється шляхом піддавання продуктів температурам вище 100°C і відповідному тиску, визначеному фізичними законами, протягом визначеного періоду залежно від різних факторів [12]. Термічний процес пастеризації дещо схожий на стерилізацію, але працює при нижчих температурах – від 80°C до 100°C, зазвичай при атмосферному тиску, і вимагає певних тривалостей залежно від різних факторів. Характеристики дозволяють пастеризації досягати нижчого рівня смертності бактерій порівняно зі стерилізацією, але водночас достатньо для гарантії утримання упакованого продукту протягом кількох місяців. В обох випадках основна мета – забезпечити безпеку харчових продуктів і якість продукції, відтермінувати погіршення, запобігти інфекціям і ризикам для громадського здоров'я, дотримуватися чинних норм і продовжити термін зберігання, який довший при стерилізації продукту.

Автоклави є найпоширенішим обладнанням для цієї мети завдяки своїй універсальності у переробці широкого спектра харчових продуктів – від консервів до продуктів, упакованих у гнучкі контейнери. Автоклави – це пристрої для стерилізації, які використовують пару або перегріту воду, що використовуються в харчовій промисловості для забезпечення безпеки та якості

продукції. Їхній принцип роботи базується на термічній обробці продукту за допомогою провідної рідини, такої як пара або перегріта вода, при температурах понад 100⁰С разом із відповідним тиском, що визначають фізичні закони. Цей процес усуває патогенні мікроорганізми, такі як бактерії, гриби та віруси, з упакованих продуктів, забезпечуючи безпеку стерилізованих продуктів протягом певного часу.

Робота автоклавів базується на термічній обробці продукту шляхом впорскування насиченої пари або перегрітої води. Транспортоване тепло проникає в їжу, усуваючи мікроорганізми, присутні як у їжі, так і в її упаковці. Температура та час експозиції ретельно контролюються, щоб забезпечити повну стерилізацію з мінімальним впливом на органолептичні властивості продукту. Розглядаючи процес загалом, починається з завантаження візків або кошиків упакованими продуктами (скляними банками, банками, гнучкими пакетами та іншими), які розроблені для витримування температур і тиску процесу. Потім їх вводять в автоклав, який герметично герметично закривається для створення контрольованого середовища. Далі починається термічний процес (умови змінюються залежно від того, чи використовується насичена пара чи перегріта вода), доки не досягнуться конкретних умов, необхідних для різних продуктів. Необхідні умови підтримуються протягом визначеного часу для повної стерилізації [12]:

- початкова фаза підвищення та стабілізації температури стерилізації;
- друга фаза стосується фактичного часу стерилізації, який визначає коефіцієнт летальності бактерій.

Тривалість залежить від типу продукту та геометрії контейнерів, хоча цей час можна скоротити шляхом підвищення температури, якщо продукт дозволяє. Потім процес продовжується контрольованим охолодженням для зниження температури та тиску в автоклаві, завершуючи відкриттям обладнання та розвантаженням стерилізованих продуктів для зберігання. Існують різні системи для автоклавів, кожна зі своїми перевагами та специфічними застосуваннями. Системи насамперед відрізняються залежно від рідини, яка постачає тепло для термічного процесу, та того, як ним керується в автоклаві, що впливає на енергоефективність, якість процесу стерилізації та якість кінцевого продукту. Основні операційні системи, що використовуються в автоклавах, описані нижче:

1. Розпилення парою та водою. Технологія поєднує пряме впорскування пари з розпиленням перегрітої води. Пара подається знизу автоклаву, а перегріта вода розпилюється зверху та з боків, підтримується в циркуляції за допомогою відцентрового насоса. Метод забезпечує рівномірний розподіл тепла за оптимальний час. Переваги технології [12]:

- підходить для будь-якого типу контейнерів для сировини;
- забезпечує рівномірний розподіл тепла з більш плавним температурним градієнтом;
- забезпечує ефективне охолодження шляхом встановлення теплообмінника з плитою «вода-водяні». Крім того, охолоджувальну воду

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можна повторно використовувати через охолоджувальну башту, сухий охолоджувач або рециркулювати з буферного бака великої місткості;

- органолептичні властивості продукту майже не змінюються, оскільки температурний градієнт можна більш м'яко контролювати під час фаз нагрівання та охолодження, що робить його придатним для більш делікатних продуктів.

Недоліки технології:

- не відновлює парові конденсати, що може свідчити про вище енергоспоживання порівняно з іншими системами, які їх відновлюють.

- при роботі з перегрітою водою та необхідності створювати контриск за допомогою стисненого повітря для запобігання деформації контейнера можуть виникати невеликі іржаві піки в зоні герметизації бляшаних контейнерів, якщо попередній герметик недостатньо відрегульований.

2. Насичена пара. Це традиційний метод стерилізації в автоклавах. Він використовує насичену пару для швидкого досягнення температури стерилізації. Особливо рекомендується для щільних вантажів, що складаються з невеликих контейнерів, або там, де зовнішня якість лаку упаковки низька. Переваги технології [12]:

- ефективно для маленьких і жорстких балончиків. Дозволяє швидко охолоджуватися через розпилення або занурення у воду;

- загальний час обробки трохи коротший, ніж у системі;

- забезпечує ефективне охолодження шляхом встановлення теплообмінника «вода-водяні пластини». Крім того, охолоджувальну воду можна повторно використовувати через охолоджувальну башту, сухий охолоджувач або рециркуляцію з буферного бака великої місткості.

Недоліки технології:

- вище енергоспоживання порівняно з іншими системами;

- обмежений контейнерами, які витримують внутрішній тиск самої ємності та подальшу деформацію під час термічного процесу (переважно олов'яні контейнери хорошої товщини). Не рекомендується використовувати існуючі контейнери з тоншими стінками;

- температурний градієнт менш м'який, ніж у традиційній системі, що може впливати на органолептичні властивості деяких продуктів.

3. Пара/повітря. Система поєднує дві технології надаючи гнучкість вибору між будь-яким із методів залежно від типу контейнера та вимог продукту. Переваги технології [12]:

- гнучкість для обробки широкого спектра контейнерів – від малих і великих банок до алюмінієвих, скляних або гнучких контейнерів, які можуть вимагати різних методів стерилізації, що дозволяє економити простір і оптимізувати енергетичні ресурси.

Недоліки технології:

- вартість машини трохи вища через інтеграцію обох систем.

4. Обігрів водою. Метод використовує зовнішній теплообмінник для опосередкованого нагрівання розпилюваної води замість прямого впорскування пари в автоклав. Переваги технології [12]:

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- потребує мінімального догляду;
 - відновлює парові конденсати, покращуючи енергозбереження;
 - забезпечує ефективне охолодження за допомогою того ж теплообмінника (теплообмін водою на цій фазі) за тих самих умов, що й для попередніх систем;
 - зазвичай саме система забезпечує найбільшу енергозбереження.
- Недоліки технології:
- час трохи довший порівняно з іншими системами через непряме нагрівання води

1.4 Типи автоклавів для стерилізації сировини

Стерилізація – це процес усунення патогенних форм життя, таких як бактерії, віруси тощо. Застосування цього процесу спрямоване на очищення харчових продуктів. На сьогодні цей процес має велике значення в харчовій промисловості, оскільки дозволяє забезпечити більший термін зберігання продуктів, а також гарантує їхню безпечність, дозволяючи зберігати їх протягом тривалого часу без необхідності використання системи охолодження. Стерилізація повинна забезпечувати безстрокове та тривале збереження, а також зберігати незамінні якості для приємного подання продукту: зовнішній вигляд, смак, колір, текстура тощо, мінімально впливаючи на харчову цінність. Тобто, щоб продукт був здоровим, приємним і мав добру харчову цінність.

Процес стерилізації для харчової промисловості зазвичай проводиться в автоклавах (закрита система, призначена для роботи під високим тиском). Залежно від продукту, який потрібно стерилізувати, можуть змінюватися розмір та конструкція обладнання [1]. Процес застосовується вже понад 150 років, протягом яких було здійснено численні оновлення як системи, так і вимірювального обладнання, щоб досягти кращих результатів у стерилізації харчових продуктів. Наразі існують різноманітні системи та рішення, багато з яких є комплексними системами, що охоплюють різні етапи цього процесу.

Автоклав – це закрите металеве обладнання, яке призначене для роботи під високим тиском, що дозволяє досягати потрібної температури. Вперше його було створено у 1880 році французьким мікробіологом Шарлем Шамберланом, який запатентував його під назвою «Дайджестер» [1, 7]. Автоклави розроблені для стерилізації з використанням насиченої пари, для роботи при високих температурах та тисках більших за атмосферний, оскільки для свого основного функціонування у стерилізації зазвичай використовує водяну пару, видаляючи будь-які мікробні форми життя з об'єкта або матеріалу. Складається з кількох етапів для свого термічного процесу, які наведено у таблиці 1.2. Виконання всіх етапів процесу стерилізації в автоклаві займає приблизно 50–60 хвилин, від етапу попереднього вакууму до етапу охолодження.

Існують два типи систем, які поділяються на обладнання безперервної та періодичної дії [7, 12]. Їхня основна різниця полягає у функціонуванні: періодичні системи передбачають розміщення посудини для стерилізації всередині автоклава на визначений час, дотримуючись теплового режиму.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Натомість безперервна система передбачає постійний вхід та вихід упакованих продуктів, проходячи через три етапи: нагрівання, утримання та охолодження. У харчовій промисловості для обробки та стерилізації продуктів харчування використовуються два основні типи автоклавів: статичні автоклави та динамічні автоклави, такі як роторні або підвісні автоклави.

Таблиця 1.2 – Етапи процесу стерилізації в автоклаві

Етап	Опис	Час
Виділення повітря	Виконується відсмоктування повітря з камери з початковим нагріванням, щоб перевірити герметичність обладнання.	10 хвилин
Нагрівання	В камеру подається пар до досягнення встановлених параметрів температури та тиску.	10 хвилин
Стерилізація	Етап на якому починають проводити термічну обробку за допомогою пари під встановленим тиском і температурою протягом певного періоду.	20 хвилин
Сушіння або охолодження	Полягає в доведенні стерилізованого матеріалу до атмосферного тиску для подальшої обробки.	15 хвилин

1. Автоклав насиченою парою. Тип автоклава використовує насичену водяну пару для підвищення температури та тиску за певний час. Таке обладнання зазвичай виготовляють із чорних або легированих сталей, воно складається з кількох основних частин та приладів, серед яких контролер із датчиками температури та тиску, що виникає в внутрішній камері, запобіжні клапани, манометри тощо. Пластик, скло, бляшанка – це матеріали, які використовують для стерилізації продуктів у цьому обладнанні, оскільки вони забезпечують правильний розподіл пари. Температура може перевищувати 121⁰С.

2. Статичний автоклав (рис. 1.1). Найпоширеніший і найтрадиційніший тип у харчовій промисловості, здатний до пастеризації та стерилізації, забезпечуючи відмінне співвідношення витрат і вигод. У цьому обладнанні упаковані продукти, розміщені на візках, залишаються нерухомими протягом усього процесу, без жодного руху. Він підходить для продуктів, які не потребують переміщення під час стерилізації і де більшість упакованого продукту є твердою або дуже в'язкою. Система зберігає класичну модель роботи автоклавів, маючи кошики в стаціонарному положенні, а його функціонування відбувається через передачу тепла та холоду шляхом каскадного або спреї-зрошення водою [1, 10-15]. Модель, так само як і ротаційна має систему передачі тепла за допомогою циркуляції води. Режим забезпечує хорошу теплову стабільність у всіх точках. Автоклав призначений

для процесів, які не потребують руху під час стерилізації. Характеристики:

- максимальна температура: 150°C;
- максимальний тиск: 5 бар;
- ємність: 2-12 кошиків;
- нагрівання та охолодження води, яке ми використовуємо у всіх циклах процесу, здійснюється в пластинчастому теплообміннику за допомогою пари або холодної води;
- автоклав оснащений панеллю автоматизації процесів.



