

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет механізації сільського господарства
Кафедра «Процеси та обладнання переробних і харчових виробництв
ім. проф. П.С. Берника»

«Робота допущена до захисту»
«_____» _____ 2018 р.

зав. кафедри ПОПХВ
ім. проф. П.С. Берника
д.т.н., доцент В.П. Янович

**РОЗРОБКА ВИСОКОБАРОМЕТРИЧНОГО
СТЕРИЛІЗАТОРА ДЛЯ ОБРОБКИ ХАРЧОВОЇ
СИРОВИНИ**

Дипломна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
спеціалізації «Обладнання переробних і харчових виробництв»

Виконав: студент групи МП-Маг
Мулярчук Владислав Петрович

Керівник:
д.т.н., доцент
Янович Віталій Петрович

Завдання для виконання випускної магістерської роботи**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет механізації сільського
господарства

Кафедра «Процеси та обладнання
переробних і харчових виробництв
ім. проф. П.С. Берника»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою _____ В.П. Янович
«_____» _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ**на магістерську кваліфікаційну роботу**

Студенту: **МУЛЯРЧУКУ Владиславу Петровичу**

1. Тема магістерської роботи: **Розробка високobarометричного стерилізатора для обробки харчової сировини**
затверджену наказом від «18» вересня 2018 р., № 320-м
2. Термін здачі закінченої роботи: «12» листопада 2018 р.
3. Вихідні дані для підготовки роботи:
 1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
 2. План-проспект магістерської роботи.
 3. Підручники і навчально-методичні посібники.
 4. Науково-дослідна інформація (документи промислових зразків, авторські свідоцтва).
 5. Навчально-методична література з спиртового виробництва та процесу бродіння.
 6. Технічна документація підприємства, нормативна та спеціальна література.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить вивчити):
 1. Аналіз технологічних принципів застосування високого тиску для обробки харчових продуктів
 2. Розробка високobarометричного обладнання для обробки харчової сировини
 3. Розробка математичної моделі інактивації мікроорганізмів і цільових компонентів
 4. Техніко-економічне обґрунтування розробленого проекту

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

1. Вступ.
2. Технологічна лінія по виробництву консервів.
3. Аналіз перспективних схем машин для теплової обробки сировини.
4. Промислові установки для обробки харчових продуктів високим тиском.
5. Принципова схема високобараметричного стерилізатора
6. Математична модель інактивації мікроорганізмів.
7. Результати аналітичного моделювання
8. Фізичне моделювання досліджуваного процесу
9. Економічна ефективність розробленого проекту.
10. Висновки.

Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Обсяг, стор.	Термін підготовки
Анотація		3	20.09.18
Вступ		5	20.09.18
Розділ 1	Аналіз технологічних принципів застосування високого тиску для обробки харчових продуктів	38	29.09.18
Розділ 2	Розробка високобараметричного обладнання для обробки харчової сировини	24	01.10.18
Розділ 3	Розробка математичної моделі інактивації мікроорганізмів і цільових компонентів	20	14.10.18
Розділ 4	Техніко-економічне обґрунтування розробленого проекту	15	5.11.18
Загальні висновки		2	12.11.18
Список використаних джерел		11	12.11.18

Термін подання роботи на кафедру для попереднього розгляду
«12» листопада 2018 р.

Завдання видав «19» березня 2018 р.
(дата видачі завдання)

Янович Віталій Петрович
(П.І.П. керівника)

(підпис керівника)

Завдання отримав «19» березня 2018 р.
(Дата отримання завдання)

Мулярчук Владислав Петрович
(П.І.П. студента)

(підпис студента)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	6
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИНЦИПІВ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОГО ТИСКУ ДЛЯ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	14
1.1. Загальна характеристика й теоретичне обґрунтування об'єкта досліджень	14
1.2 Теоретичні передумови використання високого тиску у якості зnezаражуючого фактора	15
1.3 Історичні передумови застосування високого тиску у харчовій промисловості	17
1.4 Загальні принципи застосування для обробки харчових продуктів	20
1.5 Вплив високого тиску на мікроорганізми	21
1.5.1 Дезактивація мікроорганізмів у харчових продуктах	24
1.5.2 Критичні параметри мікробної дезактивації при обробці високим тиском	28
1.6 Вплив високого тиску на хімічні реакції, що визначають якість харчових продуктів, та хімічні зв'язки	29
1.6.1 Дія високого тиску на текстуру, аромат, колір і поживну цінність харчових продуктів	30
1.6.2 Дія високого тиску на протеїнові системи	32
1.6.3 Вплив високого тиску на харчовий білок	35
1.6.4 Вплив високого тиску на ферменти	39
1.7 Дія високого тиску на крохмаль	48
1.8 Висновки до 1 розділу	50
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ВИСОКОБАРАМЕТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ	52
2.1 Основні принципи створення й підтримки високого тиску	52
2.2 Промислові установки для обробки харчових продуктів високим тиском	67

	5
2.3 Розробка технологічної схеми високобарометричного стерилізатора.....	72
2.4 Висновки до 2 розділу	74
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ІНАКТИВАЦІЇ	
МІКРООРГАНІЗМІВ І ЦІЛЬОВИХ КОМПОНЕНТІВ	76
3.1 Моделювання активності мікроорганізмів.....	76
3.2 Моделювання теплопередачі й масообміну	78
3.3 В'язкопластичні продукти харчування.....	80
3.3.1 Теплопередача за рахунок теплопровідності	80
3.3.2 Теплопередача за рахунок теплопровідності й конвекції.....	82
3.4 Рідкі продукти харчування.....	84
3.5 Спрощені моделі	85
3.6 Числовий аналіз моделей	87
3.7 Комбінація моделей інактивації компонентів з моделями на основі теплопередачі та масопереносу.....	92
3.8 Висновки до 3 розділу	94
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО	
ПРОЕКТУ.....	96
4.1 Визначення економічної ефективності впровадження технології обробки цитрусових соків ВТ	96
4.2 Визначення економічної ефективності впровадження установки для обробки пива ВТ.....	100
4.3 Визначення економічної ефективності впровадження установки високого тиску для обробки печінкового паштету	105
4.5 Висновки до 4 розділу	110
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	111
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	113

АНОТАЦІЯ

Мулярчук В.П. Розробка високобарометричного стерилізатора для обробки харчової сировини. – Рукопис.

Дипломна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня – «Магістр» за спеціальністю 208 – «Агроінженерія». – Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, 2018.

Дана дипломна робота присвячена дослідженню харчових технологій за використання високого тиску, які безумовно представляють зручності для покупців: стерилізовані високим тиском основні продукти харчування, такі як м'ясо, риба, молоко, сир та інші напівпродукти зберігають колір, запах і консистенцію; овочі й фрукти повністю зберігають свою структуру; супи, соуси, тушковані продукти не мають ні увареного присмаку, ні порушень у структурі, як це спостерігається в продуктах, що пройшли теплову обробку або заморожування. Крім того, при подібній обробці відбуваються функціональні зміни в характеристиках протеїнів і складних вуглеводів, що в багатьох випадках приводить до зростання харчової цінності продуктів.

Наукова значущість роботи полягає у вирішенні завдання, щодо підвищення якості продуктів харчування за рахунок розробки нетермічного процесу обробки, який дозволить максимально зберігати корисні біологічні компоненти та комплекс фізіологічно активних і незамінних речовин оброблених продуктів при зниженні витрат енергетичних і матеріальних ресурсів. В основу теоретичних і експериментальних досліджень покладено наукову концепцію, яка полягає у створенні умов обробки рідких та в'язкопластичних продуктів високого тиску, що сприятиме отриманню високоякісних харчових продуктів із підвищеною харчовою цінністю при одночасному збільшенні строків їх зберігання та досягнення сучасних вимог безпеки.

Ключові слова: високий тиск, стерилізація, обґрунтування режимних параметрів, математична модель процесу.

АННОТАЦИЯ

Мулярчук В.П. Разработка высокобарометричного стерилизатора для обработки пищевого сырья. – Рукопись.

Дипломная работа на получения образовательного-квалификационного уровня – «Магистр» по специальности 208 – «Агроинженерия». – Винницкий национальный аграрный университет, Винница, 2018.

Данная дипломная работа посвящена исследованию пищевых технологий за использование высокого давления, которые безусловно представляют удобства для покупателей: стерилизованные высоким давлением основные продукты питания, такие как мясо, рыба, молоко, сыр и другие полупродукты сохраняют цвет, запах и консистенцию; овощи и фрукты полностью сохраняют свою структуру; супы, соусы, тушеные продукты не имеют ни уваренного привкуса, ни нарушений в структуре, как это наблюдается в продуктах, прошедших тепловую обработку или замораживание. Кроме того, при подобной обработке происходят функциональные изменения в характеристиках протеинов и сложных углеводов, что во многих случаях приводит к росту пищевой ценности продуктов.

Научная значимость работы заключается в решении задачи, по повышению качества продуктов питания за счет разработки нетермической процесса обработки, который позволит максимально сохранять полезные биологические компоненты и комплекс физиологически активных и незаменимых веществ обрабатываемых продуктов при снижении затрат энергетических и материальных ресурсов. В основу теоретических и экспериментальных исследований положены научную концепцию, которая заключается в создании условий жидких и вязкопластичных продуктов высокого давления, что приведет к получению высококачественных пищевых продуктов с повышенной пищевой ценностью при одновременном увеличении сроков их хранения и достижения современных требований безопасности.

Ключевые слова: высокое давление, стерилизация, обоснование режимных параметров, математическая модель процесса.

SUMMARY

Muliarchuk V.P. Development of a high-barometric sterilizer for the processing of food raw materials. – The manuscript.

Diploma work for obtaining an educational qualification level - "Master" in specialty 208 – "Agroengineering". – Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsya, 2018.

This thesis is devoted to the research of food technologies for the use of high pressure, which certainly represent convenience for buyers: high-pressure sterilized main food products such as meat, fish, milk, cheese and other intermediates retain color, smell and consistency; vegetables and fruits fully retain their structure; soups, sauces, stew products have neither a flavorful taste nor structural disturbances, as is the case in products that have undergone heat treatment or freezing. In addition, similar processing undergoes functional changes in the characteristics of proteins and complex carbohydrates, which in many cases leads to an increase in the nutritional value of products.

The scientific significance of the work is to solve the problem of improving the quality of food products by developing a non-thermal processing process that will allow the maximum maintenance of useful biological components and a complex of physiologically active and irreplaceable substances of processed products while reducing the cost of energy and material resources. The basis of theoretical and experimental research is the scientific concept, which is to create conditions for the processing of liquid and visco-plastic products of high pressure, which will promote the receipt of high-quality food products with high nutritional value, while increasing the time of their storage and the achievement of modern safety requirements.

Keywords: high pressure, sterilization, substantiation of regime parameters, mathematical model of the process.

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення населення України продуктами харчування високої якості й досягнення їх конкурентоспроможності на зовнішньому ринку є одним з основних завдань вітчизняної харчової та переробної промисловості. Сучасна наука визначила роль харчування як активного способу впливу на живий організм. Саме такий підхід відповідає основним положенням біологічної науки й фізіологічному вченню академіка І.П. Павлова. Раціональне харчування забезпечує організм людини всіма необхідними нутрієнтами, потрібними для його нормально розвитку й захисту від несприятливих факторів навколишнього середовища. Сучасні погляди на якість продуктів харчування враховують не тільки безпеку продуктів і поліпшення їхніх органолептичних властивостей та енергетичної цінності, але й, у першу чергу, підвищення вмісту в продуктах харчування біологічних компонентів і цілого комплексу фізіологічно активних і незамінних речовин, до яких відносять не тільки вітаміни й амінокислоти, але й жирні ненасичені кислоти й мікроелементи. Однак на теперішній час масові обстеження на Україні свідчать про вкрай недостатній і все більш зростаючий дефіцит вітамінів (А, групи В, С, Е), мікроелементів (заліза, кальцію, йоду) у значної частини населення [1, 2]. Сьогодні Україна займає одне з останніх місць у світі зі споживання мікронутрієнтів. Аналіз літературних джерел свідчить про те, що більша частина речовин, які відносяться до комплексу біологічно активних, зазнають деградації в процесі переробки під дією теплових і механічних операцій, при цьому втрати в середньому становлять від 50 до 80%. У зв'язку із цим постає питання про знаходження нових і вдосконалення традиційних технологій виробництва - екологічно чистих, що зберігатимуть у незмінному вигляді вітамінний і мінеральний комплекс продукту, його органолептичні властивості. Так, у 1998 році проходив 4-й Усесвітній конгрес з інфекцій, що передаються через харчові продукти, та інтоксикацій, на якому всі групи світових

експертів, які працюють у сфері охорони здоров'я споживачів, представники установ громадської охорони здоров'я й ветеринарної медицини, харчової промисловості й асоціацій споживачів, а також представники різних міжнародних наукових товариств зробили такі висновки:

- покращити стан справ у постачанні людства якісними й безпечними продуктами харчування можна застосовуючи сучасні методи обробки харчових продуктів;

- останнім часом з метою інтенсифікації технологічних процесів у харчовій та переробній галузях усе ширше використовуються фізичні методи обробки продуктів, основані на зовнішньому підведенні енергії за рахунок збільшення потужності цієї енергії. Такий підхід істотно скорочує час обробки продуктів, що підвищує питому продуктивність, але в умовах перманентної енергетичної кризи стає неприйнятним через невиправдано великі витрати на енергоносії й видаткові матеріали. Вихід із цієї ситуації можливий тільки або за рахунок скорочення темпів, а отже - й обсягів виробництва, або за рахунок застосування принципово нових джерел енергії й принципово нових енергозберезувальних технологій;

- такі нетермічні фізичні методи, як обробка високим тиском (ВТ), є відгуком на висовувані останнім часом споживчими колами вимоги стосовно забезпечення свіжими, високоякісними харчовими продуктами, які б піддавалися в меншій мірі обробці без шкоди для своєї харчової цінності при одночасному збільшенні строків зберігання й реалізації [3].

Харчові технології з використанням ВТ представляють безсумнівні зручності покупцям: стерилізовані ВТ основні продукти харчування, такі як м'ясо, риба, молоко, сир та інші напівпродукти зберігають колір, запах і консистенцію; овочі й фрукти повністю зберігають свою структуру; супи, соуси, тушковані продукти не мають ні увареного присмаку, ні порушень у структурі, як це спостерігається в продуктах, що пройшли теплову обробку або заморожування. Крім того, при подібній обробці відбуваються функціональні зміни в характеристиках протеїнів і складних вуглеводів, що в

багатьох випадках приводить до зростання харчової цінності продуктів. Крім зазначених переваг харчових технологій з використанням ВТ, вони застосовуються в процесах швидкого заморожування й розморожування продуктів. При цьому утворені кристали льоду мають дуже невеликі розміри й не пошкоджують клітинні структури біомаси. Однією з важливих проблем, що постають перед харчовими галузями, є проблема знищення спорових форм бактерій у харчових продуктах. Тепер практика використання ВТ дає можливість швидкого вирішення цього завдання. Технології використання ВТ набули широкого застосування в ряді високорозвинених країн (Японія, Франція, Іспанія, США). У деяких країнах Євросоюзу, таких як Швеція, Іспанія й Франція налагоджений серійний випуск відповідного обладнання. Проблема використання ВТ в харчовій мікробіологічній і фармацевтичній промисловості обговорюється на щорічних науково-виробничих симпозіумах і конференціях (Великобританія, Італія, Франція, Іспанія, Польща, Австралія та ін.).

Промислове впровадження нової технології обробки й виробництва продуктів на основі використання ВТ одержало в останнє десятиліття швидкий розвиток практично у всіх розвинених країнах. У цей час у ряді країн цей напрям одержав державну підтримку, результатом якої стало створення нових харчових галузей.

Для широкого впровадження обробки ВТ необхідні дослідження питань можливого взаємозв'язку між параметрами процесу й патогенними мікроорганізмами або інфекціями, які передаються через їжу. Що ж стосується самої технології обробки тиском, то вона має потребу в оцінці ступеня своєї придатності для обробки різних продуктів для їхньої стерилізації й надання їм нових, більш високих споживчих властивостей. У цьому плані необхідно провести оцінку взаємодії між такими факторами, як величина тиску, тривалість обробки, рН і температура, а також їхній спільний вплив на патогенні мікроорганізми й основні споживчі властивості

одержуваних продуктів, зрозуміти механізми дії й, де це застосовно, установити ефективні комбінації технологічних факторів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є наукове обґрунтування застосування високого тиску у процесах та обладнанні для обробки рідких і в'язкопластичних харчових продуктів, що сприяє підвищенню й стабілізації їх якості при одночасному збільшенні строків зберігання та досягнення сучасних вимог безпеки.

Для досягнення означеної мети були поставлені та вирішені такі задачі:

- проаналізувати сучасний рівень застосування високого тиску для покращення споживчих властивостей рідких і в'язкопластичних харчових продуктів;

- на підставі аналізу та узагальнення відомих методів експериментальних досліджень властивостей харчових продуктів, оброблених високим тиском (фізико-хімічні, мікробіологічні, споживчі), теоретично визначити критичні параметри мікробної дезактивації при обробці рідких та в'язкопластичних продуктів;

- побудувати математичну модель процесу обробки високим тиском та на її підставі дати оцінку теплової неоднорідності процесу при обробці рідких та в'язкопластичних продуктів;

- розробити математичну модель інактивації високим тиском контамінуючої мікрофлори і цільових компонентів харчових продуктів;

- на підставі створеної моделі провести розрахунок температурного розподілу у камері високого тиску при обробці в'язкопластичних і рідких харчових продуктів.

Об'єктом досліджень є процес обробки рідких та в'язкопластичних харчових продуктів високим тиском та апаратура для його забезпечення.

Предмет досліджень. Параметри процесу обробки рідких і в'язкопластичних харчових продуктів високим тиском та зміна їх показників якості.

Методи досліджень: фізико-математичне моделювання гідромеханічних і тепло-масообмінних процесів, експериментальні методи з використанням сучасних вимірювальних засобів, статистична обробка результатів експериментальних досліджень.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і висновків.