Рисунок 1.1 – Статичний автоклав

Представлена модель є загальною для харчової промисловості через простоту роботи з нею. З іншого боку, ця система має інший спосіб передачі тепла, оскільки вона не працює безпосередньо з паром, а використовує її опосередковано для нагрівача води, який буде обприскувати контейнери з продуктом, щоб досягти потрібної температури.

3. Автоклав пар/повітря. Систем характеризуються використанням методу вентиляції всередині їх камери, забезпечуючи змішування пари та повітря до досягнення відповідної температури та тиску, уникаючи утворення зон без нагрівання та таким чином починаючи процес стерилізації в упаковках. Слід зазначити, що такого типу система дозволяє економити енергію, скорочує період теплової обробки, збільшує виробництво та оптимізує якість продукту завдяки внутрішній вентиляції, дозволяючи зберегти природну сутність продукту, таку як його запах, смак, текстуру.

Система оснащена системою охолодження після завершення етапу нагрівання, яка базується на зануренні контейнера у водяну ванну всередині камери; це дозволяє швидше знизити температуру і таким чином завершити процес стерилізації продукту. Обладнання демонструє зниження виробничих витрат та можливість скорочення часу стерилізації та вплив на навколишнє середовище [1, 7]. Система має низьке споживання води під час процесу. Техніка, на відміну від багатьох інших, містить систему вентиляції в задній частині автоклава з метою видалення пари, що надходить, таким чином сприяючи більш рівномірному та стабільному теплообміну. Після цього, під час фази охолодження, використовується конденсована вода для зменшення її споживання під час виробництва. Представлена модель демонструє високу ефективність під час термічної обробки, оскільки через вентиляційні канали

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

пара може досягати різних точок всередині автоклава.

4. Автоклав із повним зануренням у воду. Тип обладнання базується на попередньому нагріванні життєво важливої рідини, яка зберігається в резервуарі при певній температурі [10-15]. Після цього встановлюється контейнер для стерилізації, а нагріта вода подається всередину камери обладнання і за допомогою насоса повторно використовується для нагрівання парою, щоб забезпечити постійну температуру всередині камери протягом усього циклу стерилізації.

5. Гідростатичний автоклав. Типи автоклавів мають конвеєрну стрічку, яка дозволяє переміщати ємності вгору та вниз, спочатку виконуючи етап попереднього нагрівання, де тиск і температура поступово підвищуються. Потім вони переходять до етапу стерилізації, де необхідний час залежить від швидкості конвеєрних стрічок, і нарешті досягають фінальної фази охолодження, де тиск і температура поступово знижуються, щоб упаковку можна було підготувати до комерційного продажу [1, 7, 12]. Автоклав гідролок – горизонтальний автоклав, який використовується в промисловості вже багато років, його процес майже такий же, як у гідростатичного автоклава, оскільки він має конвеєрні стрічки для переміщення контейнерів на різні етапи та витримує високий тиск у своїй циліндричній камері. Він оснащений обертовим клапаном, який дозволяє контейнеру потрапити в камеру стерилізації, а потім перейти до наступного етапу – попереднього охолодження, повторно проходячи через обертовий клапан для атмосферного охолодження продукту.

Ротаційний автоклав. Роторні автоклави оснащені внутрішньою системою повільного обертання для візків до 360^0 , яка призначена для переміщення упакованих продуктів під час процесу стерилізації (рис. 1.2). Протягом цього процесу візки знерухомлюються, як і контейнери, розміщені всередині, що забезпечує їхню цілісність і запобігає пошкодженням. Цей метод забезпечує більш рівномірний розподіл тепла та прискорює процес стерилізації, особливо для продуктів із високим вмістом рідини або напіврідини [1, 7, 12]. Цей тип автоклава дозволяє швидше передавати тепло завдяки наявності системи обертання (6 обертів/хвилину), яка змушує ємності легко рухатися всередині камер по спіральному напрямку, що дозволяє ємностям проходити через різні етапи нагрівання та охолодження постійно.



Рисунок 1.2 – Ротаційний автоклав

Технологія ротаційних автоклавів – це технологія, розроблена з метою обертання харчової сировини у спеціальному обладнанні, що вимагають руху та може прискорити передачу тепла всередині упаковки та досягти бажаної температури за короткий час [12, 14, 15]. Режим включає індивідуальне забезпечення кожної упаковки або продукту, що підлягає стерилізації, щоб не пошкодити їх. Характеристики:

- максимальна температура: 160°C;
- максимальний робочий тиск: 5 бар;
- ємність: 3-6 кошиків.

Представлена модель має різні переваги завдяки розмірам та конструкції, з якими вона була створена; проте для поточної ситуації з автоклавом, з яким буде проводитись робота, конструкція не має необхідної структури для проведення цього виду стерилізації. Модифікація конструкції як частина адаптації до представленої моделі вимагала б значних додаткових витрат, а крім того, може бути порушена структура, з якою працюють наразі.

6. Підвісний автоклав має характеристики, схожі на роторний, але візки піддаються лише підвісному руху з обмеженим ступенем коливання (рис. 1.3). Він використовується для обробки різноманітних фасованих харчових продуктів (особливо рослинних або змішаних інгредієнтів, де значна частина є рідкою або низькою в'язкістю), де цей незначний рух прискорює розподіл температури та скорочує загальний час циклу [10, 11].



Рисунок 1.3 – Підвісний автоклав

Серед основних продуктів, оброблених у цьому типі автоклаву, є наступні: страви (попередньо приготовані, готові до вживання страви та готові страви загалом), упаковані супи (у пакетах або інших гнучких контейнерах), продукти з соусами (рагу, запіканки та подібні продукти), а також продукти з рідким і твердим вмістом (готові страви, рагу з шматочками м'яса або овочів, серед інших).

Основні частини горизонтального автоклава [12-15]:

Зона завантаження: у цій секції розміщені візки або кошики з продуктами, які підлягають стерилізації.

Панель керування (ПЛК): автоматизована система контролює та контролює всі параметри автоклаву, пов'язані зі стерилізацією циклу (тиск, температура, час, а також заходи безпеки).

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Тіло автоклаву: це герметична камера, де відбувається цикл стерилізації. Тіло має бути міцним, здатним витримувати високі температури та тиски, а також бути готовим до ситуацій, пов'язаних із частковим вакуумом.

Теплообмінник: підключений до первинного контуру (циркуляційної води, що використовується для стерилізації або охолодження контейнерів), цей компонент забезпечує непряме нагрівання та охолодження води, що використовується для термічного процесу. Для певних робочих систем циркуляційна вода, гаряча чи холодна, проходить через неї і направляється до системи розпилення або каскаду, яка рівномірно розподіляє тепло по контейнерах. Теплообмінник використовується лише для фази охолодження. У вторинному колі теплообмінника для нагрівання та/або охолодження рециркуляційної води в первинному колі подається пара та/або холодна вода, залежно від робочої системи.

Рециркуляційний насос: цей насос рециркулює воду з первинного контуру всередині автоклаву, створюючи замкнений контур. Вона подає воду з нижньої частини автоклава до теплообмінника і повертає її всередину автоклаву через систему розпилення або каскаду, залежно від робочої системи.

Пристрої для вимірювання температури, тиску та часу: ці пристрої постійно контролюють внутрішні умови автоклаву, щоб кожен цикл стерилізації відповідав встановленим параметрам. Вони постачаються з сертифікатами калібрування, виданими офіційною організацією.

Необхідні клапани для процесу: до них належать впускні клапани для пару, клапани для конденсату, клапани впуску та виходу води, клапани впуску повітря, клапани скидання тиску та різні клапани для відведення рідини. Клапани необхідні для регулювання внутрішнього середовища автоклава під час циклу стерилізації та адаптації до запрограмованої робочої кривої.

На основі вище зазначеного можна вважати, що у складному світі харчової промисловості безпека та якість продукції мають першочергове значення. Для досягнення цих цілей застосовуються різні методи збереження для усунення або інактивації мікроорганізмів, які можуть викликати захворювання при цьому стерилізація та пастеризація є особливо ефективними.

Стерилізація – це процес усунення патогенних форм життя, таких як бактерії, віруси тощо. Застосування цього процесу спрямоване на очищення харчових продуктів. На сьогодні цей процес має велике значення в харчовій промисловості, оскільки дозволяє забезпечити більший термін зберігання продуктів, а також гарантує їхню безпечність, дозволяючи зберігати їх протягом тривалого часу без необхідності використання системи охолодження.

Автоклави є найпоширенішим обладнанням для стерилізації завдяки своїй універсальності у переробці широкого спектра харчових продуктів – від консервів до продуктів, які упаковані у гнучкі контейнери. Автоклави – це пристрої для стерилізації, які використовують пару або перегріту воду, що використовуються в харчовій промисловості для забезпечення безпеки та якості продукції. Зазначено, що у харчовій промисловості для обробки та стерилізації продуктів харчування використовуються два основні типи автоклавів: статичні автоклави та динамічні автоклави, такі як роторні або підвісні автоклави.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 2

ОПТИМІЗАЦІЯ АВТОКЛАВУ ДЛЯ СТЕРИЛІЗАЦІЇ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ

2.1 Теплопередача в процесі термічної обробки в автоклаві

У харчовій промисловості автоклави є необхідним обладнанням для забезпечення терміну придатності продукції, що стерилізується всередині ємності. Наразі в харчовій промисловості існують обладнання різних розмірів і з різними призначеннями, що може бути як для стерилізації банок, пляшок і асептичних пакетів так і інших видів упаковки [13]. Сучасні технологічні цілі в автоклавній термічній обробці зосереджені на кількох ключових напрямках, з-поміж яких енергоефективність залишається надзвичайно важливим вектором, який спрямований на розробку сучасних ізоляційних матеріалів, більш ефективних нагрівальних елементів та оптимізованих термічних циклів стерилізації, які мінімізують енергоспоживання без шкоди для якості продукції.

Оптимізація теплопередачі є ще однією критичною метою, зосередженою на досягненні більш рівномірного розподілу температури по всій камері обробки та всередині сировини, що обробляється. Технології прискорення процесів також активно розвиваються, спрямовані на скорочення циклів за допомогою більш ефективних механізмів теплопередачі та альтернативних підходів до нагрівання, таких як мікрохвильова обробка або гібридні системи. Індустрія також рухається до більшої автоматизації та інтеграції з принципами включаючи штучний інтелект для прогнозного обслуговування, оптимізації процесів і контролю якості. Зміни мають на меті перетворити автоклави з автономного обладнання на інтелектуальні системи в з'єднаних виробничих середовищах, які здатні до адаптації та змінних вимог обробки.