Отримані рівняння досліджуваного процесу барометричної стерилізації сировини не суперечать відомим теоріям термомеханічних систем та цілком корелюють з основними положеннями тепломасообмінних процесів та апаратів.

Особистий внесок здобувача. Постановка завдань, аналіз і узагальнення результатів, обґрунтування науково-практичних висновків, а також підготовка отриманих теоретичних результатів проводилось разом з науковим керівником – доктором технічних наук, доцентом Яновичем Віталієм Петровичем.

Аналіз літературних джерел, загальна методика теоретичних досліджень, статистична обробка отриманих даних, розробка принципової схеми високobarометричної системи для стерилізації харчової сировини розроблено самостійно. Для теоретичного дослідження було використано програмне забезпечення: MathCad, MicrosoftExcel, Компас - 3DV12. Для перевірки адекватності отриманих результатів результатів математичних моделей використовували методи статистики з використанням програми Statistika 6.0.

Структура і обсяги дипломної роботи. Дипломна робота складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 116 найменувань. Повний обсяг дипломної роботи викладено на 125 сторінках машинописного тексту.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИНЦИПІВ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОГО ТИСКУ ДЛЯ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

1.1 Загальна характеристика й теоретичне обґрунтування об'єкта досліджень

Проблема забезпечення тривалості зберігання харчових продуктів з високим і проміжним вмістом води (далі рідкі та в'язкопластичні) без створення відповідних умов зберігання була і залишається однією з найважливіших задач харчової промисловості. Вода, знаходячись в їжі у вільному і зв'язаному стані, є суттєвим фактором збереження водорозчинних вітамінів, запобігання окислення жирів, неферментативного потемніння продукту. Але в той же час вона сприяє розвитку патогенної мікрофлори, що викликає швидке псування продукту. У зв'язку з цим проведення знезараження (стерилізації) в процесі виробництва є необхідною технологічною операцією для отримання продукту, безпечного в санітарно - гігієнічному відношенні. Також реаліями сьогодення є постійно зростаючий попит споживачів на продукти харчування, які зазнали мінімальної технологічної обробки і не містять консервантів та інших добавок, до того ж придатні для тривалого зберігання. Тому харчова наука та промисловість відгукнулися на цей попит розробкою нових фізичних методів обробки й консервування, альтернативних традиційним видам обробки, таких як заморожування, консервування в герметичній тарі або висушування, що ґрунтуються на нагріванні або охолодженні. В даний час існує безліч різних методів знезараження харчової сировини та продуктів з неї. Поряд з традиційними способами стерилізації (термічна, хімічна обробка, використання ультразвуку, ультрафіолетових, інфрачервоних, рентгенівських променів) в останні роки великого поширення набули методи стерилізації іонізуючим випромінюванням і електрикою. Причому різноманітність даних методів не обмежується тільки

перерахованими. Розроблено безліч прийомів з різним поєднанням вищевказаних способів залежно від інтенсивності випромінювання, характеристик вживаних полів, режимів, та дій на мікроорганізми. Це стерилізація високовольтними імпульсами, використання пульсуючої високої напруги, високоінтенсивної пульсуючої електроенергії, електромагнітного випромінювання, пульсуючого електричного поля, пульсуючого світлового потоку, обробка гамма-випромінюванням, бомбардування електронами. Застосування існуючих на сьогоднішній день методів і способів знезараження дозволяє повною мірою досягти позитивних результатів у головному напрямку - знищення вегетативних і спороутворюючих форм мікроорганізмів в оброблюваному об'єкті. Але необхідно відзначити момент, який дозволяє розмежувати використання деяких методів з тих чи інших причин. Це насамперед те, що застосування будь-якого способу супроводжується впливом даної обробки на структуру хімічних сполук, зміна якої може при звести до незворотних змін хімічних властивостей. Всі сучасні, вищеперераховані методи обробки мають свої галузі застосування, свої переваги та недоліки, деякі знаходяться тільки на етапі технічних пропозицій, деякі неможливо реалізувати при сучасному розвитку харчового машинобудування, деякі не сприймаються споживачами як небезпечні (наприклад радіаційні методи). Тому дослідження в цьому аспекті кожного методу знезараження є цілим комплексом наукових досліджень. Серед цих нових технологій, на наш погляд, однією з найпривабливіших для застосування в харчовій промисловості є обробка високим тиском (ВТ).

1.2 Теоретичні передумови використання високого тиску у якості знезаражуючого фактора

Обробка ВТ набула виняткової важливості у багатьох промислових галузях. В останні роки вона стала альтернативою традиційній термообробці, тому що забезпечує виключення утворення неприємного смаку, погіршення

компонентів і поживних речовин у продуктах харчування, створює унікальну текстуру їжі й заощаджує значну кількість енергії, необхідної для обробки харчових продуктів [4]. Діапазон значень робочого тиску для різних процесів перебуває в межах 100-1000 МПа. Крім того, час експозиції може тривати від декількох секунд до декількох годин.

ВТ має широкий спектр застосування. Проте, як встановлено багатьма дослідженнями [4-9], величина використовуваного тиску різна й визначається цільовою настановою процесу. За сформульованим Ле-Шательє принципом, система, що перебуває у рівновазі, реагує на будь-яке порушення (у нашому випадку на підвищення тиску) так, що відбувається мінімізація впливу порушення [5].

$$\left(\frac{\partial \ln K}{\partial p^*} \right)_{T^*} = - \frac{\Delta V^{\circ*}}{R^* T^*} \quad (1.1)$$

$$\left(\frac{\partial \ln k}{\partial p^*} \right)_{T^*} = - \frac{\Delta V^{\ddagger*}}{R^* T^*} \quad (1.2)$$

де: K - безрозмірна величина, що визначає положення рівноваги хімічної реакції, а відносна величина k - швидкість перетворення.

Відповідно до відношень (1.1) і (1.2) стан рівноваги й швидкість реакції додатково до тиску й температури залежать, у тому числі й від об'єму реакції $\Delta V^{\circ*}$, а також від активаційного об'єму $\Delta V^{\ddagger*}$. Якщо в реакції негативний об'єм $\Delta V^{\circ*}$, то підвищення тиску зміщує рівновагу в напрямку утворення речовин, а позитивний об'єм реакції $\Delta V^{\circ*}$ - у напрямку продукту. Значення «нуль» впливу не здійснює. У ковалентних зв'язків, наприклад, значення об'єму реакції дорівнює приблизно нулю, водневий зв'язок має негативний $\Delta V^{\circ*}$ як і іонний зв'язок, гідрофобні обмінні реакції й утворення

міцел мають позитивний ΔV^{o*} [5-8]. При негативному активаційному об'ємі $\Delta V^{\ddagger*}$ спостережувана реакція при підвищенні тиску протікає прискорено, при позитивному активаційному об'ємі $\Delta V^{\ddagger*}$ уповільнюється й відповідно при значенні «нуль» - залишається без зміни швидкості. Гомолітичне розщеплення зв'язку й реакція нейтралізації мають позитивні значення $\Delta V^{\ddagger*}$, гомолітична асоціація, іонізація й концентрація заряду відповідно – негативні $\Delta V^{\ddagger*}$, а також деформація з'єднань - значення прагне до нуля [6].

ВТ приводить у такий спосіб до змін міжмолекулярних та внутрішньомолекулярних обмінних реакцій, що викликає конформаційні зміни макромолекул, і, таким чином, впливає також і на хімічні реакції. Через це при використанні ВТ у харчових технологіях можна одержувати різноманітні ефекти. Обробка харчових продуктів ВТ спричиняє денатурацію білка, дезактивацію ферментів, а також пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів. Якщо в одному процесі одночасно відбуваються кілька біохімічних реакцій, які мають різну залежність від тиску й температури, то при регулюванні параметрів процесу можна домогтися селективного проведення реакції.

1.3 Історичні передумови застосування високого тиску у харчовій промисловості

Про найперші дослідження в сфері використання ВТ повідомлялося в кінці 19 століття. У 1899 році Хайт [5] виявив зменшення мікроорганізмів у молоці під дією ВТ. Кілька років потому Бріджман повідомив про необоротне денатурування білка при тиску 700 МПа [7]. Більш того, він опублікував роботу у якій вивчав теплову провідність п'яти різних рідин під тиском. Після Бріджмана дослідження у сфері ВТ припинилися на кілька десятиліть. І лише в останні кілька років технологія ВТ зацікавила промисловість, що привело до спостережуваної в цей час інтенсифікації

дослідних робіт. У своїй роботі [8] Кнорр проілюстрував переваги й можливості використання технології ВТ при обробці продуктів харчування. Але він також додав, що для того, щоб одержати максимум від даного методу, необхідно краще розуміти цю інноваційну технологію, і потрібно провести ще багато досліджень. Наприклад, для харчової промисловості важливо вивчити обробку систем упакованих харчових продуктів. І хоча з обробки упакованих харчових продуктів проведено всього кілька досліджень, з обробки упаковки вже є декілька цікавих дослідних робіт. Одне з таких досліджень було проведене Ламбертом та іншими [9], які піддали безліч пакувальних матеріалів обробці тиском при різних рівнях тиску. ВТ також впливає на фізико-хімічні властивості оброблених речовин. Наприклад, Харт у своєму дослідженні [10] порівняв межу рідкості й мікроструктуру йогуртів, виготовлених з молока обробленого ВТ, молока, підданого тепловій обробці, й необробленого молока. Зокрема, в'язкість і злипання бета-лактоглобуліну вивчалися Баарсом та іншими [11, 12].

Іншим дуже перспективним напрямом для застосування ВТ в харчових технологіях є заморожування й розморожування під ВТ. Бріджман вивчив 5 різних типів льоду й фазові перетворення, що відбуваються при різних тисках і температурах [13]. Заморожування й розморожування, під ВТ, мають більші переваги в порівнянні зі звичайним заморожуванням і розморожуванням. Кристали льоду, утворені під дією ВТ, менші й більш однорідні за розміром, ніж кристали при тиску навколишнього середовища, і, таким чином, ведуть до меншого пошкодження структури харчових систем. Лебейль [14] подав огляд впливу заморожування й розморожування різних харчових систем під ВТ. Крім того, були проведені дослідні роботи з вивчення поведінки процесів заморожування й розморожування під ВТ [15,16] у яких автори візуалізували процес фазового перетворення льоду при заморожуванні й розморожуванні під ВТ з рідкими кристалами.

Ще одним важливим полем застосування технології ВТ є інактивація біологічних речовин, таких, як ферменти, мікроорганізми, хвороботворні або

інші мікробіологічні забруднення при низьких температурах. Массон та інші [17] подали огляд можливостей з використання технології ВТ в медицині й фармакології. Тому що віруси дуже чутливі до помірних тисків від 100 до 300 МПа [18, 18, 20], технологія ВТ показала себе, як приваблива альтернатива традиційній обробці теплом. Юркевич та інші успішно інактивували віруси імунодефіциту тиском [21]. Більш того, технологія ВТ дає медицині й фармації потужний інструмент для розробки інноваційних методів лікування. Останнім часом ВТ усе ширше застосовується при розробці вакцин проти вірусів і злоякісних клітин. Зокрема, Перш та інші [22] успішно розробили вакцину проти вірусу лихоманки долини Рифт. Миші, яким була введена вакцина вірусу, обробленого тиском, набули імунітету до інфекції, викликаної вірусом лихоманки долини Рифт дикого типу. Інше дуже цікаве питання вивчалось Корном та іншими [23], які спробували інактивувати тиском клітини людської пухлини. Вони виявили, що тиск понад 300 МПа негайно викликали загибель клітин від некрозу й повністю інактивували ці клітини. Загибель клітин, викликана некрозом, спостережувана при обробці ВТ, відрізняється від загибелі кліток від нагрівання, заморожування/розморожування або дії хімічних речовин. ВТ створює желеподібну суміш антигенів, захоплених в окремії і сильній частинці, і підтримує їх імуногенність. Таким чином, ВТ є привабливим альтернативним методом інактивації клітин ссавців у клініках або лабораторіях. Сільва та інші [24] досліджували різні явища, які супроводжують обробку ВТ білків. Дослідна діяльність у сфері інактивації ВТ проводиться також у біотехнології продуктів харчування, особливо, інактивації контамінантів продуктів харчування ВТ. Смелт подав огляд останніх досягнень у мікробіології обробки ВТ у своїй роботі [25]. Хенрікс та інші [26] повідомили про можливість інактивації ВТ мікробіологічних забруднень у молоці й молочних продуктах. Ананта та інші [27], навпаки, спробував вивчити кінетику інактивації ендоспор бацил ВТ. Щоб зрозуміти процес інактивації при обробці ВТ, в останні роки були розроблені різні методи дослідження. Наприклад, Гензле та інші [28, 29] розробили систему спостереження механізму інактивації

різних клітин ВТ. Крім того, широко вивчалася можливість інактивації ферментів ВТ. Дослідницька група Хендрікса набула великого досвіду у моделюванні процесу інактивації багатьох різних ферментів ВТ. Наприклад, Індраваті та інші [30] вивчали інактивацію ліпоксигенази в зелених бобах при знижених і підвищених тисках. Фачін та інші [31] вивчали інактивацію ензиму полігалактуроназу (ПГ) у томатах при високих тисках. Автори кількісно визначили кінетичні параметри даного процесу інактивації при ізотермічних та ізобаричних умовах. Людікуйзе та інші [32, 33], а також Деніс та інші [34, 35] ретельно вивчили інактивацію ферменту, названого альфа-амілаза *Bacillus subtilis*, під дією ВТ. Швидкість інактивації цього ферменту залежить від температури й тиску. Дослідники [36] вивчили кінетику деградації вітаміну С у вишневому соку залежно від тиску його обробки.

1.4 Загальні принципи застосування для обробки харчових продуктів

Звичайно процедури знезараження ВТ скорочують мікробне навантаження до того ж рівня, що досягається традиційними методами, при цьому забезпечуючи більш високу якість продуктів. Процес обробки ВТ звичайно здійснюється з використанням води у якості робочої рідини, що забезпечує сумісність із харчовими матеріалами [37-38]. Обробка тиском супроводжується скороченням об'єму системи. При рівних умовах, за принципом Ле Шательє, процеси, пов'язані зі зменшенням об'єму, прискорюються під тиском, тоді як процеси, що викликають збільшення об'єму, стримуються тиском [39]. Завдяки цьому при відносно низькій температурі (0-40⁰С) атомні зв'язки практично не пошкоджуються під ВТ, при цьому третинні й четвертинні структури молекул, які головним чином підтримуються гідрофобними й іонними взаємодіями, змінюються під тиском більшим ніж 200 МПа [40]. ВТ може використовуватися при обробці харчових продуктів так само, як і температура. Наприклад, гідростатичний

тиск може викликати утворення гелю з білка й жовтка яйця, при 100-700 МПа при 25⁰С протягом 30 хв [41]. Вважається, що найбільш унікальна властивість ВТ - його здатність поширюватися моментально й рівномірно по всій харчовій системі [42]. Таким чином, застосування ВТ не залежить від маси зразка і його форми. Інші важливі переваги при використанні цієї технології в харчовій промисловості такі:

1. дезактивація мікроорганізмів і ферментів;
2. зміна біополімерів;
3. збереження якості, а саме, кольору й смаку;
4. зміна у функціональності продукту[43].

Однак для широкого впровадження процесу обробки ВТ у харчову промисловість недостатньо вивчено механізм і кінетику деградації /денатурації/ дезактивації, викликані тиском, деяких харчових з'єднань (наприклад, вітамінів, протеїнів, мікроорганізмів, ферментів) і те, як виникають деградація / денатурація / дезактивація під впливом інших параметрів (температура, рН тощо).

1.5 Вплив високого тиску на мікроорганізми

Мікробна дезактивація - одне з основних призначень застосування процесу обробки продуктів ВТ. Велика кількість досліджень була присвячена демонстрації ефекту дезактивації ВТ мікроорганізмів, у результаті якої продовжується строк зберігання оброблених продуктів і поліпшується їх мікробіальна безпека. Було показано, що бактеріальні спори вимагають більш екстремальних параметрів тиску й температури та більш тривалого періоду обробки для дезактивації [44, 45]. Загалом, вегетативні клітини дезактивуються при низьких рівнях тиску, близько 400 - 600 МПа, тоді як більш стійкі бактеріальні спори можуть витримувати тиск понад 1000 МПа [46].

Обробка ВТ викликає деякі зміни в морфології, клітинній оболонці або

біохімічних реакціях мікроорганізмів, і все це призводить до дезактивації мікроорганізмів. Наприклад, Хамада та інші [47] помітили зміни у формі колонії після обробки тиском бактерій дріжджового типу *Saccharomyces cerevisiae*. Зокрема вважається, що клітинна мембрана є основною ціллю для дезактивації мікроорганізмів під тиском, і загально прийнято, що витік внутрішньоклітинних компонентів через клітинну мембрану з порушеною проникністю - найбільш імовірна причина загибелі клітини внаслідок обробки ВТ. Однак якщо величина прикладеного тиску недостатня щоб викликати повне порушення проникності клітини, то це порушення мало місце тільки в зовнішній мембрані, а у випадку із грамнегативними бактеріями мембрана з порушеною проникністю швидко відновлювалася після скидання тиску [48]. Плинність клітинної мембрани відіграє важливу роль у чутливості мікроорганізмів до обробки тиском. Мікроорганізми з менш рідкими мембранами більш чутливі до ВТ [49]. І навпаки, збільшена плинність мембрани захищала від дезактивації тиском [50]. Денатурація основних ферментів у мікроорганізмах під тиском вважається ще однією важливою причиною загибелі клітин. [51]. Так АТФаза, що пов'язана з мембраною, вважається таким ключовим ферментом [52]. Відомо, що бактеріальні спори стійкі до тиску і їхній механізм дезактивації відрізняється від механізму дезактивації вегетативних мікроорганізмів, тому Сейл та інші [53] зробили припущення, що тиск викликає дезактивацію спор спочатку шляхом проростання, а потім шляхом дезактивації пророслих форм.