Автоклавна термічна обробка стикається з серйозними проблемами теплопередачі, які обмежують ефективність і збільшують енергоспоживання. Основна проблема полягає у нерівномірному розподілі температури в камері автоклаву, що створює гарячі та холодні зони, що порушують якість продукції та надійність процесу. Гетерогенність виникає через недостатні механізми конвекції, особливо у великих промислових автоклавах, де сама природна конвекція виявляється недостатньою для стабільного розподілу тепла [13]. Швидкості теплопередачі становлять ще одну критичну проблему, оскільки сучасні системи не можуть досягти оптимального теплового проникнення у оброблені матеріали. Це особливо проблематично для щільних або термічно стійких матеріалів, де тепло має досягати ядра для належного затвердіння або стерилізації. Внаслідок цього подовжений час обробки значно збільшує енергоспоживання та знижує виробничу пропускну здатність. Теплова інерція автоклавних систем ускладнює ці проблеми, оскільки масивні металеві

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Захарченко			Удосконалення обладнання для стерилізації консервованих продуктів				Літ.		Арк.		Аркуші	
Перевір.		Гончаренко									22		15	
Н. Контр.		Омельченко							ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО					
Затверд.		Цвіркун												

конструкції потребують значних витрат енергії під час циклів нагріву і повільно виділяють тепло під час фаз охолодження. Ця характеристика не лише продовжує час обробки, а й створює труднощі у впровадженні точних протоколів контролю температури, необхідних для передової обробки матеріалів [13]. Енергоефективність залишається неоптимальною у традиційних автоклавних конструкціях, значні втрати тепла відбуваються через стіни камер, двері та вентиляційні системи. Сучасні технології ізоляції та механізми рекуперації тепла не можуть адекватно компенсувати ці втрати, що призводить до надмірного енергоспоживання, що впливає як на експлуатаційні витрати, так і на екологічну стійкість.

Фізика теплопередачі суттєво змінюється зі збільшенням розмірів, створюючи нові виклики для підтримки однорідних температурних профілів на великих об'ємах. Резервуари циркуляції водяної пари та газу в автоклавах створюють додаткові складності, оскільки ця динаміка рідин безпосередньо впливає на ефективність теплопередачі. Сучасні конструкції мають труднощі з оптимізацією цих циркуляційних патернів, особливо при обробці неправильно сформованих компонентів або щільно упакованих навантажень, які створюють обмеження потоку та теплові тіні.

1. Покращення енергоефективності в системах автоклавів. Різні інновації спрямовані на підвищення енергоефективності в автоклавних термічних системах. Серед них – оптимізовані механізми рекуперації тепла, зниження енергоспоживання завдяки покращеній ізоляції та розумні системи керування, які мінімізують енергетичні втрати. Сучасні конструкції включають функції рециркуляції енергії, які захоплюють і повторно використовують теплову енергію, яка інакше була б втрачена під час процесу стерилізації, значно знижуючи загальне енергоспоживання при збереженні ефективної термічної обробки.

Техніки покращення теплопередачі: покращені механізми теплопередачі в автоклавах підвищують ефективність термічної обробки та одноманітність. Методи включають спеціалізовані теплообмінні рідини, оптимізовані схеми потоку та передові конструкції теплообмінників, які сприяють швидкому та рівномірному розподілу температури по всій камері автоклаву. Деякі системи використовують функції, що викликають турбулентність, або спеціалізовані поверхневі обробки для максимізації коефіцієнтів теплопередачі та скорочення часу обробки, забезпечуючи повну стерилізацію [13, 25-26]. Системи термічного управління та контролю: сучасні системи теплового керування використовують складні датчики, контролери та алгоритми для точного регулювання температурних профілів під час роботи автоклаву. Ці системи контролюють і регулюють параметри нагріву в режимі реального часу, забезпечуючи оптимальне використання енергії та підтримуючи необхідні умови стерилізації. Системи розумного керування можуть адаптуватися до різних типів і розмірів навантаження, автоматично оптимізуючи теплові цикли для мінімізації енергоспоживання та забезпечення повної стерилізації в різних сферах.

Інноваційні методи нагріву для автоклавів: нові підходи до нагрівання

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

автоклавних систем включають альтернативні джерела енергії та нагрівальні механізми, окрім традиційної пари. Інновації охоплюють мікрохвильове нагрівання, індукційне нагрівання та гібридні системи, які поєднують кілька методів нагрівання. Такі підходи можуть забезпечити вищі швидкості нагрівання, точніший контроль температури та потенційно менше енергоспоживання порівняно з традиційними паровими системами. Відновлення відходів тепла та сталий дизайн автоклавів: сталий розвиток зосереджений на відновленні та повторному використанні тепла від термічної обробки. Ці системи включають теплообмінники, рішення для зберігання тепла та інтеграцію з системами нагрівання об'єктів для максимізації загальної енергоефективності. Сучасні ізоляційні матеріали та стратегічне розміщення обладнання також сприяють мінімізації втрат тепла під час експлуатації.

2. Техніки покращення теплопередачі. Спеціалізовані механізми теплопередачі використовуються для підвищення ефективності та результативності автоклавної термічної обробки [13]. Серед них – передові конструкції теплообмінників, оптимізовані системи циркуляції рідини та інноваційні матеріали з відмінними теплопровідними властивостями. Деякі системи використовують матеріали з фазовими змінами або спеціалізовані теплопереносні рідини для досягнення більш рівномірного та швидкого нагрівання по всій камері автоклаву, що призводить до більш стабільних результатів обробки та скорочення циклів.

3. Системи теплового управління та контролю. Впроваджені передові системи керування для оптимізації теплового управління в автоклавах, які включають точний моніторинг температури, прогностичні алгоритми та адаптивні механізми керування для підтримки оптимальних теплових умов протягом усього циклу обробки. Можливості моніторингу та налаштування в режимі реального часу забезпечують стабільний розподіл тепла та використання енергії, водночас запобігаючи коливанням температури, які можуть вплинути на якість або безпеку обробки. Деякі системи включають зональне керування нагріванням для більш точного теплового контролю.

4. Інтеграція сталого та відновлюваного джерела енергії. Сучасні автоклавні системи дедалі частіше включають сталий і відновлюваний джерела енергії для зниження впливу на довкілля та експлуатаційних витрат. Технології включають інтеграцію сонячної теплової енергії, системи рекуперації відходів тепла та гібридні енергетичні підходи, які поєднують традиційні та відновлювані джерела енергії [13]. Деякі конструкції мають можливості теплового зберігання, що дозволяє використовувати енергію, зібрану в пікові періоди виробництва, під час циклів обробки, оптимізуючи використання періодичних відновлюваних джерел енергії та зберігаючи стабільні можливості термічної обробки.

5. Спеціалізована термічна обробка для конкретних застосувань. Індивідуальні рішення для термічної обробки автоклава відповідають унікальним вимогам конкретних галузей і застосувань. Спеціалізовані системи мають індивідуальні механізми теплопередачі, температурні профілі та умови тиску, оптимізовані для конкретних матеріалів або продуктів. Інновації в цій сфері включають системи затвердіння композитних матеріалів, автоклави

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

харчової промисловості з швидким нагріванням і охолодженням, а також обладнання для медичної стерилізації з точним термоконтролем. Ці специфічні конструкції максимізують ефективність обробки, одночасно забезпечуючи якість і безпеку продукції.

2.2 Розподіл температури в камері автоклаву: гарячі та холодні зони

Мета процесу стерилізації полягає в інактивації мікроорганізмів, присутніх у продукті, які можуть викликати проблеми зі здоров'ям при споживанні. Термічна стерилізація твердих харчових продуктів полягає у піддаванні продукту відносно високим температурам (близько 110-130⁰С) протягом визначеного часу. Типові цикли стерилізації складаються з трьох етапів: етап нагрівання, під час якого температура підвищується від кімнатної до заданої точки; етап стерилізації, під час якого задана температура підтримується протягом визначеного часу та етап охолодження, що має на меті швидке зниження температури продукту, щоб можна було обробляти банки та зберегти якість [16, 22, 23]. Тому у процесі стерилізації продуктів в автоклаві важливими є три параметри: температура стерилізації, час стерилізації та час сушіння. Тому, по суті, процеси в автоклаві засновані на чотирьох взаємозалежними параметрами. Для ефективної стерилізації потрібно контролювати температуру, час, робочий тиск і якість пари. Хоча часто спрощують лише час і температуру, взаємодія між цими чотирма факторами гарантує повне знищення всіх мікроорганізмів.

Найважливіша ідея полягає в тому, що час, температура і тиск ефективні лише у присутності насиченої пари. Повне видалення навколишнього повітря з камери є незаперечним принципом, який дозволяє вологому теплу проникати і стерилізувати кожен поверхню навантаження. Автоклав не стерилізується сухим теплом або простим тиском. Він використовує пару високої температури, де кожен із чотирьох параметрів відіграє важливу роль у забезпеченні ефективності цього процесу.

1. Температура – основний механізм знищення мікроорганізмів, а саме тепло. Стандартна температура, науково підтверджена для парової стерилізації, становить 121⁰С. Температура настільки висока, що незворотно денатурує необхідні білки та ферменти в бактеріях, вірусах і спорах, що призводить до їхньої загибелі.

2. Час – забезпечення повного процесу, де цільову температуру потрібно підтримувати певний час для повної стерилізації. Для стандартного циклу при 121⁰С мінімальний час стерилізації становить 15–20 хвилин. Важливо розуміти, що цей параметр починається лише після досягнення цільової температури та тиску в камері, а не коли цикл починається.

3. Тиск – фактор високих температур. За нормальних атмосферних умов вода кипить при 100⁰С. Щоб досягти необхідної температури стерилізації 121⁰С тиск всередині автоклава потрібно підвищити. Цей зв'язок є законом фізики, бо підвищуючи тиск вище атмосферного тиску, температура кипіння води піднімається до 121⁰С. Сам тиск не є стерилізуючим агентом, бо це необхідна

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

умова для створення пари при високій температурі.

4. Насичення парами – критичне середовище. Стерилізація не спрацює, якщо тепло не передається ефективно до сировини, а насичена пара є середовищем для цієї передачі. Повітря погано проводить тепло і виконує роль ізолятора. Якщо повітря затримується в камері, це створює «холодні зони» і не дає парі мати прямий контакт із поверхнями. Тому видалення всього повітря та заміна його насиченою парою є критично важливими для процесу.

Чотири параметри керуються через три фази циклу автоклаву [22, 24].

Фаза 1. Кондиціонування (видалення повітря) – це підготовча фаза, під час якої камера готується до стерилізації. Вакуумна система видаляє повітря з камери, дозволяючи парі входити і проникати у сировину. Виконується відсмоктування повітря з камери з початковим нагріванням, щоб перевірити герметичність обладнання.

Фаза 2. Нагрівання. В камеру подається пара до досягнення встановлених параметрів температури та тиску. Температура настільки висока, що незворотно денатурує необхідні білки та ферменти в бактеріях, вірусах і спорах, що призводить до їхньої загибелі.

Фаза 3. Стерилізація – після видалення повітря камера наповнюється парою, а тиск і температура підвищуються до встановлених точок (наприклад, 121⁰С). Цикл підтримує ці умови протягом заздалегідь визначеного часу (наприклад, 20 хвилин), після чого відбувається стерилізація. Етап на якому починають проводити термічну обробку за допомогою пари під встановленим тиском і температурою протягом певного періоду.

Фаза 4. Сушіння або охолодження – після фази стерилізації пара вивільняється з камери, що спричиняє зниження тиску. Раптове зниження тиску допомагає швидко випаровувати залишкову вологу від стерилізованої сировини дозволяючи їм виходити сухими. Полягає в доведенні стерилізованого матеріалу до атмосферного тиску для подальшої обробки.

Фази процесу стерилізації, які необхідні для досягнення усунення патогенів представлені на рисунку 2.1.

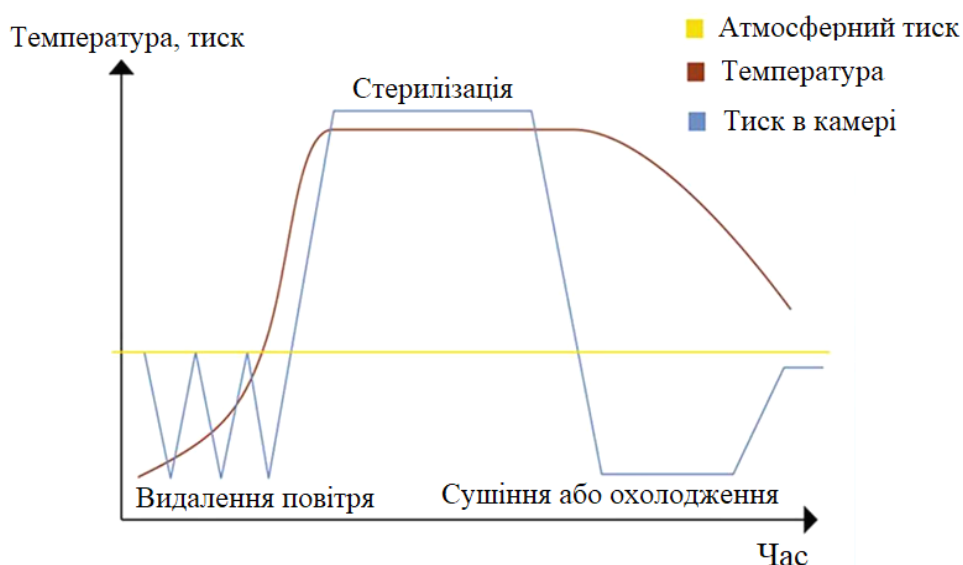


Рисунок 2.1 – Фази циклу стерилізації в автоклаві

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Пара є чудовим агентом для передачі теплової енергії сировині всередині автоклава в порівнянні з молекулами сухого повітря. Під час процесу стерилізації вологою теплотою молекули води конденсуються на холодніших поверхнях і передають приблизно 2500 Дж на грам пари. Ця кількість енергії підвищує температуру мікроорганізмів до рівнів, що їх знищують або позбавляють здатності бути патогенними. Більшість мікробів гинуть при температурі понад 80⁰С, але інші патогени, такі як пріони або спори грибів та бактерій, потребують вищої температури та більш тривалого часу для їхнього знищення та інактивації. Одна з найбільш використовуваних температур в автоклавах – 121⁰С протягом 15–20 хвилин, хоча це залежить від розміру завантаження та вмісту, який потрібно стерилізувати [23]. Іншою поширеною температурою є 134⁰С протягом 3 хвилин. Проте весь процес може тривати до 1,5 години, включаючи час, необхідний для підвищення тиску, зниження тиску та охолодження. Щоб досягти максимального ефекту пари, повітря всередині автоклава повинно досягти точки насичення, яка при температурах, що використовуються в автоклаві, зазвичай відповідає відносній вологості 3–5%. Коли повітря насичене, тобто коли молекули води конденсуються на холодних поверхнях, обсяг зменшується і створюється ефект всмоктування пари у матеріал, що дозволяє гарно проникати парі та покращує процес стерилізації.

Процес теплової стерилізації в автоклаві має кілька недоліків [16]:

- особливо вимоглива операція як щодо енергоспоживання так і щодо часу процесу;
- може негативно впливати на якість продукту, оскільки погіршуються поживні речовини або сенсорні характеристики (наприклад, колір або текстура);
- можливий нерівномірний розподіл температури в камері автоклаву, що створює гарячі та холодні зони, які порушують якість продукції та надійність процесу.

Основна проблема полягає у нерівномірному розподілі температури в камері автоклаву, що створює гарячі та холодні зони, що порушують якість продукції та надійність процесу. Проблема виникає через недостатні механізми конвекції, особливо у великих промислових автоклавах, де сама природна конвекція виявляється недостатньою для стабільного розподілу тепла. Розподіл температури в автоклаві є ключовими аспектами процесу стерилізації в харчовій промисловості, бо процес забезпечує ефективність стерилізації, що є життєво важливим для безпеки та відповідності нормативним стандартам.

Розподіл температури в автоклаві стосується розподілу температур у камері автоклаву під час циклу стерилізації. Вкрай важливо, щоб цей розподіл був рівномірним, щоб кожна частина навантаження всередині автоклава піддавалася необхідному температурі протягом потрібного часу для стерилізації. Коливання розподілу температури може призвести до появи «холодних зон», які не досягають необхідної температури стерилізації, що ставить під загрозу цілісність процесу стерилізації. Холодна зона визначається як область автоклаву, де продукти отримують найменше тепла. Це часто місце, де температура найповільніше досягає межі стерилізації або пастеризації.

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

Відповідно, це критично важлива точка для забезпечення мікробіологічної безпеки оброблених продуктів. Це в свою чергу потребує виявлення:

- розташування холодної зони: визначення найхолоднішої точки в автоклаві, оскільки це найскладніша зона для належної стерилізації;
- температура та час у холодній зоні: визначення температури холодної зони на початку та під час стерилізації, а також вимірювання, скільки часу потрібно, щоб холодна пляма досягла температури плато;
- однорідність термічної обробки по всій камері автоклаву.

Температура в процесі автоклаву є критичним фактором, що впливає на якість і безпеку продуктів, упакованих у герметично закриті контейнери. Харчова промисловість постійно стикається з викликом балансування між якістю та безпекою. Хоча високі температури протягом тривалого часу ефективно знижують присутність бактерій і забезпечують безпеку сировини, вони можуть негативно впливати на органолептичні властивості, такі як смак, колір, текстура та інші властивості [19, 21]. Рівномірний розподіл тепла в камері автоклаву є критично важливим для усунення ризику «холодних зон» або мінімізації тривалості перебування в «найповільнішій точці нагрівання». Холодна зона – це будь-яка ділянка автоклаву, де температура стерилізації не досягнута в межах запрограмованого часу або якщо температура досягнута занадто пізно, що вимагає неприйняттого продовження запрограмованого часу, що може призвести до знищення деяких або всіх продуктів у партії.

Найповільнішій точці нагрівання впливає на загальну якість харчового продукту, але не настільки, щоб надмірно подовжувати запрограмований час процесу. Холодні ділянки та повільні точки нагрівання зазвичай знаходяться між контейнерами. Розташування цих точок може змінюватися залежно від розміру та форми контейнера, тому необхідно отримувати карти розподілу тепла для кожного формату контейнера. Коли всі точки досягають необхідної температури, наступне завдання полягає в утриманні їх у мінімальному діапазоні варіацій. Падіння температури нижче заданої точки, вважається відхиленням. Контрольна точка автоклава має бути встановлена на 0,5⁰C вище мінімальної температури стерилізації, щоб запобігти коливанням (наприклад, 121,5⁰C при мінімальній температурі стерилізації 121⁰C).

Температура в автоклаві контролюється точним регулюванням тиску пари. Оскільки камера стерилізації є герметичним середовищем, температура насиченої пари всередині неї прямо пропорційна її тиску. Система керування автоклавом безпосередньо не регулює температуру. Замість цього він маніпулює клапанами для впорскування або випуску пари, підтримуючи певний тиск, що відповідає бажаній температурі стерилізації, зазвичай 121⁰C або 134⁰C [21]. Основна ідея полягає в тому, що температура автоклава не є незалежною змінною, яку можна встановити безпосередньо. Фізичний наслідок досягнення та підтримки насиченої пари при певному тиску. Тому фактичне керування полягає в тому, щоб усе повітря було видалене і перевіріці співвідношення тиску до температури за допомогою регулярного калібрування. Найбільшою перешкодою для досягнення однорідної температури є залишкові повітряні кишені. Подушки безпеки виконують роль ізоляційного бар'єра,

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

запобігаючи прямому контакту пари з предметами, що стерилізуються. Це створює холодні зони, де температура ніколи не досягає потрібного рівня, навіть якщо основний датчик автоклава показує 121⁰С. Тому початкова фаза будь-якого циклу стерилізації – це кондиціонування, яке має забезпечувати видалення всього повітря з камери.

2.3 Система контролю температури для усунення гарячих та холодних зон в автоклаві

Основна проблема полягає у нерівномірному розподілі температури в камері автоклаву, що створює гарячі та холодні зони, що порушують якість продукції та надійність процесу. Проблема виникає через недостатні механізми конвекції, особливо у великих промислових автоклавах, де сама природна конвекція виявляється недостатньою для стабільного розподілу тепла. Розподіл температури в автоклаві є ключовими аспектами процесу стерилізації в харчовій ості, бо процес забезпечує ефективність стерилізації, що є життєво важливим для безпеки та відповідності нормативним стандартам.

Рівномірний розподіл тепла в камері автоклаву є критично важливим для усунення ризику «холодних зон» або мінімізації тривалості перебування в «найповільнішій точці нагрівання». Холодна зона – це будь-яка ділянка автоклаву, де температура стерилізації не досягнута в межах запрограмованого часу або якщо температура досягнута занадто пізно, що вимагає неприйнятного продовження запрограмованого часу, що може призвести до знищення деяких або всіх продуктів у партії. Це в свою чергу потребує виявлення:

- розташування холодної зони: визначення найхолоднішої точки в автоклаві, оскільки це найскладніша зона для належної стерилізації;
- температура та час у холодній зоні: визначення температури холодної зони на початку та під час стерилізації, а також вимірювання, скільки часу потрібно, щоб холодна пляма досягла температури плато;
- однорідність термічної обробки по всій камері автоклаву.

Пропонується впровадження датчиків температури та тиску для системами контролю, що дозволить здійснювати моніторинг і налаштування в реальному часі під час стерилізації. Для проведення більш точного аналізу процесу стерилізації в автоклаві необхідно впровадити систему контролю температури для усунення гарячих та холодних зон в автоклаві. Системи керування використовуватиме дані сенсорів для регулювання температури через регулювання струмування пари, одночасно коригуючи рівні тиску та час циклу. Передбачено впровадження датчиків для вимірювання температури всередині автоклаву для визначення найхолоднішої точки в автоклаві, оскільки це найскладніша зона для належної стерилізації (рис. 2.2).

Вибір обладнання, інструментів та датчиків:

1. Регульований клапан для регулювання подачі пари. Тип регульований через необхідність точного контролю температури системи під час стерилізації за допомогою PID регулювання. Пара є джерелом енергії, що постачає тепло в

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

систему, тому лише за рахунок її регулювання можливо контролювати температуру та теплову інерцію всередині камери автоклава [17]. Інструментування – це група елементів, які служать для вимірювання, контролю або реєстрації змінних процесу з метою оптимізації використаних у ньому ресурсів. Іншими словами, це вікно у реальність того, що відбувається в процесі, що дозволяє вимірювати події та визначати, чи йде процес у потрібному напрямку, а потім здійснювати контрольовані дії, запрограмовані в ПЛК, які впливають на параметри системи; завдяки цьому можна отримати бажані операційні результати. Інструментування є одним із ключових факторів, що роблять автоматизацію можливою.