Гідростатичний тиск у межах 100-300 МПа може викликати ріст спор і виниклі в результаті вегетативні клітки будуть більш чутливі до умов навколишнього середовища. З біохімічної точки зору вважається, що прив'язка речовини, яка викликає проростання, до його реципієнта просуває процес проростання, за яким слідує витік Ca^{2+} та інших іонів і витік води в спору, що приводить до активації кортекснолітичних ферментів, специфічних для спор [54]. Процес проростання може підсилюватися при

обробці ВТ тому що об'єм системи зменшується під час проростання в результаті збільшеної сольватації компонентів спор (Клаустон і Уїлс,[55]; Хайнц і Кнорр,[56]). Вони ж висунули припущення, що проростання під впливом тиску викликає активацію фізіологічного шляху, і отже, це не просто фізико-хімічний процес, при якому вода нагнітається в протоплазму спори, тому що інгібітори проростання, викликані поживними речовинами, також сповільнюють проростання під впливом тиску (рис.1.1.)

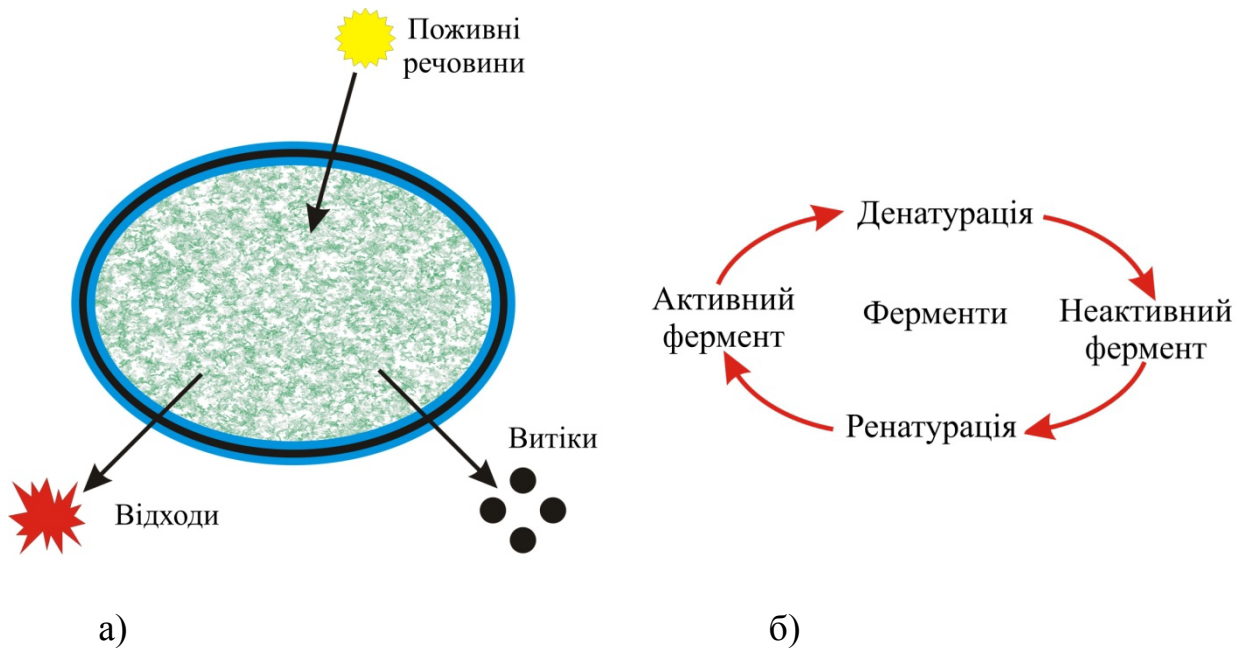


Рисунок 1.1 – Вплив гідростатичного тиску на деякі мікробіальні функції: (а) клітинні мембрани; (б) мікробіальні ферменти

Однак, коли спори потрапляють під дію ВТ при підвищеній температурі, кортекснолітичні ферменти у спорах можна прямо дезактивувати, і дезактивація спор проходить без етапу проростання (Хайнц і Кнорр) [57].

Загальна модель дезактивації спор показала високий синергізм тиску-нагрівання. Ефект підтвердився на широкому спектрі типів спор, хоча ефективність сполучення значно варіюється за величиною для різних спор (Маррел і Уїлс [58]; Кімугаса та інші [59]; Ковальські та інші [60]; Сейєрдерхольм і Кнорр [61]; Хаякава та інші [62]). Кінетика дезактивації

тиском була приблизно експоненціальна для спор *Bacillus pumilus* (Клоустон і Уїллс [55]), але для спор *Bacillus coagulans*, *Bacillus subtilis* і *Clostridium sporogenes* повідомлялося про ввігнуті нагору криві або довгі хвости (Сейл та інші [53]). Той факт, що хоча спори деяких видів відносно чутливі до тиску (наприклад, *Bacillus cereus*), спори інших видів, включаючи деякі, особливо важливі в їжі, такі як *Bacillus stearothermophilus* і *Clostridium botulinum*, - дуже стійкі (Кнорр [63]), що, дотепер перешкоджає використанню тиску для стерилізації їжі (Гувер [64]). Ця ситуація може змінитися з розробкою установок, які працюють при сполученнях температури й ВТ, або при розвитку інших ефективних комбінованих технологій. Наприклад Гувер [64] показав, що присутність бактеріоцидів, таких як низин, може підсилити вплив ВТ на спори, наприклад, бактерій *B. Coagulans*.

1.5.1 Дезактивація мікроорганізмів у харчових продуктах. Перше повідомлення про харчові продукти, що піддаються обробці ВТ, стосується фруктових джемів [65]. На фабриці харчових продуктів «Meidiya food factory Co.» у Японії полуничні джеми оброблялися тиском 294 МПа протягом 20 хв; повідомлялося про усунення дріжджів, а також бактерій. З погляду поживних речовин, полуничний джем, оброблений тиском, зберіг 95% вітаміну С у порівнянні зі свіжим продуктом. Застосування ВТ для фруктових продуктів уважалось найефективнішим і реальним, тому що властивий їм низький рівень рН може сповільнювати ріст бактерій. Додатково, дріжджі й цвіль, які виживають при такому низькому рівні рН, досить чутливі до ВТ (Алеман та інші [66]; Гарсія-Граеллс та інші [67]; Лінтон та інші [68]; Зук та інші [69]; Престамо та інші [70]). Таким чином, продовження строку зберігання соку свіжовичавленого ананаса було досягнуто шляхом застосування тиску 340 МПа/15 хвилин (Алемен та інші [71]). Паріш вивчав дію ВТ на апельсиновий сік. Для вегетативних клітин *S. cerevisiae*, D-значення були між 1-38 с. При обробці тиском від 350 до 500

МПа. Властива апельсиновому соку мікрофлора показала значення D у межах від 3 до 74 с. (Паріш [72]). Застосування ВТ для обробки рисового вина, без термічної пастеризації, проводилося Хаара та ін. [73]. Після обробки тиском 294 МПа протягом 10 хвилин при 25^o С у продукті повністю були відсутні лактобактерії й дріжджі.

Бактерії, що викликають псування продуктів, потрапляють в овочі, як правило, із ґрунту, і вони дуже різноманітні. Латук і помідори були піддані обробці тиском 300-350 МПа протягом 10 хвилин, що привело до скорочення популяції грамнегативних бактерій, дріжджів і цвілі мінімум на один порядок, але така обробка стала причиною змін у зовнішньому вигляді й структурі помідорів і латук, які набули коричневого кольору [74].

Вважається що обробка ВТ харчових продуктів, багатих протеїнами, таких, як яйця, м'ясо або риба, обмежена, тому що ВТ викликає денатурацію протеїнів [75-78]. До того ж, ці харчові продукти мають досить великий вміст жиру, що відомий як захисний компонент тиску для мікробної дезактивації [44]. ВТ також було застосовано для інактивації контамінуючої мікрофлори деяких продуктів із цієї групи при одностаїному переводу їх у інший фізичний стан [80].

Відомості про застосування ВТ для обробки рідких яєчних продуктів досить обмежені. *Listeria* і *E. coli* були інокульовані в яєчну масу цільного яйця й піддані тиску до 450 МПа (Понс та інші) [80]. Більш того, кінетичні дослідження щодо дезактивації мікроорганізмів цільного яйця ВТ проводилися під тиском 250 МПа протягом 886 секунд або 300 МПа протягом 200 секунд, і при температурі обробки в 5 і 25^o С. Ці умови обробки забезпечили мінімальні зміни в реологічних властивостях яєчної маси, і ефективно скорочували її мікробіальність. Авторами [81] вивчена можливість сполучення технології ВТ із іншими видами обробки яка забезпечує додаткову мікробну дезактивацію рідких яєць.

Вивченням дії ВТ на свіжий м'ясний фарш займалися Карлез та інші [82], Обрайєн і Маршалл [83], які з'ясували, що у яловичому й курячому

фарші, після обробки тиском спостерігалось значне скорочення кількості мезофільних бактерій і збільшення терміну зберігання. Так само, ВТ забезпечує значне скорочення мікроорганізмів курячого м'яса з одночасним механічним відділенням від кісток (Ровере та інші) [84]. Однак практично немає відомостей про наслідки обробки ВТ у фаршах складених з субпродуктів та м'яса низької категорійності, які мають високу ступінь контамінації мікроорганізмами.

Обробка ВТ може дезактивувати цитробактерії, псевдомонії та лістерії у фарші [85]. Лістерія є найбільш стійкою до обробки тиском серед цих видів. Більш висока (50⁰С) або низька (4⁰ С) температура підсилила вплив обробки під тиском. Однак часткове знебарвлення фаршу спостерігалось під тиском понад 150 МПа. Потребують більш ретельного вивчення процеси обробки таких м'ясних продуктів, як паштет або варена ковбаса, які вважаються більш придатними для обробки тиском, ніж сире м'ясо. Так, проводилося дослідження кінетики дезактивації *E. coli* і *Listeria innocua*, інокульованих у варену ковбасу, і були встановлені параметри обробки (тиск-час) для 5 зареєстрованих циклічних скорочень мікроорганізмів (Зенкер та інші)[86]. Однак при цих дослідженнях не проводилася перевірка органолептичних та інших властивостей обробленої сировини, а основна увага приділялася вивченню зміни в мікробіологічному стані як сировини у цілому так і окремих груп мікроорганізмів. Зміни у мікробіологічному стані упакованого у вакуумі рубаного курячого м'яса, обробленого високим тиском 500 МПа протягом 15 хвилин при температурі обробки 40⁰С, і наступному зберіганні при 3⁰С вивчалися Лінтоном та іншими [87]. З'ясовано, що зараження кишковими бактеріями становило 44% мікрофлори в необробленому курячому фарші після зберігання протягом 31 доби при 3⁰С, але ентеробактерії визначалися й у зразках, оброблених ВТ. Деякі автори удосконалили мікробіологічну якість шляхом додавання низину [88]; сполучення низину й окислювання [89,90] механічно відновлювало м'ясо домашньої птиці й готової ковбаси за допомогою пресування. Шігехіза та

інші [91], Паттерсон та інші [92] повідомляли про ефективність обробки тиском хвороботворних мікроорганізмів, що містяться в їжі, таких як *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* і *Yersinia enterocolitica*.

Високий вміст вільних амінокислот і азотомістких матеріалів швидко роблять свіжу рибу швидкопсувним продуктом. Кілька досліджень показали, що ВТ може збільшити термін зберігання рибних продуктів, таких як тріска (Охшіма та інші [93]), рубана скумбрія (Фуджі та інші [94]), креветки (Лопез-Кабаллеро та інші [95]), копчений лососевий крем (Капрі та інші, [96]) або сурима (Міяо та інші [97]). Це досягається шляхом контролювання або дезактивації ферментів, що псують морські продукти, зміни текстури й стабілізації кольору та ліпідного окислювання.

Було виявлено, що молоко забезпечує захист мікроорганізмів від дії ВТ. Спостерігалось зниження кількості лістерії, що перебуває в молоці, тільки на 2 порядки, при обробці тиском 340 МПа, тоді як при обробці лістерії в буферному розчині, з тими ж параметрами процесу, зниження склало сім порядків (Стайлс та інші [44]). Захисний вплив молока при обробці ВТ спостерігався і з іншими видами мікроорганізмів (Паттерсон та інші [98]). Так само не було значної різниці при обробці знежиреного й незбираного молока ВТ 400 МПа при 7°C. Обробка скоротила число аеробних мікроорганізмів так само на 1 цикл. Обробка тиском не дезактивувала плазмін у молоці, тому що виник значний β і α -казеїновий гідроліз під час зберігання в холодильнику після ВТ (Гарсія-Ріско та інші, [99]). Усі ці результати показують, що середовище, у якому обробляються мікроорганізми, є важливим вирішальним фактором рівня дезактивації під ВТ.

Більшість досліджень впливу ВТ на сир та сирні продукти концентрувалися на застосуванні ВТ для дезактивації мікроорганізмів та для підвищення безпеки сиру й збільшення його терміну зберігання. Галлот-Лавальє [100] вивчав ефективність обробки ВТ для знищення *L.*

monocytogenes у козячому сирі із сирого молока й виявив, що 450 МПа протягом 10 хв або 500 МПа протягом 5 хв обробки забезпечують одержання понад 5,6 одиниць скорочення цього мікроорганізму, при цьому без значного впливу на смакові характеристики сиру. Престамо та інші [101] повідомляли, що популяція мікробів у сирі тофу при обробці тиском 400 МПа і при 5°C упродовж 5, 30 і 45 хв скорочується від вихідного числа мікроорганізмів у розмірі 5.54×10^4 КОЕ/см³ до 0.31×10^4 КОЕ/см³.

1.5.2 Критичні параметри мікробної дезактивації при обробці високим тиском. Первинні фактори. Крім типу мікроорганізму, складу харчового продукту, рівня тиску й часу обробки, критичними параметрами для мікробної дезактивації, викликаної ВТ, є рівень рН, активність води (a_w) і температура обробки. У результаті огляду численних досліджень різних сполучень цих параметрів ми з'ясували наступне:

- мікроорганізми стають більш чутливими до тиску при більш низькому рівні рН, і відновлення смертельно ушкоджених клітин скорочується. Додатково сублетально ушкоджені мікроорганізми під дією ВТ можуть реактивовуватися в поживному середовищі, але не відновлюються в кислотних середовищах (Лінтон [102]);

- скорочення активності води спричиняє захисну дію на мікроорганізми при обробці тиском (Оксен і Кнорр,[103]; Палоу та інші,[104]).

- температура обробки вища й нижча за кімнатну приводить до збільшення швидкості дезактивації мікроорганізмів (Кнорр і Хайнц) [105].

Вторинні фактори. До них можна віднести наприклад, окислювально-відновний потенціал розчинника, який може також відігравати роль при дезактивації тиском деяких мікроорганізмів (Гувер) [64]. Додатково до вищезазначеного, фактор, що значно впливає на ефективність обробки ВТ, на дезактивацію, а отже, й на скорочення мікробної популяції – це склад середовища, у якому розсіюються мікроорганізми. Складові їжі, такі як сахароза, глюкоза й солі, впливають на стійкість маси мікроорганізмів, що містяться у їжі (Оксен і Кнорр) [103].

Однак ці висновки стосуються досліджень проведених як правило або з чистими культурами мікроорганізмів або у продуктах до обробки котрих традиційно застосовується ВТ. Практично відсутня інформація про мікробіологічний стан напоїв, що отримані у результаті ферментативних реакцій (пиво, квас). Дослідження, що пов'язані з вивченням впливу ВТ на фруктові соки проводяться, як правило окремо від досліджень фізико-хімічного стану соків отриманих після обробки ВТ, хоча велика кількість публікацій вказують на те, що обробка ВТ може призвести до втрачання обробленими соками своїх корисних властивостей. Також треба відзначити, що ще десять років тому обробка ВТ була занадто коштовним процесом, з приводу великої вартості обладнання тому багато досліджень зроблено по визначенню параметрів процесу обробки екзотичних та делікатесних продуктів таких як устриці, м'ясо омарів, соуси з коштовними інгредієнтами та інш. А традиційні продукти, які мають широкий ринок споживання практично залишились за межами уваги дослідників у цій галузі. За останні роки собівартість обладнання постійно знижується і вже стає можливим застосовувати процес обробки ВТ для продуктів які є традиційними для українських споживачів.

1.6 Вплив високого тиску на хімічні реакції, що визначають якість харчових продуктів, та хімічні зв'язки

Тиск, будучи важливою термодинамічною змінною, може впливати на широкий спектр біологічних структур і процесів. Через те, що механізм дії ВТ ґрунтується на зменшенні об'єму, він підсилює швидкість хімічних і біохімічних реакцій. Більш того, реакції, які викликають утворення водневих зв'язків, підсилюються під ВТ, тому що утворення зв'язків приводить до зменшення в об'ємі молекул [106]. ВТ не руйнує ковалентні водневі, іонні й гідрофобні зв'язки. Ковалентні зв'язки стійкі до тиску, а це означає, що компоненти харчових продуктів з низькою молекулярною масою які

відповідають за поживні й смакові характеристики, повинні залишатися недоторканими при обробці ВТ. І навпаки, компоненти з високою молекулярною масою, третинна структура яких важлива для визначення функціональності, чутливі до тиску [107].

Що стосується важливих характеристик харчових систем високоякісних харчових продуктів, вони включають текстуру, аромат, колір і поживну цінність. Перші три властивості пов'язані з якістю продукту й відповідно з його перевагою у споживачів. Поживна цінність (тобто вітаміни, мінерали та інші поживні речовини) - це прихована якість. Хімічні або біохімічні реакції, які виникають у харчових продуктах, можуть викликати небажані зміни або погіршення цих характеристик під час обробки й наступного зберігання. Багатьма дослідженнями (Хаяші та інші [108]; Мертенс [109]; Кнорр [110]; Галазка й Ледвард [111]; Такур і Нельсон [112]) доведено, що обробка ВТ дозволяє провести дезактивацію патогенних мікроорганізмів і ферментів, які погіршують якість продукту, при цьому залишаючи основну більшість характеристик якості продукту харчування недоторканими. Це говорить про те, що ВТ залишає ковалентні зв'язки недоторканими і впливає тільки на нековалентні зв'язки.