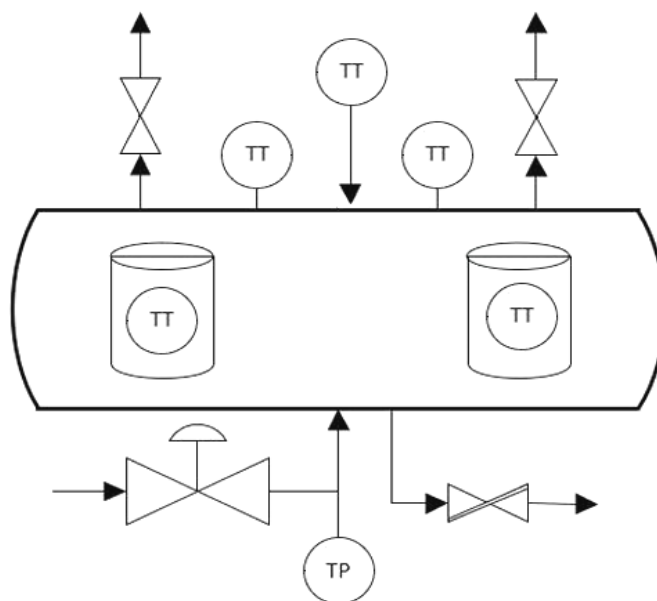


Рисунок 2.2 – Визначення гарячих та холодних зон в автоклаві

На рисунку 2.2 позначено: ТТ – датчик температури, ТР – датчик тиску.

2. Датчик тиску є пристроєм або елементом, який перетворює вхідний сигнал на вихідний, але іншої фізичної природи. Зазвичай бажано перетворювати сигнали фізичних величин, що підлягають вимірюванню, на електричні величини, якими керують у системах автоматизації та управління. Датчик тиску, пристрій, за допомогою якого можна перетворювати змінну тиск у системі на електричну величину [17, 20]. У процесі стерилізації одним із параметрів, що підлягають контролю у системі, є тиск, тому датчик тиску може здійснювати перетворення між фізичним тиском та електричним сигналом. Датчик тиску вимірює тиск у камері, тоді як один або кілька температурних зондів (термопар) вимірюють температуру, зазвичай біля зливу камери, де найімовірніше затримується повітря. Контролер автоклаву постійно порівнює ці показники з точками налаштування циклів. Потім він автоматично відкриває і закриває клапани для регулювання рівня пари, забезпечуючи стабільність цільового тиску та відповідної температури протягом необхідного часу.

3. Датчик температури. Термопары залишаються популярними, оскільки вони надійно та точно працюють у середовищах високого тиску. Безперервний

моніторинг відбувається тому, що ці датчики перетворюють теплову енергію на електричні сигнали. Детектори температури опору забезпечують точні вимірювання температури у широких діапазонах, що робить їх найкращим вибором для довгострокового використання там, де важлива точність. Камери автоклаву мають інфрачервоні датчики, які вимірюють температуру без фізичного контакту, зберігаючи рівномірний розподіл тепла.

Зазвичай контролери можуть безпосередньо приймати сигнал від датчика температури. У промисловому середовищі вони характеризуються наявністю певних параметрів, визначених для стандартизації вимірювання цієї фізичної величини. До цих стандартів належать датчики типу термопари. Якщо у контролера немає входів типу «температура», є можливість використовувати перетворювач, як у випадку з тиском. У процесі стерилізації сигнал температури є критичним у процесі, тому важливим є правильний вибір датчика температури, що відповідає вимогам процесу. Для обладнання установки одиничних операцій температура знаходиться в межах від 18⁰С до 130⁰С.

4. Клапани керування для контролю процесу необхідно впливати на різні змінні системи, такі як тиск повітря всередині автоклава, контроль температури, охолодження рідиною та інші. Усі ці дії керуються контролером, який генерує сигнал керування для забезпечення ефективності дії. Сигнал, згенерований ПЛК є «керуючим». Як впливає з назви, він не обов'язково здатний безпосередньо впливати на клапан. Клапанів всього три: один для контролю подачі повітря, один для контролю дренажу та один для контролю подачі води.

Система оснащена двома датчиками тиску: один на паровій лінії після контрольного клапана, щоб визначати тиск перед потраплянням у автоклав. Другий датчик розташований на конструкції автоклава, таким чином відомо точний тиск, за якого працює система. Крім того, система оснащена 3 датчиками температури. Один з них стаціонарний, а інші два мають силіконовий кабель, який дозволяє переміщати їх для визначення різних точок всередині автоклава або також можна вставляти всередину банки. Мета запропонованої системи керування полягає у тому, щоб мати змогу здійснювати належний контроль температури під час процесу для усунення гарячих та холодних зон в автоклаві.

Всі дані будуть збиратися за допомогою датчиків, щоб оператор завжди знав, що відбувається, і міг виявити, якщо щось не так. Контроль температури важливий, оскільки це одна з змінних, яка найчастіше регулюється в пошуках ефективного процесу. Тому система повинна відтворювати те, що вимагається. Крім того, контроль рівномірності температури є життєво необхідним для отримання якісної сировини. Загалом для вимірювання рівномірності використовують термопари, а також температурні датчики, пов'язані з контролером, щоб відслідковувати бажаний температурний профіль.

Що стосується тиску, контроль є простішим, оскільки він полягає у клапані подачі рідини в камеру, який перекривається відповідно до обраного налаштування тиску. Потім, у міру того як температура рідини зростає, тиск

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також зростає, тому встановлюють запобіжні клапани, які підтримують заданий рівень. Зазвичай встановлюють один вхідний клапан і кілька маленьких запобіжних клапанів, щоб тиск не стрибав. Також існує випускний клапан, який використовується після завершення процесу, щоб гаряче повітря могло бути безпечно випущене (у допоміжний резервуар або назовні).

Задля рівномірного нагріву та усунення гарячих та холодних зон в автоклаві доцільно включення теплообмінника для зберігання тепла та інтеграцію з системами нагрівання об'єктів для максимізації загальної енергоефективності. Тому доцільно застосовувати у процесі нагрівання води пластинчастий теплообмінник. На початку процесу попередньо нагріта вода до 60⁰С подається до стерилізатора і циркулює через теплообмінник. Під час процесу температура води у стерилізаторі підвищується, поки не досягне робочої точки (зазвичай температура між 110 та 130⁰С. Таку температуру підтримують протягом визначеного часу, після чого паровий клапан у теплообміннику закривається і подається холодна вода для охолодження банок.

Пластинчастий теплообмінник складається з кількох пластин, через які циркулюють холодні та гарячі рідини (рис. 2.3). На консервному заводі потік гарячої рідини входить у пластинчастий теплообмінник з верхнього боку. Система дозволяє надходження гарячої рідини через кожну другу пластину. Коли рідина досягає кінця теплообмінника вона повертається через трубу, розташовану внизу системи [16, 25, 26]. Решта пластин відповідають холодній рідині, яка надходить знизу і виходить зверху. Холодна та гаряча рідини відповідно відповідають воді та насиченій парі. Динаміка температури пластинчастого теплообмінника визначається через баланс енергії в кожній із пластин:

- температура потоку холодної води на вході однакова для всіх пластин;
- температура потоків пари на вході однакова для всіх пластин;
- пластинчастий теплообмінник добре ізольований;
- у потоках пари чи води не відбувається фазових переходів;
- швидкість потоку рідини у всіх пластинах холодної води однакова;
- швидкість потоку рідини у всіх пластинах пари однакова.

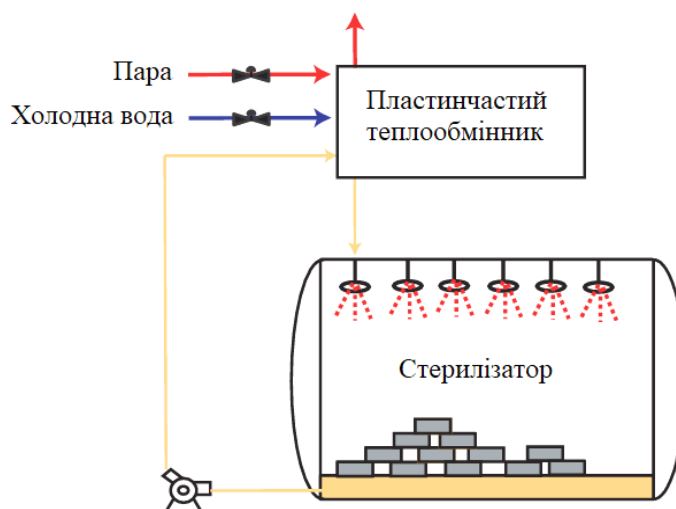


Рисунок 2.3 – Оптимізована конструкція автоклава з пластинчастим теплообмінником та вакуумним насосом

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Загальна довжина тискового резервуара (стерилізаційного блоку).

Для цього здійснюється додавання довжини циліндричного тіла та загальної висоти тороїдної головки [18]

$$L_{t_i} = L_c + 2(h_{c_t})$$

де L_c – це довжина циліндричного тіла;

L_{t_i} – внутрішня загальна довжина тискової посудини;

h_{c_t} – загальна висота торисферичної головки.

$$L_{t_i} = 2000 \text{ mm} + 2(267 \text{ mm})$$

$$L_{t_i} = 2534 \text{ mm}$$

Додаючи необхідну товщину у конструкцію посудини під тиском, отримуємо наступну загальну зовнішню довжину

$$L_{t_e} = L_{t_i} + 2 * t$$

$$L_{t_e} = 2534 \text{ mm} + 2(5 \text{ mm})$$

$$L_{t_e} = 2544 \text{ mm}$$

де L_{t_e} – загальна зовнішня довжина судини під тиском;

t – товщина судини під тиском.

Розрахунок об'єму циліндричного тіла [18]

$$V_c = \pi * r_i^2 * L_c$$

де V_c – об'єм циліндричного тіла;

r_i^2 – внутрішній радіус циліндричного тіла;

L_c – довжина циліндричного тіла.

Маючи дані про довжину та діаметр внутрішнього циліндричного тіла отримуємо наступний результат

$$V_c = \pi * (700 \text{ mm})^2 * 2000 \text{ mm}$$

$$V_c = \pi * 490000 \text{ mm}^2 * 2000 \text{ mm}$$

$$V_c = 3078760801 \text{ mm}^3 \approx 3.08 \text{ m}^3$$

Розрахунок об'єму торисферичних кришок [18]

$$V_{c_t} = 0.0809 * D_i^3$$

де V_{c_t} – об'єм тороїдальної головки;

D_i^3 – внутрішній діаметр.

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

$$V_{c_t} = 0.0809 * (1400 \text{ mm})^3$$

$$V_{c_t} = 221989600 \text{ mm}^3 \approx 0.22 \text{ m}^3$$

Загальна об'ємна ємність посудини під тиском. Після отримання об'єму циліндричного корпусу та торисферичної головки переходять до розрахунку загальної об'ємної ємності обладнання [18]

$$V_T = V_c + 2 * V_{c_t}$$

де V_T – об'ємна ємність резервуара під тиском.

$$V_T = 3.08 \text{ m}^3 + 2(0.22 \text{ m}^3)$$

$$V_T = 3.52 \text{ m}^3$$

Об'ємна вага циліндричного тіла.

$$W_c = 0.044 \text{ m}^3 * 8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$W_c = 352 \text{ kg}$$

де W_c – вага циліндричного тіла.