1.6.1 Дія високого тиску на текстуру, аромат, колір і поживну цінність харчових продуктів. Деякими дослідниками вивчалися ефекти збереження кольору фруктових і овочевих продуктів харчування, таких як апельсиновий і томатний соки, фруктовий джем, після обробки ВТ. Хімічний і спектрофотометричний аналізи показали, що обробка ВТ значною мірою зберігає природний свіжий колір. Також багатьма авторами, вивчався вплив ВТ на м'ясо й м'ясні продукти, тому що така обробка може зберегти природний колір при одночасному знезараженні й реструктуризації м'яса. Що стосується фруктових джемів (наприклад, полуничного), було виявлено, що ВТ зберігає свіжий аромат набагато більше, ніж традиційна термічна обробка (Ватанабе та інші [113]; Кімура та

інші [114], Дервісі та інші [115]).

У ході експериментів, проведених Забетакісом та іншими [116] щодо впливу ВТ на складові полуничного смаку, найвища стабільність смаку спостерігалася тоді, коли зразки обробляли під більш низьким тиском <800 МПа та їх зберіганні при 4 і 30°C. У дослідженнях, які проводилися Родріго та інші при обробці в сполученні ВТ й температури (300 - 700 МПа, 60 хв, 65°C) не спостерігалася погіршення кольору помідорів. Розширене дослідження результатів впливу тиску на текстуру фруктів і овочів проводилося Басаком і Рамасвами. Вони помітили, що зміна в міцності оброблених зразків залежить як від рівня тиску, так і від часу обробки.

Сузукі та інші вивчали вплив тиску на водорозчинні компоненти, які відповідають за смак і м'ясний аромат. Кількість пептидів і амінокислот, розраховані як матеріали, позитивні до реактиву фенолу, очевидно, збільшується зі збільшенням тиску до 300 МПа (5 хв при 2°C).

Результат впливу тиску на аромат молока й молочних продуктів, вивчався досить мало (Радемахер і Кесслер). Процес обробки ВТ 400-500 МПа протягом 3-15 хв з наступним заморожуванням призвів до одержання терміну придатності, аналогічного до терміну придатності після термічної пастеризації; однак, при цьому не зіпсувалися смакові характеристики молока, обробленого тиском. Було показано, що обробка ВТ тільки злегка впливає на в'язкість молока. Збільшення в'язкості молока можна описати як реакцію першого порядку і як результат поділу на частини казеїнової міцели. Також про властивості кислотних гелів, виготовлених з молока, обробленого ВТ, повідомляли Джонстон та ін.. Результати показали поліпшену структуру (незмінність і опір до руйнування й синергезис опору гелів, вимірювані різними методами).

У дослідженнях, які проводили Анкос та інші, перевірявся вплив ВТ на фізико-хімічні, хімічні, мікробіологічні й смакові характеристики йогурту з низьким вмістом жиру. Йогурт, виготовлений у лабораторних умовах, оброблявся ВТ (100-400 МПа) протягом 15 хв. при 20°C. Йогурти, оброблені

тиском, показали більш високу в'язкість і вміст амінокислот, ніж у необроблених контрольних зразках, до того ж існувала різниця у порівнянні зі станом після зберігання в холодильній камері. Застосування технології ВТ для молока, використовуваного для сироваріння, показує розбіжності в складі сиру й окислюванні у порівнянні з пастеризованим молочним сиром. Молочні сири, які оброблялися ВТ, мають більш високий вміст вологості, солі й загальної кількості вільних амінокислот, ніж у сирому або пастеризованому молоці для сироваріння (Труджіло та інші). Щодо текстури й мікроструктури сиру (Буфа та інші), використовуючи випробування на осьовий стиск і на релаксацію напруги та лазер з конфокальними дзеркалами, шляхом скануючої мікроскопії показали, що сири, виготовлені із сирого або обробленого ВТ молока, були більш тверді й менш крихкі, ніж сири, виготовлені з пастеризованого молока, але розходження стають менш помітними по відношенню до кінця окислювання. Сири з пастеризованого й обробленого ВТ молока були набагато менш в'язкими, ніж із сирого молока. Хоча сир і показав втрату еластичних характеристик у процесі старіння, сири з молока, обробленого ВТ, були спочатку найеластичнішими.

1.6.2 Дія високого тиску на протеїнові системи. Протеїни - це лінійні полімери амінокислот, для яких виділяють три або чотири рівні структурної організації. Первинна структура, що визначається як амінокислотна послідовність і місце розташування двосірчистих зв'язків (якщо є), дає повний опис ковалентних зв'язків протеїну. Вторинна структура посилається на спосіб, за допомогою якого поліпептидний ланцюжок утворює α -спіралі або смуги за допомогою інтра- або інтермолекулярних водневих зв'язків. Третинна структура описує те, як сфери вторинної структури охоплюються в тривимірну конфігурацію як послідовність нековалентних взаємодій між амінокислотними побічними ланцюжками. Четвертинна структура посилається на спіралеподібне розташування субодиниць, які втримуються разом за допомогою нековалентних зв'язків між поліпептидними субодиницями (мультимерні протеїни).

Протеїни - це тонкі структури, які підтримуються взаємодією у межах

протеїнового ланцюжка (обумовленого амінокислотою послідовністю) і за допомогою взаємодії з навколишнім розчинником. Зміни в умовах навколишнього середовища, такі як склад розчинника, температура й тиск можуть порушувати тонкий баланс інtermолекулярних зв'язків і взаємодії розчинника із протеїном і, відповідно, можуть привести до (повного) розгортання/денатурації поліпептидного ланцюжка. Термін «денатурація протеїну» вказує на феномен, при якому більш висока структура білка руйнується змінами навколишнього середовища, при цьому первинна структура залишається без пошкоджень (Масон [87]). Вплив ВТ на білки був темою багатьох робіт. Обробка тиском може викликати сильний вплив на білки, викликаючи оборотні й необоротні структурні зміни, які приводять до денатурації білка, концентрації або утворення гелю. Структурна реорганізація, що має місце у білка після обробки тиском, узгоджується із принципом Ле Шательє. Застигання при обробці ВТ відбувається внаслідок скорочення об'єму білкового розчину; і навпаки, теплова денатурація протеїну викликається інтенсивним рухом молекул, що приводить до руйнування нековалентних зв'язків. Ковалентні зв'язки не зазнають впливу високого тиску, таким чином, первинна структура білків залишається недоторканою під час обробки тиском. Вторинні структури білків починають змінюються при тиску вище за 1000 МПа, що можна пояснити розщепленням водневих зв'язків, які посилюються при низькому тиску (Кнорр [85]). Ці зміни залежать від характеру й концентрації білка, а також від застосованих параметрах обробки - тиску, температури, часу обробки й характеристик навколишнього середовища, таких як рівень рН або іонна сила (Ровере). Вивченню ефектів впливу на протеїнові системи ВТ та підвищених температур присвячено багато робіт (Тревельсен та інші; Рубенс та інші; Масон; Хереманс; Гош та інші). Кількісна оцінка денатурації білка, викликаной тиском, пропонує діаграми тиску-температури рис.1.2.; на яких представлені розкриті еліптичні контури із зазначенням того, що протеїни можуть піддаватися денатурації під впливом тепла й холоду. Відношення між денатурацією білків під впливом нагрівання, охолодження й тиску представлене

ознакою змін теплової енергії (H) і змін в обсязі (V). Один із практичних результатів такого явища - це стабілізація на тлі денатурації під впливом тепла при низькому тиску. Це спостерігалось не тільки в декількох білках і ферментах, це також може застосовуватися до результату впливу тиску на теплове гелеутворення крохмалю. Різниця між денатурацією білка під впливом температури й тиску полягає в тому, що ніякі зміни не спостерігалися в ковалентному з'єднанні в денатурації білка, викликаній тиском.

До того ж, структура білків, денатурованих під тиском, значно відрізняється від структури тих, які були денатуровані високою температурою. Білки, денатуровані тиском, відносно компактні й зберігають елементи вторинної структури, тоді як білки, денатуровані нагріванням, мають розширені, практично довільні кручені конфігурації.

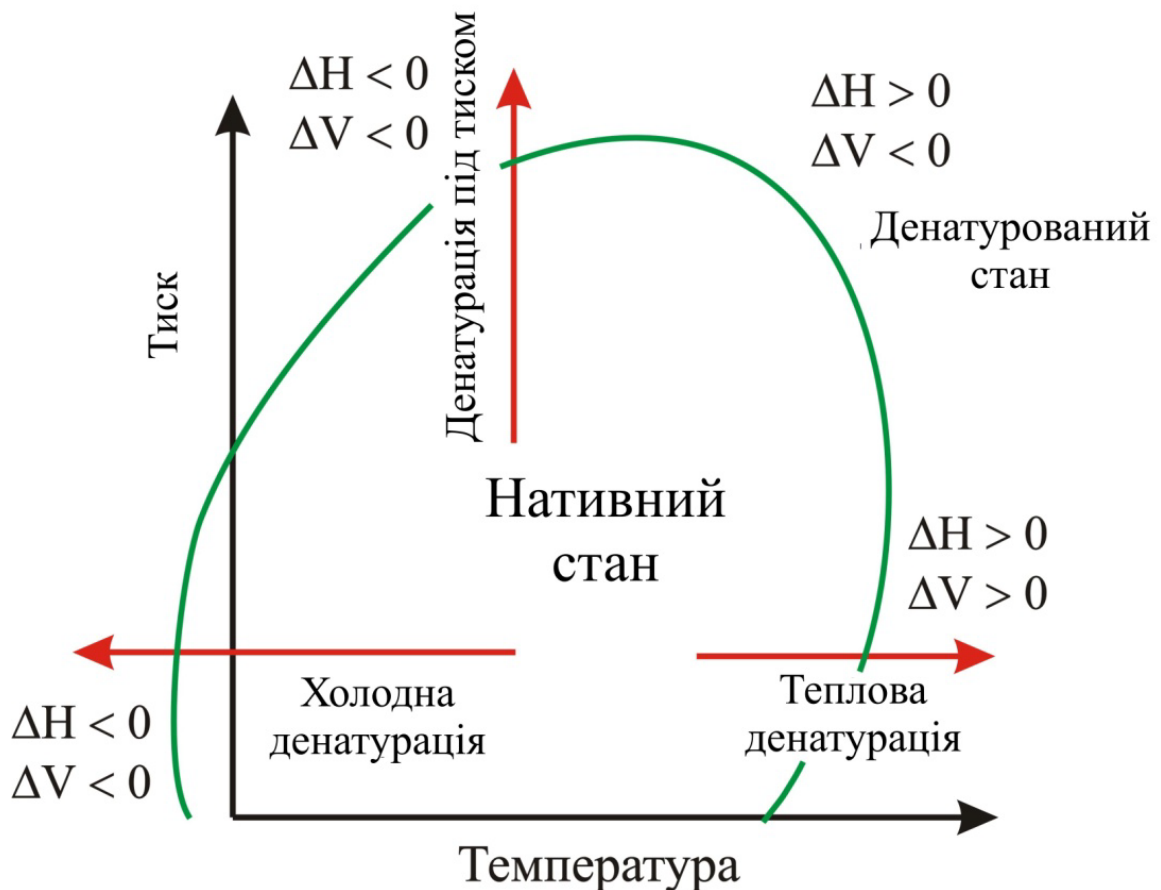


Рисунок 1.2 – Типова крива фазового переходу білків у системі температура-тиск-температура

1.6.3 Вплив високого тиску на харчовий білок. Високий тиск впливає на білок і веде до його денатурації, концентрації або гелеутворення. Перше систематичне спостереження за денатурацією білків під ВТ було проведене Бріджманом [100], який обробляв яєчний альбумін. Він помітив, що виникнення коагулянту, викликаного тиском, значно відрізняється від коагулянту, викликаного температурою, а легкість коагуляції під тиском збільшується при низьких температурах. Більш систематичні дослідження з денатурації білка, викликаного тиском, проводилися лише через 50 років, з використанням овальбуміну (Сузукі та інші [101]), хімотрипсиногену (Хоулі [84]) або метміоглобіну (Зіпп і Каузман [85]). Овальбумін, основний компонент білка яйця, був денатурований ВТ, що підтверджувалося зменшенням його α -спірального вмісту (Хаякава та інші). Результати вказували на те, що тільки конформаційні зміни викликаються обробкою тиском. Овальбумін не утворює гелю під тиском ~ 400 МПа протягом 30 хв. Ця відносна стабільність може виникати завдяки чотирьом дисульфідним зв'язкам і міцним нековалентним взаємодіям, що стабілізують тривимірну структуру білка. Однак гелеутворення не виникає при ВТ. Дої та інші вивчали результати впливу тиску на стабільність системних зв'язків в овальбуміновому гелі, який нагрівали. Вони помістили сталеву кульку поверх нагрітого гелю, а потім піддали обробці тиском. Було виявлено, що при тиску 400 МПа сталева кулька проникла глибоко в гель, припускаючи, що первинна гідрофобна й електростатична взаємодія була дестабілізована в гелі, що привело до часткового розплавлювання гелю. І навпаки, желатиновий гель, який піддавали охолодженню, не плавиться під тиском при 600 МПа, це означає, що водневі зв'язки не були дестабілізовані при обробці тиском. Інші дослідники продемонстрували, що овальбуміновий гель, утворений під ВТ, більш еластичний і м'який, ніж гелі, оброблені нагріванням, хоча гелі звичайно твердіють і стають менш в'язкими при збільшенні тиску. Смак і аромат гелів, оброблених тиском, були ідентичні натуральному аромату і смаку, але при цьому не було руйнування вітамінів і

амінокислот (Окамото та інші; Хаяші та інші). Також повідомлялося, що зміни в окремих властивостях, викликані тиском, залежали від тиску, температури й рівня рН (Планкен та інші). Однак практично немає досліджень по визначенню денатурованої та не денатурованої частини розчинів яєчного білка, хоча така інформація в край важлива при розробці процесів обробки ВТ білкових продуктів. Результати впливу тиску на білки молока теж інтенсивно досліджувалися. Лактоглобулін, основний компонент білка сироватки, чутливий до обробки ВТ. Вивчення розчинів (Думей та інші; Галазка та інші) лактоглобуліну показали, що обробка тиском має значний вплив на конформаційні й концентраційні властивості, які більш екстенсивні при високих концентраціях (Ольсен та інші). Повідомлялося про те, що збільшення тиску обробки до 800 МПа не впливало на поверхневу активність яловичого казеїну без вмісту кальцію (Дікінсон та інші). Це явище відносилось до слабо упорядкованої вторинної й третинної структури без вмісту кальцію. Однак у самому молоці, у якому казеїн ускладнений колоїдним фосфатом кальцію, четвертинна структура казеїнової міцели істотно зазнала впливу ВТ. Міцність концентрованих гелів білка сироватки, що піддавалася впливу ВТ як функція рН, вивчалася багатьма дослідниками (Ван Камп і Хайгебаерт; Канно та інші; Валькенштром і Германссон). Електронна мікроскопія виявила, що гелі, що піддавалися обробці температурою (0.1 МПа протягом 30 хв. при 80⁰С) -міцніші, і містять велику кількість постійних поперечних зв'язків між поліпептидними ланцюжками. І навпаки, обробка ВТ (400 МПа 30 хв. при 20⁰С) викликає утворення тендітних гелів з більш пористою системою й меншою кількістю інтермолекулярних поперечних з'єднань (Ван Камп і Хауйгебаерт; Дамай та інші). Застосування тиску для обробки сиру проводилося для того, щоб прискорити період окислювання (Мессенс та інші; Джонсон і Дарсі). Реологічні параметри й плавкість недоспілого сиру «Моцарела» були схожі на властивості окисленого сиру при обробці тиском 200 МПа завдяки порушенню взаємозв'язків усередині казеїну і їх внутрішньому

перерозподілу. Твердість сиру збільшилася при тиску вище 250 МПа завдяки денатурації й концентрації білка.

В овочевих протеїнах, таких як соя, боби, пшенична клейковина й кормові боби, які широко використовуються у харчовій промисловості для утворення нових харчових продуктів, обробка ВТ вважається більш м'якою процедурою обробки у порівнянні з термічною. Мацумото і Хаяші, Окамото та інші виявили, що потрібен мінімальний тиск 300 МПа протягом 10-30 хв, щоб викликати гелеутворення. Також повідомлялося про те, що ВТ утворює більш м'які гелі зі значно більш низьким модулем пружності, ніж отриманий при тепловій обробці. Пшенична клейковина часто використовується через свої унікальні в'язучі й в'язкопружні функціональні властивості, при цьому основне застосування - пшеничне борошно з низьким вмістом рослинного білка. Щоб одержати такі текстури й продукти, що раніше не існували, Апічаресрангкон та інші піддавали гідратовану пшеницю тепловій обробці під тиском у межах 200-800 МПа й температурі 20-60⁰С протягом 20-60 хв. Утворені гелі дуже відрізнялися від клейковини, обробленої тільки температурою, тому що вони мали більш виражену пружність із більш високими значеннями модулів пружності.

Також вивчалися результати впливу сполучення ВТ в межах 300-700 МПа і температури нагрівання (90⁰С, 15 хв) на структурні властивості соєвих гелів. Спостерігалось, що коли розчини піддавалися тиску до теплової обробки, усі білки утворювали відособлені гелі (Моліна й Дедвард [63]). У дослідженнях, проведених Като та інші [25], рисові зерна занурені в дистильовану воду, показували розчинність і подальше звільнення алергенних білків рису після обробки їх тиском 100-400 МПа.