Об'ємна вага торисферичної головки

$$W_{c_t} = 0.010 \text{ m}^3 * 8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$W_{c_t} = 80 \text{ kg}$$

Загальна об'ємна вага порожнього тискового резервуара. Після визначення ваги циліндричного корпусу та торисферичної головки, переходять до розрахунку загальної ваги порожнього тискового резервуара [18]

$$W_T = W_c + 2(W_{c_t})$$

де W_T – загальна вага резервуара під тиском.

$$W_T = 352 \text{ kg} + 2(80 \text{ kg})$$

$$W_T = 512 \text{ kg}$$

До результату ваги резервуара додають ще 6% через обладнання, яке має апарат, зокрема труби, насадки тощо.

$$W_{T6\%} = 512 \text{ kg} + (512 \text{ kg} \times 0.06)$$

$$W_{T6\%} = 512 \text{ kg} + 30.72 \text{ kg}$$

$$W_{T6\%} = 542.72 \text{ kg}$$

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

де $W_{T6\%}$ – загальна вага резервуара та обладнання.

Слід зазначити, що вага отриманого резервуара вказана для випадку, коли обладнання повністю порожнє.

Вага судини під тиском за умов стерилізації. У процесі роботи воду вважають основною рідиною всередині обладнання [18]

$$W = W_{T6\%} + (V_T * \rho_{H_2O})$$

де ρ_{H_2O} – густина води.

$$W = 542.72 \text{ kg} + (3.52 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})$$
$$W = 4062.72 \text{ kg}$$

Наприкінці процесу летальність мікроорганізмів у найхолоднішій точці повинна перевищувати певне значення зазвичай 8 хв. Профілі відповідають двом типовим температурам стерилізації: 116 і 121⁰С. Можна виділити кілька аспектів [16]:

- цикли, проведені при 121⁰С, очевидно, коротші;
- навіть при одній і тій же температурі стерилізації можна спостерігати велику змінність (у фінальному часі), що спричинено великою змінністю часу нагрівального етапу через: різну кількість стерилізаторів, що призводить до падіння робочого тиску або різну кількість банок, завантажених у стерилізатори;
- змінність часу на етапі нагрівання змушує оператора приймати рішення щодо кінцевого часу циклу, щоб забезпечити безпеку та уникнути відхилення партії;
- нові цикли є консервативними (летальність більша, ніж необхідно), що призводить до втрат якості та непотрібного збільшення часу процесу;
- рівномірний нагрів уможливорює усунення гарячих та холодних зон в автоклаві.

На основі вище зазначеного можна вважати, що у харчовій промисловості автоклави є необхідним обладнанням для забезпечення терміну придатності продукції, що стерилізується всередині ємності. У процесі стерилізації продуктів в автоклаві важливими є параметри: температура стерилізації, час стерилізації, тиск та час сушіння. Для ефективної стерилізації потрібно контролювати температуру, час, робочий тиск і якість пари.

Зазначено, що оптимізація теплопередачі є однією з критичних завдань, що зосереджено на досягненні більш рівномірного розподілу температури по всій камері обробки та всередині сировини, що обробляється. Основна проблема полягає у нерівномірному розподілі температури в камері автоклаву, що створює «гарячі» та «холодні» зони, що порушують якість продукції та надійність процесу. Проблема виникає через недостатні механізми конвекції, особливо у великих промислових автоклавах, де сама природна конвекція виявляється недостатньою для стабільного розподілу тепла. Розподіл

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температури в автоклаві є ключовими аспектами процесу стерилізації в харчовій промисловості, бо процес забезпечує ефективність стерилізації, що є життєво важливим для безпеки та відповідності нормативним стандартам.

Рівномірний розподіл тепла в камері автоклаву є критично важливим для усунення ризику «холодних зон» або мінімізації тривалості перебування в «найповільнішій точці нагрівання». Холодна зона – будь-яка ділянка автоклаву, де температура стерилізації не досягнута в межах запрограмованого часу або якщо температура досягнута занадто пізно, що вимагає неприйнятного продовження запрограмованого часу, що може призвести до знищення деяких або всіх продуктів у партії. Розподіл температури в автоклаві стосується розподілу температур у камері автоклаву під час циклу стерилізації. Вкрай важливо, щоб цей розподіл був рівномірним, щоб кожна частина навантаження всередині автоклава піддавалася необхідному температурі протягом потрібного часу для стерилізації. Коливання розподілу температури може призвести до появи «холодних зон», які не досягають необхідної температури стерилізації, що ставить під загрозу цілісність процесу стерилізації, що потребує виявлення:

- розташування холодної зони, а саме визначення найхолоднішої точки в автоклаві, оскільки це найскладніша зона для належної стерилізації;
- температура та час у холодній зоні задля визначення температури холодної зони на початку та під час стерилізації, а також вимірювання, скільки часу потрібно, щоб холодна пляма досягла температури плато;
- однорідність термічної обробки по всій камері автоклаву.

Основна проблема полягає у нерівномірному розподілі температури, що створює гарячі та холодні зони, які порушують якість продукції та надійність процесу. Рівномірний розподіл тепла в камері автоклаву є важливим для усунення «холодних зон» або мінімізації тривалості перебування в «гарячій зоні». Запропоновано процес ліквідації «гарячих» та «холодних» зон під час стерилізації сировини, що полягає в забезпеченні абсолютної теплопередачі через модернізацію обладнання та автоматизацію контролю. Вважається за доцільне для витіснення повітря та забезпечення рівномірного розподілу гарячої пари використовувати попереднє вакуумування. Перед подачею пари вакуумний насос відкачує повітря з камери, що дозволяє парі миттєво і рівномірно заповнити весь простір. Примусове видалення повітря виключить утворення повітряних кишень в середині робочої камери. Задля рівномірного нагріву та усунення «гарячих» та «холодних» зон доцільно включення теплообмінника для зберігання тепла та інтеграцію з системою нагрівання об'єктів для максимізації загальної енергоефективності. Здійснено необхідні розрахунки для стерилізаційного резервуара автоклаву

Впровадження датчиків температури та тиску задля здійснення належного контролю під час процесу стерилізації для усунення «гарячих» та «холодних» зон в автоклаві. Система оснащена двома датчиками тиску, де один знаходиться на паровій лінії після контрольного клапана, а другий датчик застосовується для визначення точного тиску за якого працює система. Система оснащена трьома датчиками температури, де один з них стаціонарний, а інші два мають силіконовий кабель, який дозволяє переміщати їх для визначення точок всередині автоклава для виявлення проблемних зон.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Фактори, що впливають на процес стерилізації

Мета кожної системи стерилізації полягає в інактивації всіх життєздатних мікроорганізмів, які можуть становити загрозу для споживачів або можуть призвести до зниження якості та стабільності продукту. Щоб досягти цілей процес стерилізації повинен бути правильно обраний і налаштований для запланованих об'єктів стерилізації. Існує багато факторів, які впливають на розробку процесу та його ефективність.

Виділення повітря – це процедура, що проводиться для видалення повітря, яке знаходиться всередині структури (автоклава). У цей період видаляється повітря, що міститься в камері, що сприяє подальшому усуненню повітря з пакетів та контейнерів. Метою є можливість працювати з системою, повністю заповненою парою. Таким чином можна усунути наявність неконденсованих газів. Випуск повітря можна здійснювати різними способами, найпростіший з них – використовувати ручні клапани у верхній частині структури та відкривати їх під час наповнення парою [1]. Під час цього процесу пара, що надходить з нижньої частини автоклава, витісняє повітря назовні, оскільки водяна пара менш щільна, ніж повітря, через що вона піднімається. Цей метод мало надійний, оскільки точно невідомо, яка кількість повітря видалена, тому для більшої надійності системи використовують послідовність випуску. З іншого боку, також застосовують випускні клапани, які є елементами механізму, що видаляють повітря з системи за допомогою методу різниці температур між повітрям і парою. Цей тип систем є найбільш використовуваним через свою надійність під час процесу, оскільки клапан автоматично здійснює видалення без втручання будь-якого агента.

Продування конденсату – це скупчення пари, яка зазнала фазовий перехід у рідину під час нагрівання внутрішньої структури автоклава та передачі тепла консервам. Ця рідина накопичується у нижній частині автоклава під час процесу, збільшуючи час нагрівання всередині та змінюючи тиск у системі, тому видалення конденсату є надзвичайно важливим. Для цього необхідно мати клапан у нижній частині конструкції або парову пастку, яка періодично видаляє конденсат залежно від його обсягу. Існують процеси, у яких цей конденсат або рідина з високою температурою відновлюється та подається назад у котел, з метою використати енергію цієї рідини та полегшити роботу котла.

Тепловий шок – це кінцева стадія процесу стерилізації, хоча більш поширена у процесах пастеризації. Мета цього шоку полягає в інактивації мікробіологічних ферментів шляхом їхнього впливу на різку зміну

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення обладнання для стерилізації консервованих продуктів				Лім.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Захарченко									
Перевір.		Гончаренко								37	6
									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
Н. Контр.		Омельченко									
Затверд.		Цвіркун									

температури. Для цього після завершення процесу стерилізації або пастеризації матеріал піддають дії холодної води або повітря, що викликає цю швидку зміну температури.

Внутрішній нагрів продукту. Важливо враховувати, що температура всередині автоклава підвищується з іншою швидкістю, ніж всередині консерви, оскільки всередині упаковки теплоємність продукту відрізняється від теплоємності зовні. З цієї причини під час процесу стерилізації необхідно враховувати, що ефективний час теплової летальності повинен розраховуватися за температурою продукту, а не структури.

3.2 Моделювання теплопередачі в середині автоклаву

Стерилізація – це термічний процес, який застосовується в різних типах промисловості, найбільш поширеними серед яких є харчова промисловість. Цей процес полягає у тому, щоб обробити продукт при високій температурі понад 100°C протягом певного часу з метою отримання безпечного продукту, який може зберігатися тривалий час за кімнатної температури [1]. У харчовій промисловості різниця між цим процесом та пастеризацією полягає в характеристиках продукту та його здатності витримувати високі температури, оскільки стерилізація є більш інтенсивним тепловим процесом. Повний цикл стерилізації в автоклаві складається з трьох окремих етапів:

1. Видалення повітря. На початковому етапі автоклав видаляє повітря з камери за допомогою вакуумного насосу, створюючи середовище з низьким тиском. Цей етап гарантує, що пара зможе ефективно проникнути в усі ділянки та дістатися до вантажу для належної стерилізації.

2. Стерилізація: Після видалення повітря температура всередині автоклава досягає потрібного рівня. Насичена пара, що утворюється під тиском, знищує бактерії, віруси та інші мікроорганізми. Типова температура для стерилізації становить 121°C при тиску $1,1 \text{ кг/см}^2$. Тривалість стерилізації залежить від об'єму навантаження але зазвичай вважається 15-20 хвилин.

3. Охолодження/сушіння. Після стерилізації виділяється пара і автоклав охолоджується. Коли температура стає безпечною, дверцята відкриваються і стерилізована сировина готова до використання.

Ефективне видалення повітря, правильне розміщення сировини і час прогріву є ключовими для успішного здійснення стерилізації в автоклаві. Передача тепла всередині автоклава відбувається шляхом конвекції, оскільки рідина, у цьому випадку пара при контакті з банками передає енергію всім елементам всередині автоклава, досягаючи температури стерилізації. Спостереження за поведінкою рідини під час роботи, коли вона контактує з банками, дозволяє провести аналіз швидкостей та розподілу температури всередині резервуару для стерилізації. Для оцінки поведінки рідини будемо використовувати програмне забезпечення SolidWorks, яке дозволяє проводити симуляції рідини як зовні так і всередині швидко та ефективно, додаючи умови входу та виходу рідини.

Фаза 1. Кондиціонування (видалення повітря) – це підготовча фаза під час

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

якої камера готується до стерилізації. Вакуумна система видаляє повітря з камери, дозволяючи парі входити і проникати у сировину. Виконується відсмоктування повітря з камери з початковим нагріванням, щоб перевірити герметичність обладнання. На рисунку 3.1 за допомогою опції контурів можна побачити всередині камери автоклава, як температура пари при вході передається всім банкам у кошику при цьому видно, що на фазі кондиціонування не відбувається рівномірного розподілу тепла, що спричиняє затримку часу на цьому етапі.

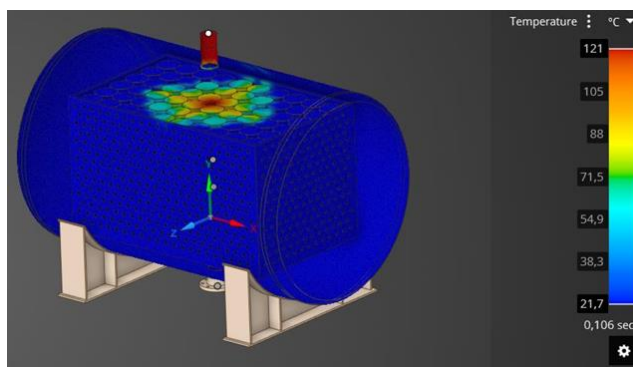


Рисунок 3.1 – Розподіл температури на стадії кондиціонування та попереднього нагріву

Фаза 2. Нагрівання. В камеру подається пара до досягнення встановлених параметрів температури та тиску. Температура настільки висока, що незворотно денатурує необхідні білки та ферменти в бактеріях, вірусах і спорах, що призводить до їхньої загибелі (рис. 3.2).

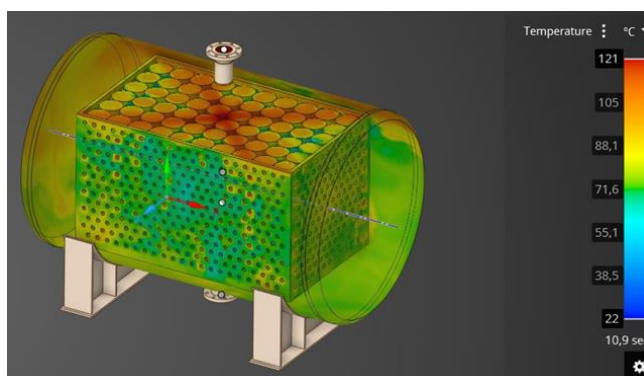


Рисунок 3.2 – Контур розподілу температури на стадії нагрівання

Після 10 хвилин завершення етапу попереднього вакууму, видаляючи повітря зсередини автоклава, розпочинається етап нагрівання, як можна побачити на рисунку 3.2 у різних точках всередині автоклава спостерігаються температури нижче 80⁰С. Цей етап полягає у підвищенні температури та тиску до досягнення етапу стерилізації.

Фаза 3. Стерилізація – після видалення повітря камера наповнюється парою, а тиск і температура підвищуються до встановлених точок (наприклад, 121⁰С). Цикл підтримує ці умови протягом заздалегідь визначеного часу

(наприклад, 20 хвилин), після чого відбувається стерилізація. Етап на якому починають проводити термічну обробку за допомогою пари під встановленим тиском і температурою протягом певного періоду.

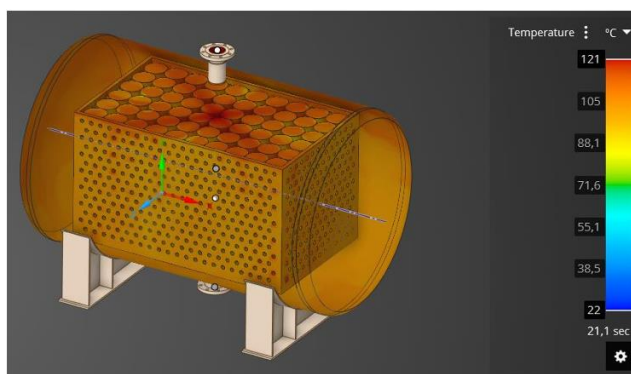


Рисунок 3.3 – Розподіл температури на стадії стерилізації

На рисунку 3.3 можна побачити, що після завершення 10 хвилин етапу нагрівання розпочинається етап стерилізації але він не досягає правильної температури відповідно до встановленого часу, оскільки видно, що в деяких зонах внутрішньої камери температура не досягає 121°C , що в реальному житті спричинило б затримку в виробничій потужності для якої вона була спроектована. Результати проведеного моделювання теплопередачі з однією основною входною точкою показали, що не відбувається рівномірного розподілу тепла в камері автоклаву і відповідно не забезпечується досягнення температури стерилізації у встановлений час через неналежний розподіл температури всередині обладнання.

Рівномірний розподіл тепла в камері автоклаву є критично важливим для усунення ризику «холодних зон» та «гарячих зон» або мінімізації тривалості перебування в «найповільнішій точці нагрівання». Розподіл температури в автоклаві стосується розподілу температур у камері автоклаву під час циклу стерилізації. Вкрай важливо, щоб цей розподіл був рівномірним, щоб кожна частина навантаження всередині автоклава піддавалася необхідному температурі протягом потрібного часу для стерилізації. Коливання розподілу температури може призвести до появи «холодних зон», які не досягають необхідної температури стерилізації, що ставить під загрозу цілісність процесу стерилізації [18]. Для покращення проблеми розподілу температури всередині автоклава проводиться додавання другого входу до циліндричної частини резервуара під тиском (подача стисненого повітря, а саме протитиск). Так само виконуються попередні процеси для моделювання потоку, такі як вилучення об'єму всередині автоклава та додавання властивостей входу та виходу потоку, у цьому випадку швидкості та умов теплопередачі за конвекцією.

На рисунку 3.4 можна побачити автоклав з двома входами в якому спостерігається покращений розподіл пари та контакт із іншими банками, якого не було при наявності лише одного входу. Що стосується теплообміну на етапі кондиціонування та попереднього нагріву, коли пара контактує з банками, видно, як температура розподіляється по всіх банках у кошику, покращуючи рівномірність розподілу тепла в камері автоклаву.

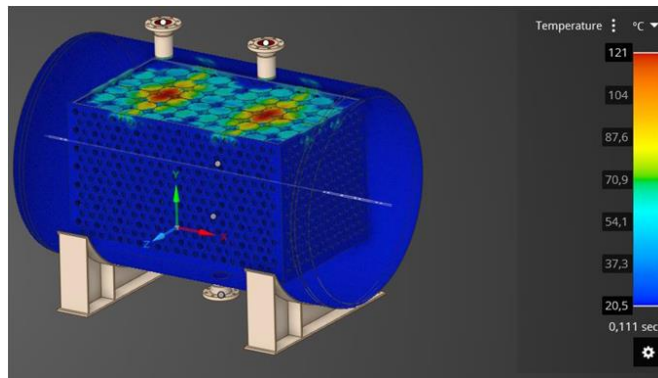


Рисунок 3.4 – Розподіл температури на стадії кондиціонування та попереднього нагріву

Після 10 хвилин завершення етапу попереднього вакууму, видаляючи повітря зсередини автоклава, розпочинається етап нагрівання, як можна побачити на рисунку 3.4 у різних точках всередині автоклава спостерігаються температури вище 80°C. Цей етап полягає у підвищенні температури та тиску до досягнення етапу стерилізації (рис. 3.5).

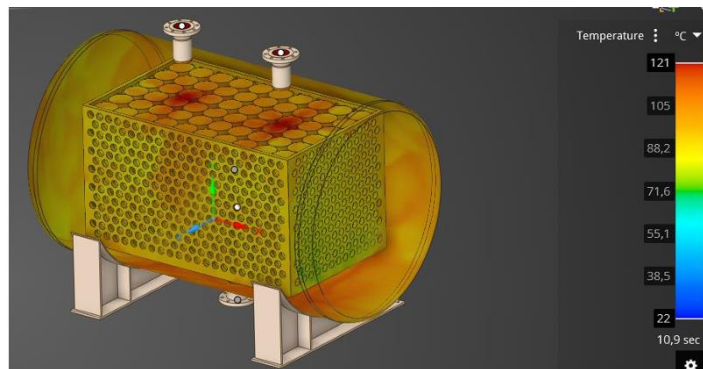


Рисунок 3.5 – Розподіл температури на стадії нагрівання

Після того як етап нагрівання завершується, починається фаза стерилізації під час якої весь внутрішній простір автоклава знаходиться при температурі 121°C. На рисунку 3.6 можна побачити, що після завершення 10 хвилин етапу нагрівання розпочинається етап стерилізації, який досягає правильної температури відповідно до встановленого часу, а саме 121°C.

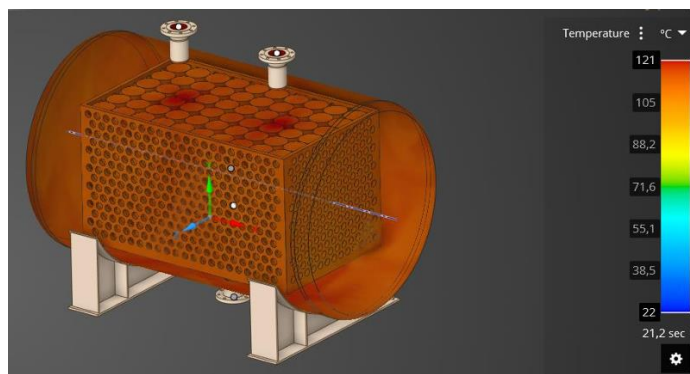


Рисунок 3.6 – Розподіл температури на стадії стерилізації

У таблицях 3.1 та 3.2 наведено порівняльний аналіз середніх температур, досягнутих на кожному етапі у процесі моделювання двох автоклавів.

Таблиця 3.1 – Порівняльний аналіз температури на стадії стадії кондиціонування та попереднього нагріву

Автоклав	Температура	Загальний час
З одним входом	71,6 ⁰ С	10 хвилин
З двома входами	88,2 ⁰ С	10 хвилин

Таблиця 3.2 – Порівняльний аналіз температури на стадії стерилізації

Автоклав	Температура	Загальний час
З одним входом	90 ⁰ С	20 хвилин
З двома входами	121 ⁰ С	20 хвилин

Результати проведеного моделювання теплопередачі з двома основними вхідними точками показали, що відбувається рівномірний розподіл тепла в камері автоклаву і відповідно забезпечується досягнення температури стерилізації у встановлений час через належний розподіл температури всередині обладнання через досягнення температури стерилізації 121⁰С.

На основі вище зазначеного можна вважати, що стерилізація – це термічний процес, який застосовується в різних типах промисловості, найбільш поширеними серед яких є харчова промисловість. Цей процес полягає у тому, щоб обробити продукт при високій температурі понад 100⁰С протягом певного часу з метою отримання безпечного продукту, який може зберігатися тривалий час за кімнатної температури. Мета кожної системи стерилізації полягає в інактивації всіх життєздатних мікроорганізмів, які можуть становити загрозу для здоров'я споживачів або можуть призвести до зниження якості та стабільності продукту.