Обробка ВТ при різних температурах викликає різні зміни в структурі м'яса, тому що слабкі зв'язки, що стабілізують вторинні, третинні й четвертинні структури білка, реагують по-різному на тепло й тиск (Галазка й Ледвард). Бутон та інші виявили, що обробка тиском 100 МПа, протягом 2,5 і більше хвилин до м'яза в стані після посмертного задубіння при 40-60⁰ С,

поліпшувала ніжність м'яса. Білкен та інші повідомляли про те, що обробка тиском 150 МПа при 40-800C перешкоджає розвитку міофібрилярного компонента твердості, але практично не впливає на сполучний компонент тканин, якщо не збільшити температуру, при якій тільки теплова обробка викликає збільшення цього компонента. Фернандез-Мартін та інші з'ясували, що коли відбіту свинину піддають впливу комбінації двох видів тиску (200 і 400 МПа) і п'яти тепловим обробкам (10-70⁰C), то така обробка може стабілізувати білки відносно подальшої термічної денатурації. Також, вивчалися результати впливу ВТ (800 МПа) при різних температурах (20-70⁰C) на структуру яловичого найдовшого м'яза спини в посмертному стані. Аналіз профілю структури показав, що при нагріванні зафіксовано збільшення міцності зі збільшенням температури, коли обробка ВТ проводилася при кімнатній температурі також спостерігалось збільшення міцності зі збільшенням тиску. Міозин відносно легко розвертався як під тиском, так і при тепловій обробці. Але при обробці тиском була утворена нова змінена структура з низькою термічною стабільністю (Ма й Ледвард).

Більшість досліджень, які пов'язані із застосуванням ВТ до морепродуктів, проводилися з метою виявлення його впливу на рибні білки (Ангсупаніч та інші; Ангсупаніч і Ледвард; Етьєн та інші; Ланьєр, Ошіма та інші.). Деструкція АТР-продуктів звичайно каталізується певними дефосфорилазами, присутніми в рибних м'язових тканинах. Шоджі й Саекі спостерігали певні зміни у мускулах коропа при обробці тиском 350 і 500 МПа й наступному зберіганні при 5⁰C. Це пояснюється денатурацією білків і дезактивацією ферментів (які залучені до деградації АТР і відповідних компонентів) під час обробки ВТ. Обробка ВТ суріми забезпечила одержання нового гелевого продукту з відмінним ароматом, блиском, щільністю й пружністю, що значно відрізнявся від аналогічних продуктів, оброблених температурою (Йошіока і Йамада). Більш того, гелі, що підлягали обробці тиском, зберегли свої природні колір і аромат без утворення кольору й аромату приготованого продукту (Окамото та інші [25]). Гелі сурми з таких

морських видів риб, як сайда, сардина, ставрида, тунець а також кальмарів, оброблені ВТ ставали м'якшими, більш пружними й більш смачними в порівнянні з обробленими температурою (Фарр; Такур і Нельсон, Венугопаль та інші [27]).

1.6.4 Вплив високого тиску на ферменти. Ферменти - це особливий клас білка з активним центром, утвореним тривимірною конформацією молекул (Хендрікс та інші [28]). Загалом, ферменти характеризуються двома важливими властивостями: їх потужною каталітичною здатністю і їх специфічністю; швидкість реакцій з ферментними каталізаторами від 10^6 до 10^{20} разів більша, ніж у некаталітичних. Ферменти дуже специфічні, як за типом каталізованої реакції, так і за вибором субстрату. Беручи до уваги специфічність ферментних реакцій, ферменти можуть піддаватися впливу тиску декількома способами (Шефтель [29]):

1) Обробка тиском при кімнатній температурі може викликати як оборотну, так і необоротну, як часткову, так і повну дезактивацію ферментів у результаті конформаційних змін у структурі білка. Ці зміни залежать від типу ферменту, умови мікросередовища, тиску, температури й часу обробки.

2) Ферментативні реакції можна підсилювати або інгібувати під тиском, залежно від обсягу зміни (позитивної або негативної), пов'язаної з реакцією. Зміни під впливом тиску в каталітичній швидкості можуть виникати внаслідок змін у взаємодії ферменту-субстрату, змін у механізмі реакцій або в результаті певного етапу, що обмежує швидкість щодо загальної каталітичної швидкості.

3) Макромолекулярний субстрат (білок, крохмаль) може стати більш чутливим до ферментативного впливу, як тільки він буде розгорнутий або желатинізований ВТ.

4) За умови, що клітинна мембрана або мембрана внутрішньоклітинних органелів змінилася, внутрішньоклітинні ферменти можуть звільнитися з позаклітинних рідин або клітинної цитоплазми, таким чином, сприяючи

взаємодії ферментів і субстрату.

ВТ може викликати як активацію, так і дезактивацію ферментів, залежно від рівня тиску й умов. Звичайно при низькому тиску діяльність ферментів можна підсилити, а при ВТ активність загальмовується (Керл і Дженсон [19]). Відносно низький тиск у межах 100-200 МПа активує монометричні ферменти, тоді як ВТ звичайно викликає дезактивацію ферментів. Буц та інші [20], Гомес та інші [55] пояснили, що крім конформаційних змін, усунення порушення цілісності під впливом тиску викликає активацію ферментів. Коли харчові матеріали перебувають у природному стані, існує поділ на частини між ферментами й субстратами. Вплив ВТ на тканини харчових продуктів ушкоджує мембрану, і витік ферментів приводить до контакту ферментів і субстратів. Іноді активність ферментів підсилюється або скорочується внаслідок зміни рівня рН у результаті вивільнення деяких компонентів у навколишнє середовище під дією тиску.

Вплив тиску на хімічні й біохімічні системи описується за допомогою термодинамічного параметра ΔV , який характеризує зміну часткового молекулярного об'єму між вихідним і кінцевим станом при постійній температурі.

$$\left(\frac{\delta \Delta G}{\Delta P}\right) = -RT \left(\frac{\delta \ln K}{\delta P}\right) = \Delta V$$

Це рівняння підпорядковується принципу Ле - Шательє, який передбачає, що застосування тиску зрушує рівновагу стану, що займає найменший об'єм. Отже, тиск сприяє реакціям, які супроводжуються скороченням об'єму й навпаки (Гереманс [75]; Гросс і Дженіке [76]).

Загалом, зниження активності ферментів (A) як функції часу обробки (t) можна описати таким рівнянням.

$$\left(\frac{dA}{dt}\right) = -kA^*$$

Часто дезактивацію ферментів описують як кінетичну модель першого порядку (Річардсон і Хайслоп [77]; Ленкі та інші [78]) Передбачається, що у випадку явної кінетичної моделі першого порядку, утворення руйнування різних взаємозв'язків, розкладання амінокислот і реакції концентрації/розпаду в дезактивації ферментів переважають над іншими. Цей висновок потребує уточнення і визначення порядку реакцій при обробці окремих продуктів відносно цільового компонента для активації/ дезактивації котрого проводиться обробка ВТ. Якщо кілька реакцій виникають більш-менш при однаковій швидкості, очікується поява комплексної кінетики не першого порядку (Ленкі та інші [78]).

Вплив ВТ на ферменти, пов'язані з якістю, особливо у фруктах і овочах, широко вивчався (Буц та інші [73]; Сідерхельм та інші [79]; Кано та інші [46]; Кім та інші [80]). Відповідно до результатів цих досліджень зміни, викликані тиском у каталітичній діяльності, різні залежно від типу ферменту, характеру субстратів, температури й тривалості обробки. Тому зупинимось на розгляді основних ферментів що відомі як відповідні за якісні властивості харчових продуктів

Альфа-амілаза. Одним з основних ферментів, наявним у зернах хлібних злаків, таких як пшениця і ячмінь, є амілаза. Амілаза, що гідролізує крохмаль у глюкозу під час ферментації, змінює характеристики тесту для одержання хліба наприкінці процесу ферментації. У дослідженнях, які проводили Гомес та інші [81], ВТ, прикладений до 25% (вагове співвідношення) рідкої маси ячменю й пшеничного борошна при кімнатній температурі, привів до збільшення загальної кількості розчинного гідроокису вуглецю та скороченню кількості цукру в зразках, оброблених при 400-600 МПа протягом 10 або 20 хв [82]. Так само щодо впливу сполучення тиску й температури при обробці альфа-амілази бактерії *Bacillus subtilis* Людікх'юз та інші [83] одержали кінетичну діаграму тиск-температура. Кінетика дезактивації ВТ промислової амілази в яблучному соку оцінювалася при різних іспитових умовах (100-400 МПа; 0-60 хв і 6-40°C), (Ріахі та інші[84]).

Під час фази витримки під тиском D значення скоротилося зі збільшенням тиску. Залежність D -значень від тиску також описувалася традиційною моделлю летального періоду, а відповідні величини тиску (при рН 3.0, 3.5 і 4.0) склали 518, 646 і 705 МПа, при 20°C. Майже повна дезактивація ферменту була можлива при сполученні низького рівня рН, високого тиску й високих температур.

Пектинметилестераза. Втрата суспензії, яка супроводжується застиганням концентратів соку й втрата ступеня густоти томатних продуктів - основна проблема, пов'язана з погіршенням якості апельсинового й томатного соку. Пектинметилестераза (ПМЕ) відповідальна за ці погіршення. ПМЕ дезактивується шляхом нагрівання традиційним процесом консервації, що викликає негативний вплив на аромат, колір та інші складові, пов'язані зі смаковими, поживними й корисними характеристиками продукту (Грве й Ольссон, [85]). Огава та інші [86] показали, що обробка апельсинового соку ВТ може сприяти одержанню промислового стабільного продукту високої якості. Повідомлялося про те, що обробка ВТ ~ 600 МПа може частково (до 90%) і необоротно дезактивувати ПМЕ апельсина, яка не відновлюється при зберіганні й транспортуванні. Також кінетика дезактивації ендогенної пектинметилестерази (ПМ) у свіжо вижатому апельсиновому соку при обробці ВТ (100-800 МПа) у сполученні з помірною температурою (30-60°C) вивчалася Полідерою та іншими [87]. Була запропонована кінетична модель дезактивації ПМЕ апельсина під тиском рис. 1.3 у вигляді кінетики першого порядку із залишковою активністю ПМЕ (5-20%) і використанням усіх сполучень тиск-температура. Однак ці дослідники зупинилися на цьому і не побачили явної аналогії отриманої кінетики з кінетикою дезактивації шкідливої мікрофлори та кінетикою деградації вітаміну С в залежності від параметрів ВТ та температури обробки. Лакруа та інші [88] повідомили, що характеристики свіжості апельсинового соку, обробленого нагріванням, були покращені послідувочною гомогенізацією під ВТ.

Дезактивація ПМЕ, викликана обробкою ВТ, у білому грейпфруті

(*Citrus paradisi*) при температурах $>58^{\circ}\text{C}$ у діапазоні тиску 0.1-300 МПа вивчалася Джіаварком та інш. [89]. Отримані результати показали, що сполучення високого тиску та (низкої/середньої) теплової обробки може усунути до 80% всієї активності ПМЕ, тим самим значно обмежуючи дефект втрати густоти в соках.

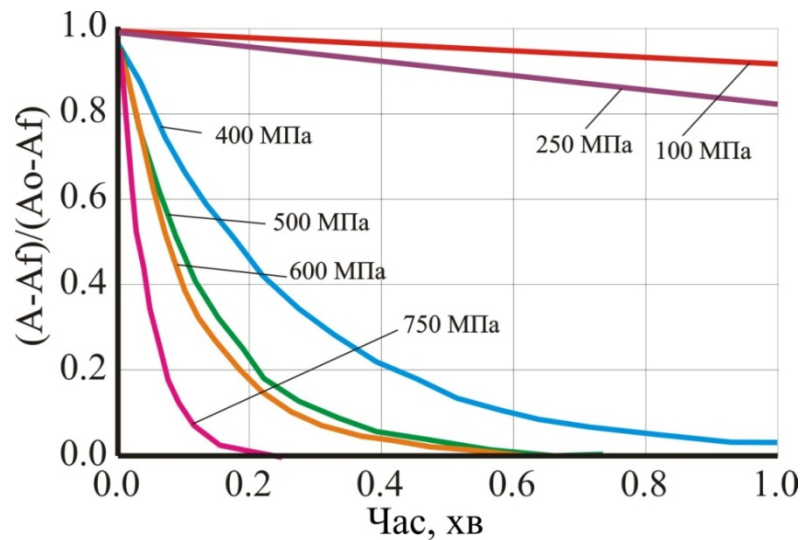


Рисунок 1.3 – Дезактивація ПМЕ під час обробки при 60°C і різних ізобаричних умовах (100-750 МПа)

Як у модельній системі, так і в практичних дослідженнях на моркві, проведених Балогом та ін. [90], дезактивація ПМЕ виявлялася й при ізотермічних і при ізотермоізобаричних умовах. Була запропонована і досліджена при всіх умовах обробки, кінетична модель першого порядку для ПМЕ моркви.

Що стосується томатних продуктів, ПМЕ - ендогенний пектиновий фермент, який перебуває переважно в стінках клітин томату, який деетерифікує метилову групу пектину й конвертує його в низькометоксильний пектин або пектинові кислоти (Гінер та інші [91]). Низькометоксильний пектин або пектинові кислоти можна легко деполімеризувати й гідролізувати полігалактуроназою (ПГ), що приводить до втрати в'язкості в продуктах на основі томату. Поррета [92] дістав висновку, що щоб уникнути втрати якості потрібна часткова або повна

дезактивація ПМЕ разом з дезактивацією ПГ при обробці томату. ПМЕ томату виявляється більш стійкою до тиску, і її дезактивація відповідає кінетиці першого порядку (Сейдерхельм та інші) [93].

Дезактивація під тиском і/або температурою (при помірній температурі 10-64°C, у сполученні з ВТ 0.1-1-800 МПа) нестійкої фракції ПМЕ очищеного перцю вивчалася в модельній системі при рН 5.6. Так як спостерігався протилежний ефект впливу тиску й температури при низькому тиску ($P < 300$ МПа) і високих температурах ($> 54^\circ\text{C}$), був зроблений висновок про те, що обробка високим тиском для дезактивації ПМЕ перцю успішна при тиску вище 300 МПа (Кастро та інші [94]).

Ліпоксигеназа. Ліпоксигеназа (ЛОКС, ЕС 1.13.11.12, лінолеат: кисень 13) оксидоредуктази - це фермент, що відповідає за утворення неприємного прогірклого смаку в багатьох овочах, особливо в стручкових рослинах (Уайтейкер [95], Ескін та інші; Галлард і Чан [97]; Річардсон і Хайслоп, [77]). Баур та інші [98] виявили зв'язок між активністю ЛОКС й виникненням гіркого смаку. Для деяких оброблених овочів необхідна дезактивація ЛОКС, щоб виключити виникнення неприємного смаку, і таким чином, одержати високоякісні овочі з мінімальною обробкою. Хоча теплова обробка ефективно дезактивує ЛОКС, інші білки (наприклад, білки сої у соєвих бобах) можуть одночасно денатуруватися і втрачають свою функціональність і/або розчинність. Певні аромати, кольори, вітаміни й поживні речовини також піддаються впливу тепла (Боран і Снайдер [99]; Вільямс та інші). У даному контексті високий тиск забезпечує альтернативу для дезактивації ферментів при температурі навколишнього середовища (Людікх'юз; Вімаес та інші). Повідомлялося про необоротну дезактивацію ЛОКС в неочищеному екстракті зеленої квасолі при температурі в межах 55-70°C при атмосферному тиску, тоді як для дезактивації ЛОКС ВТ при кімнатній температурі необхідний був тиск близько 500 МПа. Обробка ВТ при 200 МПа приводить до 10% дезактивації, тоді як мінімум 50% дезактивації ЛОКС відбувається під тиском вище 500 МПа й термічній обробці між 10 і 30°C

(Индраваті та інші [3]). Однак у трис-буфері активність ЛОКС значно була дезактивована при рН 9.0 і 400 МПа, і втратила всю активність при 600 МПа та будь-яких значеннях рН (Тангвонгчай та інші [4]).

У соєвих продуктах розвиток неприємного смаку залежить від дії ЛОКС, так як наступне розкладання гідроперекису виробляє прогірклий запах і смак бобових. Термічна дезактивація ферментів при атмосферному тиску виникає в температурному діапазоні 60-70⁰ С. І навпаки, дезактивація під тиском/температурою виникає у діапазоні тиску 50-650 МПа і температурі від 10 до 64⁰С (Людікх'юз та інші [1]). Більш того, кінетично вивчався вплив ВТ на дезактивацію й денатурацію ЛОКС соєвих бобів. Автор з точністю описав як термічну денатурацію, так і під тиском за допомогою кінетичної моделі першого порядку. У роботі [5] авторами відзначено, що дезактивація виникає швидше, ніж денатурація, таким чином, це вказує на те, що тільки невеликі зміни в третинній структурі відповідають за втрату активності ферментів.

Поліфенолоксидаза. (ПФО) відповідає за появу коричневого кольору ушкоджених фруктів і овочів, і як вважається, є однією з основних причин погіршення якості при виникненні коричневого забарвлення й супровідних змін у зовнішньому вигляді й органолептичних властивостях під час транспортування після збору врожаю, зберігання й обробки. Оскільки вона є основною проблемою у харчовій промисловості, дезактивація ПФО дуже важлива (Ламрехт [6]; Феррар і Уолкер [7]). ПФО в грибах і картоплі дуже стійкі до тиску, тому потрібна обробка при ~ 800- 900 МПа для скорочення активності (Гомес і Ледвард [181]; Ештіагі та інші [28, 77], Вімаес та інші [9]).

ПФО винограду, полуниці, абрикоса і яблука показали більшу чутливість до тиску. Потрібен був тиск близько 100, 400 і 600 МПа для дезактивації ПФО в абрикосі, полуниці й винограді відповідно (Джоліберт та інші [21]; Амати та інші [21]). Для декількох ферментів ПФО було встановлено, що дезактивація під тиском відбувається швидше при більш

низькому рівні рН [20, 21]. Наприклад, при кімнатній температурі дезактивацію ПФО грибів і авокадо при їхньому оптимальному рівні рН (6.5 і 7, відповідно) можна було б з точністю описати за допомогою кінетичної моделі першого порядку. Як для ПФО грибів, так і для ПФО авокадо граничний тиск для дезактивації зменшується, коли рН опускається нижче оптимального значення рН. Додатково до дезактивації ПФО при високому тиску повідомлялося про дезактивацію при низькому тиску для яблук (Джоліберт та інші [21]; Буц та інші [13]; Асака та інші [21] і ПФО полуниці (Кано та інші [21]).