Здійснено моделювання теплопередачі в середині автоклаву за допомогою програмного забезпечення SolidWorks, яке дозволяє проводити симуляції рідини як зовні так і всередині швидко та ефективно, додаючи умови входу та виходу рідини. Повний цикл стерилізації в автоклаві складається з трьох окремих етапів: видалення повітря та початкове нагрівання, нагрівання, стерилізація, охолодження/сушіння.

Результати проведеного моделювання теплопередачі з однією основною вхідною точкою показали, що не відбувається рівномірного розподілу тепла в камері автоклаву і відповідно не забезпечується досягнення температури стерилізації у встановлений час через неналежний розподіл температури всередині обладнання. Результати проведеного моделювання теплопередачі з двома основними вхідними точками показали, що відбувається рівномірний розподіл тепла в камері автоклаву і відповідно забезпечується досягнення температури стерилізації у встановлений час через належний розподіл температури всередині обладнання через досягнення температури стерилізації 121⁰С.

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню обладнання для стерилізації консервованих продуктів. У роботі зазначено, що у складному світі харчової промисловості безпека та якість продукції мають першочергове значення. Для досягнення цих цілей застосовуються різні методи збереження для усунення або інактивації мікроорганізмів, які можуть викликати захворювання при цьому стерилізація та пастеризація є особливо ефективними.

У першому розділі здійснено аналіз обладнання для стерилізації консервованих продуктів. Вважається, що стерилізація – це процес усунення патогенних форм життя, таких як бактерії, віруси тощо. Застосування цього процесу спрямоване на очищення харчових продуктів. На сьогодні цей процес має велике значення в харчовій промисловості, оскільки дозволяє забезпечити більший термін зберігання продуктів, а також гарантує їхню безпечність, дозволяючи зберігати їх протягом тривалого часу без необхідності використання системи охолодження. Автоклави є найпоширенішим обладнанням для стерилізації завдяки своїй універсальності у переробці широкого спектра харчових продуктів – від консервів до продуктів, які упаковані у гнучкі контейнери.

Аналіз наукових джерел дав змогу узагальнити поняття «автоклав». Автоклави – це пристрої для стерилізації, які використовують пару або перегріту воду, що використовуються в харчовій промисловості для забезпечення безпеки та якості продукції. В харчовій промисловості для обробки та стерилізації продуктів харчування використовуються два основні типи автоклавів: статичні автоклави та динамічні автоклави, такі як роторні або підвісні автоклави. У процесі стерилізації продуктів в автоклаві важливими є параметри: температура стерилізації, час стерилізації, тиск та час сушіння, які невід’ємно пов’язані з повним циклом стерилізації в автоклаві, що складається з трьох окремих етапів: видалення повітря, нагрівання, стерилізація, охолодження/сушіння.

Другий розділ присвячено оптимізації автоклаву для стерилізації харчової сировини. Оптимізація теплопередачі є однією з критичних завдань, що зосереджено на досягненні більш рівномірного розподілу температури по всій камері обробки та всередині сировини, що обробляється. Основна проблема полягає у нерівномірному розподілі температури в камері автоклаву, що створює «гарячі» та «холодні» зони, що порушують якість продукції та надійність процесу. Розподіл температури в автоклаві є ключовими аспектами процесу стерилізації в харчовій промисловості, бо процес забезпечує ефективність стерилізації, що є життєво важливим для безпеки та відповідності нормативним стандартам. Рівномірний розподіл тепла в камері автоклаву є критично важливим для усунення ризику «холодних зон» або мінімізації

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Захарченко			Удосконалення обладнання для стерилізації консервованих продуктів			Літ.		Арк.	Аркуші	
Перевір.		Гончаренко								43	2	
Н. Контр.		Омельченко						ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО				
Затверд.		Цвіркун										

тривалості перебування в «найповільнішій точці нагрівання». Холодна зона – це будь-яка ділянка автоклаву, де температура стерилізації не досягнута в межах запрограмованого часу або якщо температура досягнута занадто пізно. Вкрай важливо, щоб цей розподіл був рівномірним, щоб кожна частина навантаження всередині автоклава піддавалася необхідному температурі протягом потрібного часу для стерилізації. Коливання розподілу температури може призвести до появи «холодних зон», які не досягають необхідної температури стерилізації, що ставить під загрозу процесу стерилізації.

Запропоновано процес ліквідації «гарячих» та «холодних» зон під час стерилізації сировини, що полягає в забезпеченні абсолютної теплопередачі через модернізацію обладнання та автоматизацію контролю. Вважається за доцільне для витіснення повітря та забезпечення рівномірного розподілу гарячої пари використовувати попереднє вакуумування. Перед подачею пари вакуумний насос відкачуватиме повітря з камери, що дозволяє парі миттєво і рівномірно заповнити весь простір. Примусове видалення повітря виключить утворення повітряних кишень в середині робочої камери. Також доцільно включення теплообмінника для зберігання тепла та інтеграцію з системою нагрівання об'єктів для максимізації загальної енергоефективності.

Впровадження датчиків температури та тиску для системами контролю дозволить здійснювати моніторинг і налаштування в реальному часі під час стерилізації. Системи керування використовуватиме дані сенсорів для регулювання температури через регулювання струмування пари, одночасно коригуючи рівні тиску та час циклу. Передбачено впровадження датчиків для вимірювання температури всередині автоклаву для визначення найхолоднішої точки в автоклаві, оскільки це найскладніша зона для належної стерилізації. Система оснащена двома датчиками тиску, де один знаходиться на паровій лінії після контрольного клапана, щоб визначати тиск перед потраплянням у автоклав. Другий датчик розташований на конструкції автоклава, таким чином відомо точний тиск, за якого працює система. Система оснащена трьома датчиками температури, де один з них стаціонарний, а інші два мають силіконовий кабель, який дозволяє переміщати їх для визначення різних точок всередині автоклава для виявлення проблемних зон. Мета запропонованої системи керування полягає у тому, щоб мати змогу здійснювати належний контроль температури для усунення «гарячих» та «холодних» зон в автоклаві.

Третій розділ присвячено моделюванню теплопередачі в середині автоклаву за допомогою програмного забезпечення SolidWorks. Результати проведеного моделювання теплопередачі з однією основною вхідною точкою показали, що не відбувається рівномірного розподілу тепла в камері автоклаву і відповідно не забезпечується досягнення температури стерилізації у встановлений час через неналежний розподіл температури всередині обладнання. Результати проведеного моделювання теплопередачі з двома основними вхідними точками показали, що відбувається рівномірний розподіл тепла в камері автоклаву і відповідно забезпечується досягнення температури стерилізації у встановлений час через належний розподіл температури всередині обладнання через досягнення температури стерилізації 121⁰С.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Desarrollo de un sistema automático para el proceso de esterilización de enlatados para. URL: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/666992/Mari%c3%b1o_TE.pdf?sequence=3.
2. Métodos de conservación de los alimentos. URL: <https://educacion.sanjuan.edu.ar/mesj/LinkClick.aspx?fileticket=GNIJiGqb7jw%3D&tabid=679&mid=1746>.
3. Métodos para la conservación de alimentos. URL: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/FS/FS-15-S-W.pdf>.
4. Правила зберігання харчових продуктів. Режим доступу: <https://www.galecotrade.com/pravyla-obrobky-i-zberigannya-produktiv-harchuvannya/>.
5. Процеси стерилізації та пастеризації консервів. Режим доступу: <https://foodtechnology.pro/tehnologiya-pererobki-plodiv-ta-vochiv/protsesi-sterilizatsiyi-ta-pasterizatsiyi-konserviv>.
6. Види стерилізації: огляд методів та як обрати найкращий. Режим доступу: <https://homester.com.ua/vidi-sterilizaczi%D1%97/>.
7. Принципи термічної обробки упакованих харчових продуктів. Режим доступу: <https://ukrayinska.libretexts.org>.
8. Sterilization methods in pharmaceutical manufacturing: an exhaustive analysis of equipment, rooms and processes. URL: <https://idisl.info/en/metodos-de-esterilizacion-en-la-fabricacion-farmaceutica-un-analisis-exhaustivo-de-equipos-salas-y-procesos/>.
9. Tipos de esterilización: técnicas y aplicaciones en diversos campos. URL: https://estudyando.com/metodos-de-esterilizacion-tecnicas-y-aplicaciones-en-diversos-campos/#google_vignette.
10. Промислові автоклави: етапи роботи та конструкція. Режим доступу: <https://report.if.ua/socium/promyslovi-avtoklavy-etapy-roboty-ta-konstrukciya/>.
11. Автоклави. Режим доступу: <https://gvp.com.ua/ua/kataloh/avtoklavy>.
12. Autoclaves in the Food Industry. URL: <https://www.gaitech.com/en/blog/autoclaves-food-industry/>.
13. Autoclave Thermal Processing: Energy Use and Heat Transfer. URL: <https://eureka.patsnap.com/report-autoclave-thermal-processing-energy-use-and-heat-transfer>.
14. Промислові автоклави: технологічна революція у сфері стерилізації та ключ до майбутнього виробництва. Режим доступу: <https://steiner.com.ua/promyslovi-avtoklavy-tehnologichna-revolyucziya-u-sferi-sterilizacziyi-ta-klyuch-do-majbutnogo-vyrobnycztva>.
15. Автоклави для харчової промисловості. Режим доступу: <https://spels.com.ua/avtoklavy-dlia-kharchovoi-promyslovosti>.
16. Real time optimization of the sterilization process in a canning industry. URL: <https://www.researchgate.net/publication/339748153>.

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

17. Diseño de un sistema automático para el control y supervisión de una autoclave. URL: <https://ciencia.lasalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/186bd0dd-8500-4a91-87f2-e86aa2c71a14/content>.

18. Diseño y simulación de un autoclave para la esterilización de alimentos enlatados. URL: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/15aa0c26-c969-4b71-b3ee-d5c1a42c7ee8/content>.

19. Температура і тиск в автоклаві. Режим доступу: <https://pogliad.ua/temperatura-i-tysk-v-avtoklavi-sekret-y-idealnoyi-sterylizacziyi/>

20. Автоматизація вертикальних автоклавів. Режим доступу: https://www.svaltera.ua/solutions/typical/food_industry/7363.

21. Equilibrio entre seguridad alimentaria y calidad: un desafío en el proceso de autoclave. URL: <https://blog.surdry.com/es/equilibrio-entre-seguridad-alimentaria-y-calidad-un-desaf%C3%ADo-en-el-proceso-de-autoclave>

22. Cuáles son los 4 parámetros del proceso de autoclave? Domina la clave para una esterilización garantizada. URL: <https://es.kindle-tech.com/faqs/what-are-the-4-parameters-of-the-autoclave-process>.

23. Diseño del control de temperatura para una autoclave para aplicaciones en la industria de alimentos y esterilización de insumos médicos. URL: <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/entities/publication/cfa8233b-23b1-469f-8f21-c8bbfbdb4975>.

24. Які 3 етапи автоклавної стерилізації. Режим доступу: <https://ua.sumerscience.com/news/what-are-the-3-stages-of-autoclave-sterilizati-77117830.html>.

25. Бернік П.С. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва / П.С. Бернік, З.А. Стоцько, І.П. Паламарчук та ін. Львів: «Львівська політехніка». 2004–336с.

26. Мирончук В.Г. Розрахунок обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / В.Г.Мирончук, Л.О. Орлов, Л.О. Пушанко та ін. Вінниця: Нова книга. 2004–288с.