Пероксидаза. Пероксидаза (ПОД) в овочах викликає негативну зміну аромату під час зберігання. Більше того, ПОД часто використовується як індикатор для оцінювання ефективності бланшування, тому, що це найбільш теплостійкий фермент в овочах. Отже, його дезактивація вказує на термічну дезактивацію всіх ферментів овочів (Річардсон і Хайслоп [17]; Кваглія та інші [21]). ПОД також дуже стійка до тиску, і дезактивація під тиском відбувається тільки тоді, коли ПОД піддається впливу дуже високого тиску. Для ПОД із хрину потрібні сполучення тиску 800-900 МПа і температури в межах 55-70°C, щоб викликати в якомусь ступені значну дезактивацію. Для ПОД, витягнутої з моркви (рН 6-7), необоротну й повну втрату активності ферментів можна одержати тільки при 900 МПа (1 хв.). У дослідженні, що проводилося Гарсія-Палазоном та ін. [21], результат впливу ВТ на полуницю при максимальній дезактивації ПОД (35%) був досягнутий після застосування тиску 600-800 МПа протягом 15 хв. Цей результат добре узгоджувався з попередньою роботою, проведеною Кано та ін. [21] на полуниці, коли дезактивація на 25% досягалася після обробки ВТ 230 МПа протягом 15 хв. Вплив ВТ на полуницю було визначено як функцію співвідношення A/A_0 до часу обробки тиском. У червоній малині, свіжій або після обробки тиском, не була виявлена активність ПОД.

У випадку з лактопероксидазою, основного ферменту пероксидази в молоці, здатність витримувати ВТ при температурі у межах 10-30°C суворо

залежала від навколишнього середовища. Дезактивація під тиском була більш виражена у трис-буфері рН 7, ніж у молоці. У трис-буфері вихідна активність скоротилася на 70% при 600 МПа. (Сейдерхельм та інші [17]).

Бета-глюкозидаза. Бета-глюкозидази (β -глюкозидази глікогідролаза,) каталізує гідроліз арилу й алкілу β -D-глюкозидів. На виробництві глюкозидази використовують у різних основних метаболічних процесах, при цьому звільнення ароматичних летких речовин є найбільш важливим у межах біоутворення аромату у фруктах [21]. Згідно з Забетакісом та ін. [21] ВТ впливає на активність глюкозидази в сирій полуниці при цьому діапазон тисків складає 200-800 МПа. Було виявлено, що фермент глюкозидази активується, коли використовується тиск 200 і 400 МПа, але значно дезактивується при обробці під тиском 600 і 800 МПа. У статті Гарсія-Палазона та ін. [21] вплив ВТ на активність глюкозидази полуниці й малини представлений як функція співвідношення A/A_0 до часу обробки.

Протеолітичні й катептичні ферменти. Протеолітичні й катептичні ферменти викликають зміни в структурі продуктів і як наслідок впливають на терміни зберігання, а також сприяють псуванню (Аші та інші [21]; Хансен та інші [21]; Аші й Сімпсон [20]). Ліполітичні ферменти сприяють вивільненню вільних жирних кислот (Ошіма та інші [22]), які можуть впливати на органолептичні властивості риби (Ловерн [22]), викликати знебарвлення каротеноїдних пігментів на шкірі й у тканинах м'яса (Цукуда [22]), і відомо, що вони сприяють денатурації білка. Протеолітична деградація підходить для тендеризації м'яса ссавців. Технологія обробки ВТ може використовуватися для зменшення процесу старіння м'яса. Обробка м'яса ВТ (від 100 до 200 МПа) підсилює ендогенну протеолітичну активність, яка має місце при обробці м'яса шляхом вивільнення протеази з лізосом і шляхом денатурації білка тканини. Мацумото [24], Сікорський та інші [22] і Ошіма та інші [21] продемонстрували зменшення вмісту вільних жирних кислот і сповільнення ферментативної деградації фосфоліпідів у холодному м'язі, обробленому при ~ 405 МПа протягом понад 15 хв. Було представлено, що ферменти риби, такі як катепсин

C, колагеназа, хімотрипсин і трипсиноподобні ферменти найбільш чутливі до ВТ при 100-300 МПа (Аші й Сімпсон [20]; Сімпсон [26]) і зменшена автолітична активність спостерігалася під тиском понад 200 МПа у восьминому (Хуртадо та інші [27]). ВТ можна застосовувати для дезактивації ферментів, які властиві для м'язових тканин лосося, і можна одержати продукт хорошої якості з більш тривалим строком зберігання.

1.7 Дія високого тиску на крохмаль

Гранули крохмалю - це напівкристалічні частки, які в основному складаються з лінійної амілази й широко розгалуженого амілопектину, які є полімерами з великою молекулярною масою. Крохмаль із різних рослинних джерел містить від 15 до 30% амілози, хоча є деякі мутаційні варіанти пшениці, які можуть виробляти від 1.2 до 39.5% амілози (Бочарнікова та інші [28]) або варіанти кукурудзи 100% амілопектину («воскової» крохмаль) і до 75% амілози («розчинник амілози») (Гідлі й Бойчек [29]) Останнім часом багато досліджень сфокусувалися на структурі гранул крохмалю, щоб краще зрозуміти механізм гелеутворення, ретроградації й стабільності крохмальних гелів та крохмалю (Блажак та інші [23]; Рубенс і Хереманс [31]).

Крохмаль використовується у багатьох харчових продуктах, щоб збільшити в'язкість або утворити гель. Оскільки крохмаль не розчинний у воді, суміш крохмалю з водою утворює суспензію. ВТ впливає на полімери крохмалю, викликаючи їх желатинізацію (Доузале та інші [32]; Доузале та інші [33]). ВТ викликає гідрацію аморфної фази, після чого слідує перекручування кристалів, що веде до руйнування гранульованої структури. Мікроскопічне спостереження показало різний ступінь набрякання для деяких видів крохмалю, оброблених тиском, на відміну від тих, які оброблялися температурою (Стьюот та інші [34]). Передбачається, що розходження в механізмі желатинізації можуть викликати такі результати. Доузале та інші [33] з'ясували, що гранули крохмалю пшениці набухали в результаті обробки тиском. Дослідження 16% (у ваговому співвідношенні) пшеничного крохмалю показали, що желатинізація крохмалю під

тиском, оцінювана за допомогою диференціальної скануючої калориметрії, починається при 600-700 МПа при 25°C. Автори з'ясували, що під тиском крохмаль ячменю утворить пастоподібну масу із кремовою структурою подібною до крохмалю пшениці, кукурудзи, маніоку й гороху. Вони також повідомляли про те, що властивості крохмальної пасти й гелю, отримані під ВТ відрізняються від властивостей желатинізованого під температурою крохмалю. Вони пояснили це явище, виділивши роль стабілізуючого ефекту амілози під тиском. Восковий кукурудзяний крохмаль дезінтегрувався під ВТ, тоді як аміло-кукурудзяний крохмаль не поміняв свою гранульовану структуру навіть при 900 МПа (Катопо та інші [35]). Також з'ясувалося, що ВТ впливає на реологічні властивості ячмінного крохмалю. Однак, гранули крохмалю залишалися недоторканими й не було виявлено ніякого вимивання амілози (Столът та інші [36]). Ефект ВТ на структуру суспензії з картопляного крохмалю й води (10%), яку обробляли тиском 600 МПа протягом 2 і 3 хвилин, вивчав Блажак та інші [37]). Спектральний аналіз крохмальних препаратів показав, що високий тиск значно впливає на інтенсивність смуг, які відповідають безладній або більш упорядкованій частині структури крохмалю. Аналіз показав зменшення температури желатинізації при обробці ВТ. Повідомлялося про те, що внутрішня частина грануляту була практично повністю заповнена гелеподібною структурою, при цьому порожні місця ростуть у діаметрі в напрямку до центра гранули. Желатинізований крохмаль рекристалізується під час зберігання, впливаючи на структуру й строк зберігання харчових продуктів. Це явище відоме як ретроградація. Ретроградація сприяє появі дефектів якості харчових продуктів, таких як втрата пружності й виділення осаду в супах і соусах. Джупілла та інші [38, 39] повідомляли про те, що вміст води, температура зберігання й різниця температур між температурою зберігання й температурою переходу в склоподібний стан є важливими факторами в ретроградації термічно обробленого кукурудзяного крохмалю.

Доузале та інші [33] повідомляли про те, що рекристалізація желатинізованого пшеничного крохмалю (30% сухих речовин), обробленого

тиском під час зберігання досягла асимптотичного значення через 6 днів, а ступінь ретроградації був вищим для крохмалю, желатинізованого нагріванням, ніж у крохмалю, желатинізованого під тиском 600 МПа. Так як ретроградація залежить від рослинного походження крохмалю, температури й концентрації крохмалю, важливо досліджувати вплив обробки ВТ на характеристики ретроградації крохмалю різного рослинного походження (Феннема [40]; Вальтер [21]). Також важливо вивчити потенціал обробки тиском для модифікації функціональних властивостей крохмалю. Кінг і Калетунк [42] оцінили вплив обробки ВТ на кінетику кристалізації пшеничного й кукурудзяного крохмалю, і її вплив на реологічні характеристики під час зберігання. У межах даного контексту кукурудзяний і пшеничний крохмалі, желатинізовані при 600-700 МПа при 25°C, і зберігаються при 23°C, показали характеристики щільних гелів протягом більш тривалого періоду часу, ніж ті крохмалі, які зберігалися при 4°C. Дані, зібрані в цьому дослідженні, показали, що обробка ВТ разом з термічною обробкою мають сприятливий вплив для промислового використання, у порівнянні із крохмалем нативної кукурудзи й пшениці.

1.8 Висновки до 1 розділу

Виконаний аналіз літературних джерел, вивчення сучасного стану технологій в яких застосовується ВТ, порівняльне узагальнення вимог до результатів такої обробки продуктів дозволяють відмітити наступне.

1. На Україні поява новітніх технологій, привнесених на підставі інтеграційних зв'язків, значно випереджує знання про них як у широкого загалу, так і у фахівців. Для широкого впровадження процесу обробки ВТ у національну харчову промисловість потрібно провести дослідження по вивченню механізму і кінетики деградації дезактивації, деяких харчових з'єднань (наприклад, вітамінів, протеїнів, мікроорганізмів, ферментів) які викликані тиском, у продуктах які відповідають національним традиціям харчування.

2. Використання ВТ для стерилізації продуктів харчування має потенціал, спрямований на задоволення вимог споживачів, які віддають перевагу продуктам з мінімальними наслідками такої стерилізації. Процес знезараження ВТ скорочує мікробне навантаження до того ж рівня, що досягається традиційними методами, при цьому забезпечується більш висока якість продуктів.

3. Вважається що обробка ВТ харчових продуктів, багатих протеїнами, таких, як яйця, м'ясо або риба, обмежена, тому що ВТ викликає денатурацію протеїнів. Однак нами виявлено тільки одну спробу застосувати ВТ для досягнення кулінарної готовності.

4. Дослідження, що пов'язані з вивченням впливу ВТ на фруктові соки проводяться, як правило окремо від досліджень фізико-хімічного стану соків отриманих після обробки ВТ, хоча велика кількість публікацій вказують на те, що обробка ВТ може призвести до втрачання обробленими соками своїх корисних властивостей.

5. Кінетика дезактивації, що виникає при обробці ВТ, у деяких випадках відрізняється від кінетики обробки нагріванням, тому цей факт потребує перевірки для того щоб забезпечити безпеку обробленого продукту.

6. Багато досліджень зроблено по визначенню параметрів процесу обробки екзотичних та делікатесних продуктів а традиційні для споживачів України продукти, які мають широкий ринок споживання практично залишились за межами уваги дослідників у цій галузі. Тому ж сприяє поступове зниження собівартості обробки ВТ.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ВИСОКОБАРАМЕТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ

2.1 Основні принципи створення й підтримки високого тиску

Тиск - це термодинамічна змінна, присутня у біосфері. У природі гідростатичний тиск підвищується на 1 атм. на кожні 10 м глибини води. Таким чином, тиск на дні Маріанської западини, в одному з найглибших місць на землі, досягає до 116 МПа. Однак ВГТ при обробці харчових продуктів використовується у межах 100-1000 МПа, що практично дорівнює тому ж рівню або навіть у 10 разів вище, ніж тиск у найглибшій точці моря. Тому для вироблення й утримання такого високого тиску потрібне спеціальне обладнання. Як написав академік Л.Ф. Верещагін у передумові до монографії Бриджмана : «...якщо потрібно одержати тиск вище ніж 1000 атм. (100 МПа), експериментатор більшу частину свого труда і часу витрачає на створення необхідної апаратури» [45].

Типова система ВТ складається з КВТ та її корпуса, системи генерування тиску, пристрою регулювання температури. Головна частина установок ВТ – це камера високого тиску, що, у багатьох випадках, представлена у вигляді кованої монолітної циліндричної посудини, виготовленої з низьколегованої сталі з високою межею міцності на розрив. Товщина стін суцільнолитої посудини визначає максимальний робочий тиск.

Залежно від внутрішнього діаметра камери використання суцільнолитих КВТ звичайно обмежується максимальним робочим тиском 400-600 МПа. Якщо потрібні більш високі величини тиску, використовуються конструкції камер у попередньо розтягнутому стані, наприклад багатошарові камери або обмотані дротом [46]. ВТ можна генерувати за допомогою прямого стиску рис. 1.5, або непрямого стиску рис. 2.1.

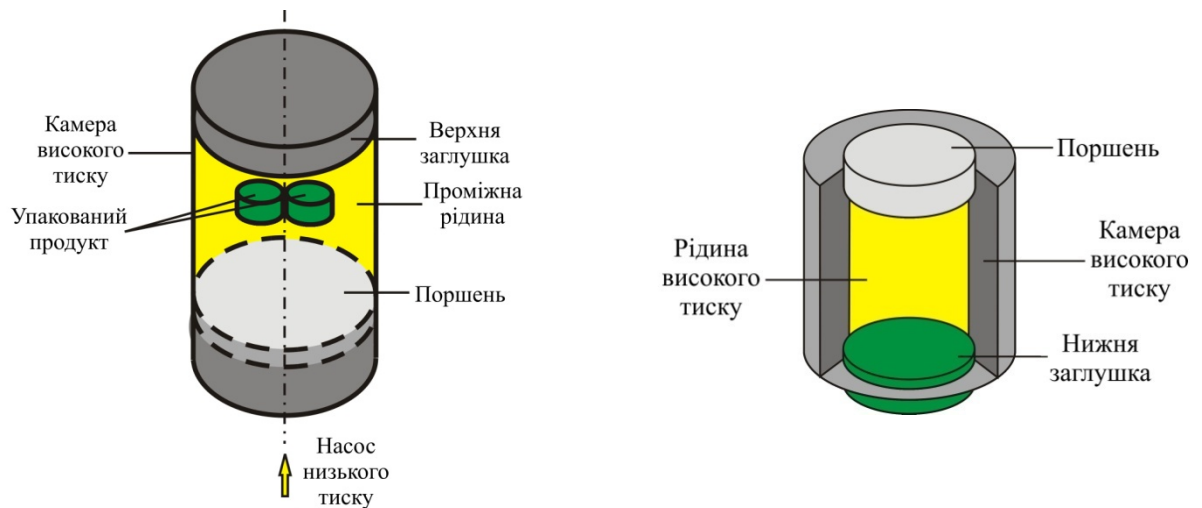


Рисунок 2.1 – Прямий метод генерування високого і тиску з використанням поршня із приводом від насоса низького тиску

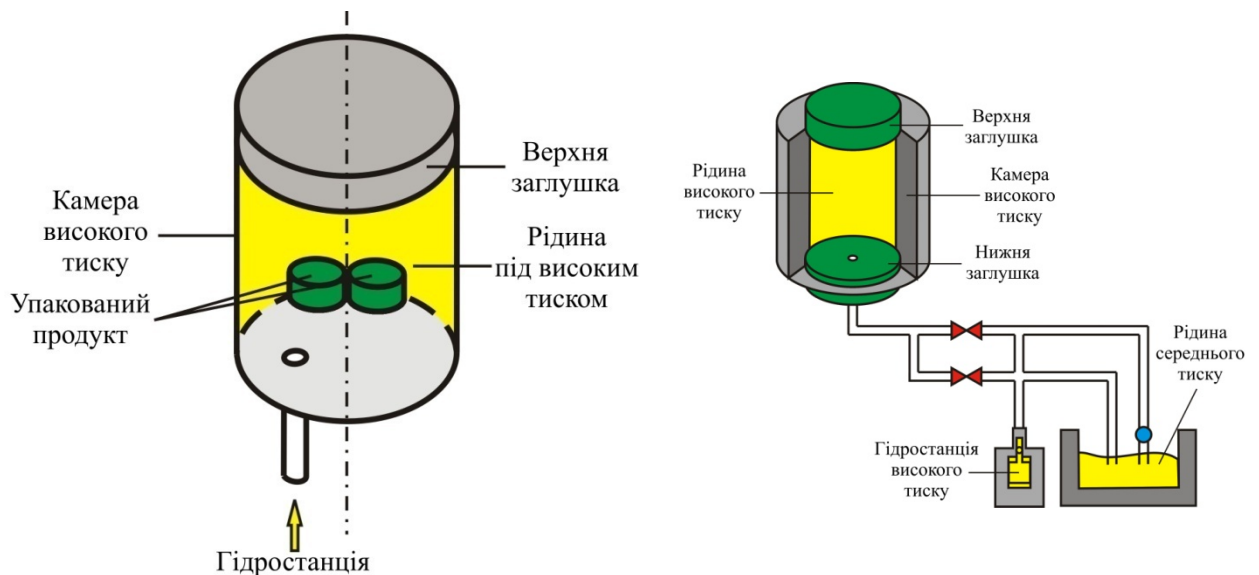


Рисунок 2.2 – Непрямий метод для генерування ВТ з використанням підсилювача високого тиску для закачування робочого середовища тиску в закриті КВТ

У випадку прямого стиску поршневого типу робоче середовище під тиском у камері високого тиску піддається впливу прямого тиску під дією поршня з кінцем великого діаметра, що активує насос низького тиску. Метод непрямого стиску передбачає використання підсилювача високого тиску, що накачує робоче середовище під тиском з резервуара в закриті вакуумну

камеру ВТ, поки не буде досягнутий необхідний тиск. Для обробки харчових продуктів використовуються обидва процеси. Для обробки продуктів харчування непрямим способом використовуються різні гнучкі бар'єрні упакування. Звичайні пакувальні матеріали, які використовуються при обробці продуктів високим тиском, – це етиленвінілалкоголь (VОН) і полівінілалкоголь (PVОН). Рідини, що передають тиск, використовуються в камері для рівномірного й негайного розподілу тиску у харчовому зразку. Деякі із традиційно використовуваних рідин, що передають тиск, – вода, розчини етиленгліколю, кремнієве масло, розчини бензоату натрію, інертні гази й касторова олія. Герметичні упаковки досить гнучкі, щоб витримати компресію, що виникає під час пресування. Робоче середовище під тиском і вміст упаковки стискаються приблизно на 80-90% від оригінального об'єму при тиску 400-800 МПа, але звичайно, набувають вихідні об'єми при скиданні тиску.

Властивості пружності багатьох харчових продуктів допомагають їм повернути їхню оригінальну структуру й форму [47]. Є три основних типи систем обробки харчових продуктів ВТ: системи групової обробки (традиційні), запозичені з холодної ізостатичної обробки, напівбезперервні й безперервні системи. Системи групової обробки можуть обробляти рідкі й тверді продукти, але вони повинні бути попередньо упаковані. На потокових технологічних лініях можна застосовувати тільки рідкі продукти, що перекачуються насосом (наприклад, фруктові соки). Продукт перекачується у робочу камеру під високим тиском і піддається обробці, використовуючи вільно плаваючий поршень, що відокремлює продукт від робочого середовища під тиском. Для систем групової обробки загальний час тривалості циклу – це сума кількості окремих етапів: заповнення, закриття, створення тиску, утримання тиску, скидання тиску, відкриття, вивантаження (рис. 2.3)

Для рідких продуктів також можлива безперервна обробка, при якій використовуються трубчасті реактори або спеціальні клапанні системи [48].

В упакованому продукті, зануреному в стиснуту рідину, тиск передається рівномірно й негайно по всьому продукту. За таких умов продукт ізостатично стискується, тому що його внутрішній тиск вирівнюється до зовнішнього. Газоподібна частина продукту практично зникає повністю, тоді як рідини й тверді тіла залишаються у межах своєї властивості стиснення.

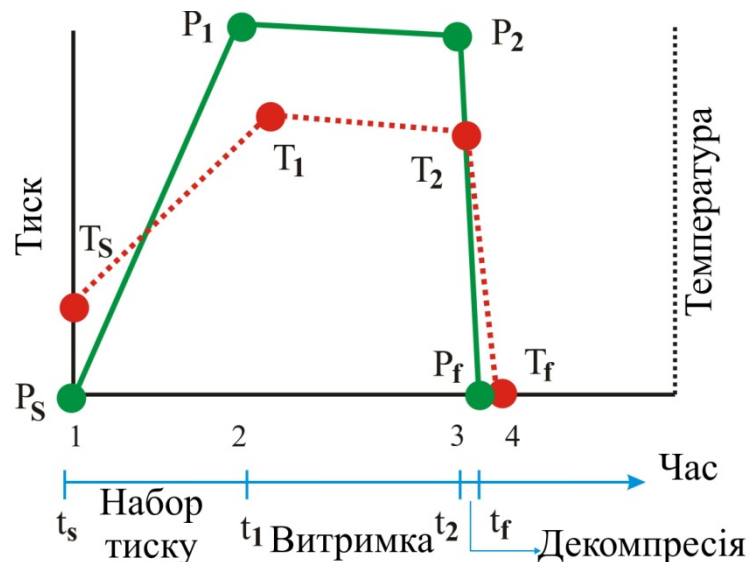


Рисунок 2.3 – Типові змінні (тиск, температура й час) для зазначення умов випробування під високим тиском. Навколишній тиск P_s і P_f звичайно 0.1 МПа. T_m – максимальна температура в процесі пресування. Різниця між температурою навколишнього середовища до й після обробки під високим тиском (T_s і T_f) звичайно вказує на ступінь теплових втрат при випробуванні (припускаючи, що час скидання тиску перебуває в межах декількох секунд)

Для досягнення високих тисків у тисячі й десятки тисяч МПа з початку ХХ століття дослідники використовували два типи камер високого тиску: поршневі й ковадла Бріджмана. В обох типах апаратури тиск створюється за рахунок зменшення об'єму стискуваної речовини. Одержання максимальних тисків обмежується міцністю конструкційних матеріалів. Апарати поршневого типу дозволяють проводити дослідження у більших об'ємах ($\approx 1-100 \text{ см}^3$ і більше) при тисках, що не перевищують, як правило, 3-5 ГПа. Застосування ковадл Бріджмена в харчовій промисловості не

можливе, тому ми обмежимося розглядом тільки камер поршневого типу й камер с примусовим створенням тиску насосами ВТ.

Для дослідження впливу ВТ на продукти харчування дослідниками [49] був розроблений і виготовлений експериментальний стенд для дослідження компресійних властивостей м'яса й м'ясопродуктів (рис. 2.4). Для вимірювання переміщення плунжера в даній конструкції застосовувався індикатор лінійних переміщень годинного типу з точністю 0,01 мм. Недоліками цієї конструкції були невисока точність вимірювання основних термодинамічних параметрів, складні маніпуляції при установці й вилученні випробуваних зразків, повна відсутність автоматизації й документування результатів досліджень, низька надійність.

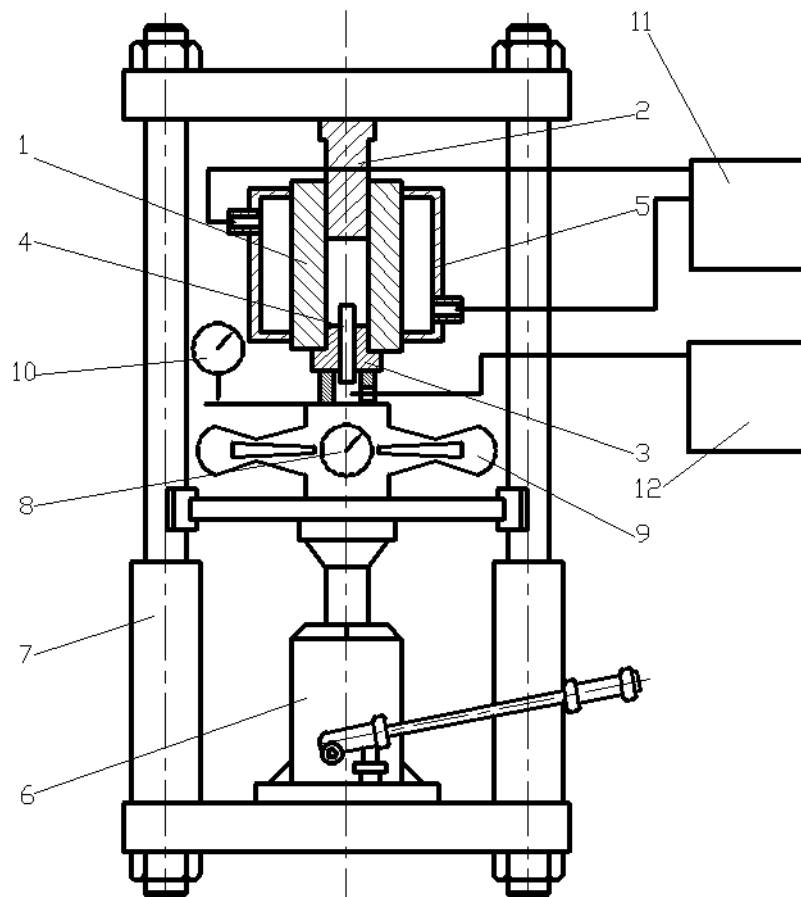


Рисунок 2.4 – Експериментальний стенд конструкції С.Н.Туменова, А.В. Іонова, Б.М. Жакайбекова

Технічні характеристики камери, використовуваної у даному стенді:

- максимальний тиск – 1000 МПа;
- розміри робочої сфери: діаметр – 44 мм; висота – 300 мм;
- робоча рідина – дистильована вода.

Відома також конструкція експериментальної установки СВТ-3 (рис. 2.5), розробленої в Обнінському фізико-енергетичному інституті. Дана установка розроблялася для обробки різних матеріалів гідростатичним тиском.

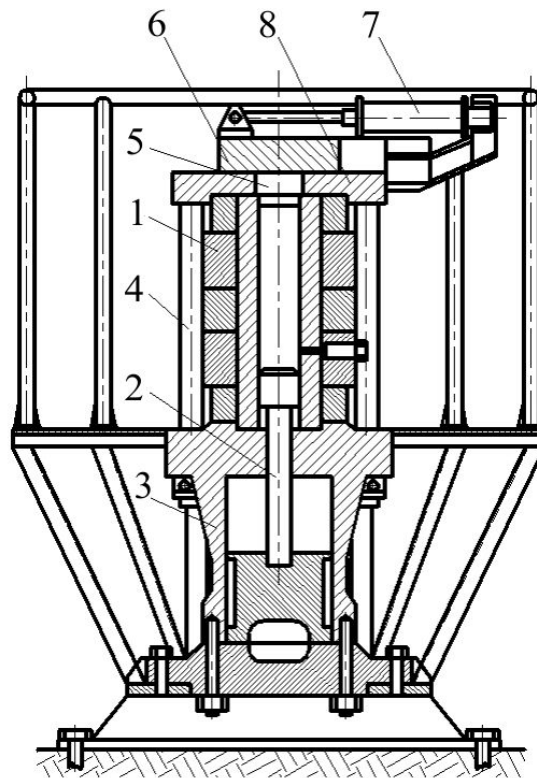


Рисунок 2.5 – Гідростатична установка високого тиску СВТ-3

Установка СВТ-3 складається із контейнера 1, штока 2, мультиплікатора 3, шпильок 4, пробки замикаючого пристрою 5, повзуна 6, гідроциліндра 7 і напрямних 8. Працює установка таким чином. Упаковані зразки в герметичному гумовому чохлі, заповненому водою, з метою запобігання потрапляння машинного мастила на упаковку поміщають у контейнер 1. Зовнішнім гідроприводом накачують робочу рідину в контейнер 1 через отвір у його стінці 9. Таким чином, створюється тиск до 200 МПа.

Подальше наростання тиску до необхідної величини забезпечується мультиплікатором 3. У контейнері 1 з однієї сторони розташований шток 2, інша сторона закривається пробкою 5. Фіксація пробки 5 забезпечується повзуном 6, що переміщається гідроприводом 7 по напрямних 8. Осьові навантаження, що розпирають, сприймаються шпильками 4.

Установку СВТ-3 дослідники [50] адаптували для роботи з харчовими продуктами, зокрема з м'ясом. Були визначені основні мікробіологічні показники м'яса після обробки різним тиском, структурно-механічні властивості м'яса після його обробки ВТ, вміст вологи, величина рН та ін. Недоліки установки СВТ-3 очевидні, це й непристосованість арматури для роботи з харчовими продуктами, низький рівень автоматизації досліджень, непрямі методи визначення параметрів процесу, низька точність величин створюваного тиску.

На підставі аналізу існуючих конструкцій установок ВТ, і сфери їх використання, співробітники Проблемної лабораторії використання високого тиску у харчових технологіях Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського розробили та виготовили експериментальну установку для вивчення впливу ВТ на властивості харчових продуктів (УВТ) [51].

На рисунку 2.6 наведена загальна схема установки високого тиску.

При конструюванні цієї установки її автори спирались на те що, з одного боку експериментальна установка повинна бути надійною, безпечною, малогабаритною, простою та зручною в роботі, мати високий ступінь автоматизації досліджень. З іншого боку конструкція установки повинна дозволяти проводити комп'ютерний аналіз одержуваних результатів, давати можливість визначати широкий діапазон параметрів продуктів у навантаженому стані. Створена на цих засадах конструкція УВТ дозволила проводити дослідження при тисках у робочій камері високого тиску (КВТ) від 0,1 до 800 МПа і температурі від - 20°C до +80°C.

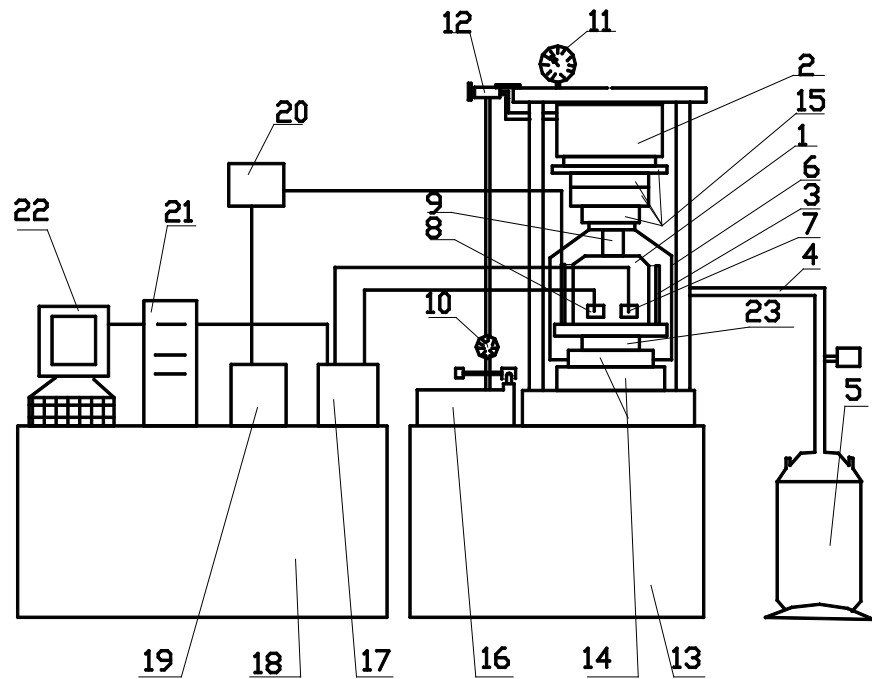


Рисунок 2.6 – Загальна схема УВТ: 1 – камера ВТ; 2 – прес; 3 екран – нагрівач; 4 – живильник азотний; 5 – посудина Дьюара з рідким азотом; 6 – кожух; 7 – датчик температури; 8 – датчик тиску; 9 – поршень КВТ; 10 – манометр на насосі; 11 – манометр на пресі; 12 – голчастий вентиль; 13 – металевий стіл; 14 – підставки під КВТ; 15 – підставки на поршень; 16 – насос; 17 – блок перетворювачів; 18 – стіл лабораторний; 19 – блок управління установкою; 20 – еталонне тіло; 21 – АЦП (у блоці ПК); 22 – монітор; 23 – підставка із щілиною

Загальний вигляд установки представлений на рисунку 2.7. За допомогою цієї установки вперше на Україні були отримані експериментальні данні з обробки різних продуктів харчування [52-67]. При створенні УВТ було розроблено декілька оригінальних пристроїв для вимірювання різних параметрів процесу, вперше дослідницька установка такого рівню одержала власне програмне забезпечення яке дозволило безперервно проводити моніторинг усіх параметрів процесу обробки, при постійному документуванні та збереженні експериментальних даних. Ця установка стала предтечею більш сучасних дослідницьких установок та

вимірювальних пристроїв у галузі застосування високого тиску у харчових технологіях про які буде повідомлено у наступних розділах цієї роботи.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд установки УВТ

Однією з перших фірм в Австралії, яка почала випускати устаткування для обробки продуктів харчування високим тиском, стала фірма FSA. Співробітниками фірми на ринок поставляється три установки, використовувані для досліджень у галузі застосування ВТ у харчовій промисловості. Це установки, розраховані на тиск до 690 МПа, при температурі від -40°C до $+140^{\circ}\text{C}$. Об'єм камери коливається від 2 мл до 3 літрів. При цьому установка з обсягом камери 3 літри може створювати й підтримувати тиск до 800 МПа при температурі від -20°C до $+121^{\circ}\text{C}$.

Дослідна установка фірми FSA представлена на рис. 2.8



Рисунок 2.8 – Дослідна установка фірми FSA

Установка містить п'ять камер високого тиску, у кожній з яких може розміститися приблизно 2мл досліджуваного рідкого продукту в пластмасових пухирцях. Температурою камер можна управляти, що дозволяє оцінювати кінетику інактивації цільових мікроорганізмів і ферментів під дією тиску й температури.

35 літровий модуль цієї ж фірми представлений на рис. 2.9. Ця установка призначена для дослідження процесів інактивації патогенної мікрофлори харчових продуктів, і може застосовуватися для комерційних цілей у невеликих підприємствах і лабораторіях.

На базі установки FSA була створена дослідницька установка ВТ модель U111, Unipress (Варшава, МН) яка складається з п'яти камер високого тиску, занурених у термостат, заповнений кремнійорганічною рідиною й пов'язаний з підсилювачем тиску через систему капілярних трубок (рис. 2.10). Ця установка дозволяє одночасно робити обробку п'яти зразків. Швидкість підйому тиску забезпечує практично ізотермічні умови випробувань. Максимальна величина тиску 700 МПа, діапазон температур - 40°C і 120°C. Кожна з п'яти камер високого тиску пов'язана із працюючим на мінеральному маслі підсилювачем тиску. Як вимірник тиску використаний манганіновий датчик, температура вимірюється у кожній камері термопарами. Гідравлічний насос (Mannesman Rexroth Polska Ltd, Warszawa, Польща) створює тиск до 70МПа в магістралі низького тиску, але за допомогою мультиплікатора (примножуючий фактор ≈ 11) можливе одержання тисків до 700 МПа в камері високого тиску.

Тиск у камері 600 МПа досягається через 24 секунди. Використовуваний для вимірювань мультиметр (Keithley, Мультиметр 7001) разом зі спеціально розробленим програмним забезпеченням дозволяє реєструвати дані із частотою 3,5 виміри на секунду.



Рисунок 2.9 – Установа фірми FSA ємністю 35 літрів

Фірма Uhde НРТ виготовляє пілотні установки, які служать для обробки тиском репрезентативних зразків або для виробництва в малих об'ємах. Система складається з вертикально встановленого напірного резервуара з інтегрованим перетворювачем тиску й рухливою рамою. Усі компоненти перебувають в одному компактному корпусі. Ця конструкція сприяє швидкому, простому й безпечному обслуговуванню. Пересування рами, відкривання й закривання, а також збільшення або зменшення тиску відбуваються автоматично. При цьому можна вільно програмувати технологічні параметри. У вигляді опції резервуар може бути обладнаний темперуючим кожухом. Фірма Uhde-НРТ випускає пілотні установки таких типорозмірів: 4 л, 6.000 бар, від -10 до 95°C та 2 л, 7.000 бар, від -10 до 95°C.

1. Зовнішній вигляд пілотної установки фірми Uhde НРТ розрахований на максимальний тиск: 600 МПа; обсягом 4 л і внутрішнім діаметром 120 мм представлений на рис. 2.11.

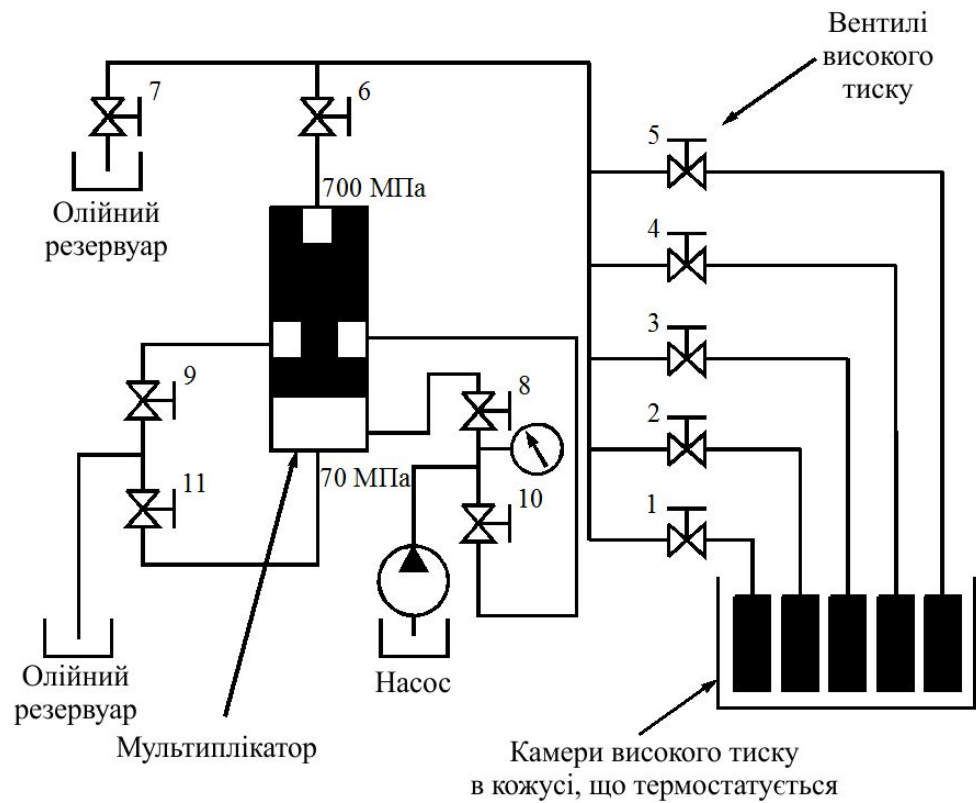


Рисунок 2.10 – Гідравлічна схема установки U11. 1, 5 – камери ВТ; 6-11 клапани управління

Фірма EPSI поставляє на світовий ринок установки, виготовлені на замовлення. Однією з таких установок є так званий Лабораторний Ізостатичний Пресс (CIP), спроектований для низької продуктивності, вартості й низьких експлуатаційних витрат.



Рисунок 2.11 – Установка Uhde-NPT

Прес EPSI (CIP) застосовується для кераміки, паперу, пластичних мас, і порошкової металургії, і може бути виготовлений для досліджень харчових продуктів та інших біоматеріалів. Прес CIP здатний створювати тиск до 700 МПа. Прес комплектується автоматичним управлінням герметизацією й декомпресією, відповідає вимогам безпеки.

Для проведення оптичних вимірювань під тиском була розроблена установка (SITEC, Швейцарія). Конструкція установки дозволяє управляти температурою в діапазоні від -30°C до $+120^{\circ}\text{C}$. Максимальна припустима температура й тиску у камері - 120°C і 700 МПа, відповідно. Об'єм зразка в цієї установки становить до 2 мл, повний об'єм камери 8 мл. Установка комплектується RGB камерою з розділенням 752 x 582 пікселів. Як записуючий пристрій використовується класичний аналоговий відеомагнітофон SVHS. Отримані зображення обробляються за допомогою механізму захоплення кадру.

Співробітникам Близькосхідного Технічного університету (Анкара, Туреччина) розроблена дослідна установка, що складається із циліндричної камери високого тиску об'ємом 30 см^3 , пускозапірної арматури, стримувального ярма й насоса, який створює тиск у камері до 350 МПа. Камера виконана з гарячекатаної вуглецевої сталі. Конструкція установки (рис.2.12) дозволяє проводити дослідження при температурах до 95°C при регулюванні швидкості набору тиску в камері від 15 до 35 МПа на секунду. Як середовище, яке передає тиск, використовується дистильована вода.

Для вивчення поведінки досліджуваних зразків під час швидкого підйому тиску й швидкої декомпресії італійськими дослідниками розроблена установка LAB50 (Simonazzi, Італія) (рис.2.12).



Рисунок 2.12 –. Експериментальна установка Близькосхідного Технічного університету, Анкара, Туреччина

Установка складається з контейнера ВТ виготовленого з високолегованої сталі, багатоступінчастого гідропідсилювача з примножувачами тиску з відношенням 1:3 і 1:10, які дозволяють досягти тиску в камері 600 МПа приблизно через 3-4 секунди, у той час як менш ніж за 1 секунду здійснюється повна декомпресія. Сторона високого тиску другого примножувача об'єднана безпосередньо з робочим контейнером, у якому розміщується досліджуваний зразок. Гідравлічна схема містить стандартні компоненти й процесор. Система повністю автоматизована. Вибір разових тисків, так само як і діагностичної інформації й отриманих даних, доступний в інтерфейсі РС. Камера високого тиску й гідропідсилювачі розраховані до тисячі циклів перед заміною.



Рисунок 2.13 – Установка LAB50 (SIG Simonazzi, Італія)

Світовий лідер у розробці й виробництві устаткування для створення ВТ компанія EPSI пропонує на ринок широкий спектр обладнання як для дослідних робіт у цій галузі, так і промислові установки для харчової промисловості. Ізостатичні системи EPSI успішно працюють у багатьох університетах і дослідних центрах усього світу. Дослідна установка компанії EPSI розрахована на тиск від 100 до 900 МПа представлена на рис. 2.14. Ця установка може працювати в широкому діапазоні температур, безпечна, вимірвальні пристрої мають високу точність, використовуване програмне забезпечення й процесор дозволяють повністю автоматизувати процес випробувань. Відомо ще безліч дослідницьких установок які розраховані й виготовлені для досліджень різноманітних речовин як твердих так рідких і в'язкопластичних, спільним недоліком багатьох із них є дуже висока вартість і низька надійність. Як правило такі установки потребують висококваліфікованого обслуговування, що істотно впливає на собівартість будь-яких досліджень.



Рисунок 2.13 – Дослідна установка EPSI

На багатьох з існуючих на цей час дослідницьких установок неможливо дослідити зміни властивостей (об'єм, колір, температура зразка та інше) оброблюваних матеріалів безпосередньо під дією ВТ. Тому практично немає універсальної дослідницької установки яка б давала можливість використовувати її для різних продуктів і для різних параметрів процесу.

2.2 Промислові установки для обробки харчових продуктів високим тиском

На сьогоднішній день обладнання для обробки харчових продуктів ВТ випускають такі фірми, як Avure Technologies (США), Elmhurst Research, Inc (США), NC Hyperbaric (Іспанія), Stansted Fluid Power Ltd (Англія), QFP (Австралія), Uhde High Pressure Technologies Gmb (Німеччина), Resato International B.V. (Голландія) і ін.

Виробничі системи для обробки харчових продуктів тиском фірми Avure Technologies (рис. 2.14) пропонують найпростіше використання ВТ – використання постпакувального процесу. Це гарантує цілісність продукту, поміщеного в пластичну упаковку до обробки його високим тиском. При цьому виключене забруднення продукту середовищем, що передає тиск. Пакети завантажуються в кошик для обробки й поміщаються у камеру високого тиску. Така технологічна схема дозволяє швидке переключення між типами продукту, розміром пакета й форматом для рідких або твердих харчових продуктів.



Рисунок 2.14 – Виробнича система для обробки харчових продуктів тиском фірми Avure Technologies

Деякі харчові продукти (устриці, молюски й мідії) і ракоподібні, такі як омар, обробляються без упаковки (у природній біологічній оболонці (раковина, панцир, хітинові оболонки)), тоді мета обробки полягає в тому, щоб після обробки продукт легко видалявся з оболонки. Таке обладнання розраховується на робочу ємність камери від 35 до 320 літрів з максимальним тиском обробки 600 МПа. Також випускаються вертикальні системи V350L і горизонтальні системи H687L (рис. 2.15), призначені для більш високих рівнів виробництва. У горизонтальній системі максимальний робочий тиск у камері (600 МПа) досягається швидше, ніж у конструкції

V350L. Основною відмінністю такої системи є горизонтальна установка робочих камер, що сприяє розміщенню системи в раніше експлуатованих будівлях. Однак, так як усе устаткування розташоване на тому ж самому рівні, горизонтальне розташування вимагає більшої кількості закритої площі, ніж вертикальне.



Рисунок 2.16 – Горизонтальна система високого тиску H687L

Найкращою є конструкція стерилізатора високого тиску, у якому насосна станція може розташовуватися на рівні нижче основного, також така конструкція дає можливість установки декількох камер в одну лінію, при цьому з'являється можливість використовувати тиск, що скидається в одній камері, для напрямку в наступну. Тим самим досягається ще більша економічність процесу.

Для нормальної експлуатації обладнання ВТ для обробки харчових продуктів фірма ERI виробила наступні вимоги:

- 1) Тиск повинен досягати значень 700 МПа в діапазоні температур від 40 до 50°C, при мінімальній витримці 2 хвилини.

- 2) Обладнання повинне використовуватися не менш 20 годин на день, 360 днів на рік не менше семи років. Це вимагає довговічності головних компонентів, розрахованих приблизно на 1000000 циклів.

3) Незначні компоненти й частини, типу вентилів, засувок, трубопроводу тощо повинні бути стандартними й можуть не відповідати вищезгаданим вимогам довговічності, однак, вартість обслуговування повинна бути мінімізована.

4) У камері будуть оброблятися продукти, які не забруднюють проміжного середовища, що передає тиск. Усі частини пристрою, включаючи робочу камеру, повинні бути легкодоступні для санітарної обробки, а застосування нержавіючих сталей для виготовлення основних частин дозволить використовувати як мийне середовище чисту воду з ПАВ, без наступного змащення для виключення корозії.

5) Обробка тиском може збільшити собівартість готового продукту від 0,05 до 0,20 \$ в залежності від продукту.

Цим умовам відповідає конструкція, представлена на рис. 2.17.

Система складається з декількох компонентів і містить у собі: робочу камеру ВТ, системи інтеграції камер, гідравлічну станцію ВТ, станину й апаратуру управління.

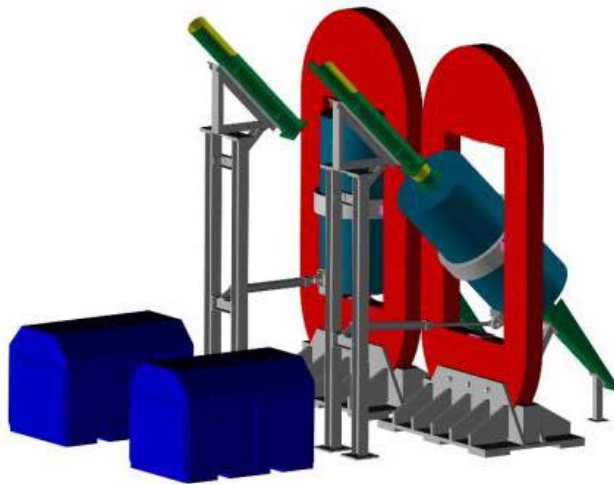


Рисунок 2.17 – Установка ERI

У нижньому положенні при знятій кришці продукт може бути вилучений з камери. Після цього камера завантажується наступною партією продукту, закривається кришкою, повертається під хомут. Після цього приєднується шланг високого тиску, включається насосна станція й процес повторюється. Розмір камер може бути 250 ×300 мм. Довжина камери

визначає її обсяг. Звичайно це 100 літрів. Система є модульною й може бути легко замінена й модифікована за бажанням споживача, а також може легко перенастроюватися під різні продукти. Кілька камер можуть з'єднуватися в єдину систему (рис. 2.18), яка буде використовувати єдину гідростанцію й схему управління.

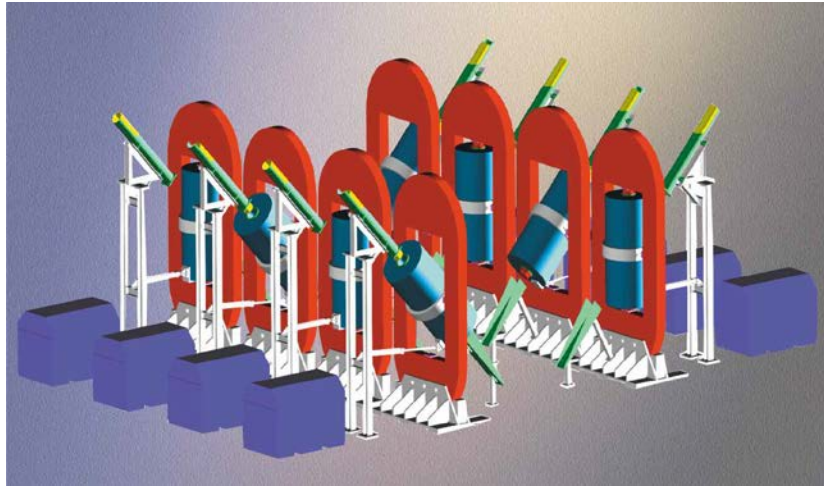


Рисунок 2.18 – З'єднання камер у єдину систему

Фірма Stansted Fluid Power Ltd. Випускає кілька типорозмірів установок для обробки харчових продуктів високим тиском.

Принципова схема установки ВТ, що випускається фірмою Uhde High Pressure Technologies Gmb, представлена на рис. 2.19.

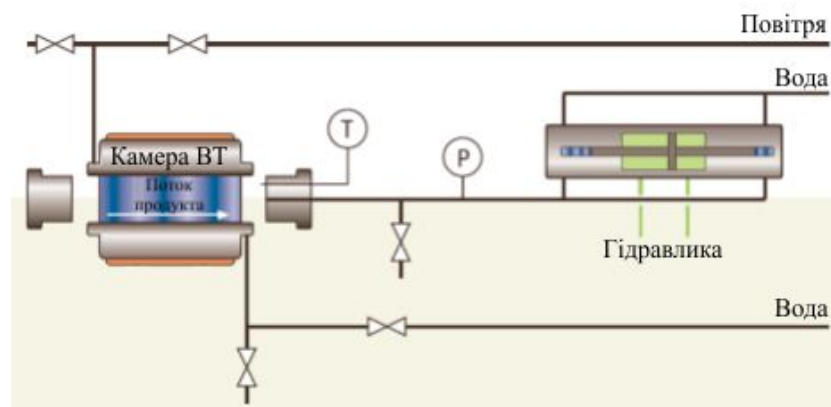


Рисунок 2.19 – Принципова схема установки високого тиску Uhde High Pressure Technologies Gmb

На теперішній час на ринку продажів обладнання для обробки різноманітних матеріалів ВТ з'явилися нові учасники. З кожним роком їхня кількість зростає й збільшується асортименти їх продажів.

Компанія NC Hyperbaric розробила серію установок WAVE 6000 для роботи із продуктами різної порціонної маси, що гарантує необхідну гнучкість процесу з різноманітними асортиментами продуктів різної ваги й форми.

Зовнішній вигляд установки WAVE 6000 представлений на рис. 2.20.



Рисунок 2.20 – Зовнішній вигляд установки WAVE 6000

На жаль в Україні, також як і ні в одній з країн СНГ, не випускається промислове обладнання для обробки харчових продуктів, також відсутні свідомості хоча б про проектні розробки у цьому напрямку. При проведенні нами патентного та інформаційного пошуку виявилось що на теренах пострадянського простору немає жодної працюючої промислової установки.

2.3 Розробка технологічної схеми високobarометричного стерилізатора

В основу розробки поставлено задачу створення вертикального автоклава в якому за рахунок зміни конструкції, конфігурації теплообмінних елементів та системи подачі гострої пари досягається інтенсифікація процесу термічної обробки сировини за умови зменшення споживаних енерговитрат та часу обробки на організацію даного технологічного впливу.

Дана задача розв'язується шляхом створення вертикального автоклава в якому нівелюється система перегрітої пари, а як наслідок необхідність нагріву та охолодження проміжного теплоносія, за рахунок введення в

систему теплообмінника-змішувача та зміни напрямку подачі гострої пари за умови використання системи високого тиску

Зазначені обставини вимагають проведення досліджень для розробки нових конструкцій апаратів і способів теплової стерилізації консервів. За результатами досліджень запропонована схема оптимізованої конструкції автоклава для високобарометричної стерилізації консервів, яка зображена на рис. 2.21.

Автоклав містить корпус 1, кришку 2, сітку 3 у верхній частині автоклава для розсіювання зверху пари або води. Кришка 2 шарнірно з'єднана з корпусом 1 петлею 4, через вісь якої проходить герметичний шарнір. До осі петлі 4 з одного боку приєднаний трубопровід 6, зв'язуючий петлю 4 з теплообмінником змішування 7, який розташований так, що його верх, до якого підведено трубопровід 6, розташований вище дна 1, а низ – нижче днища корпусу 1, пов'язаного з теплообмінником 7 трубопроводом 8.

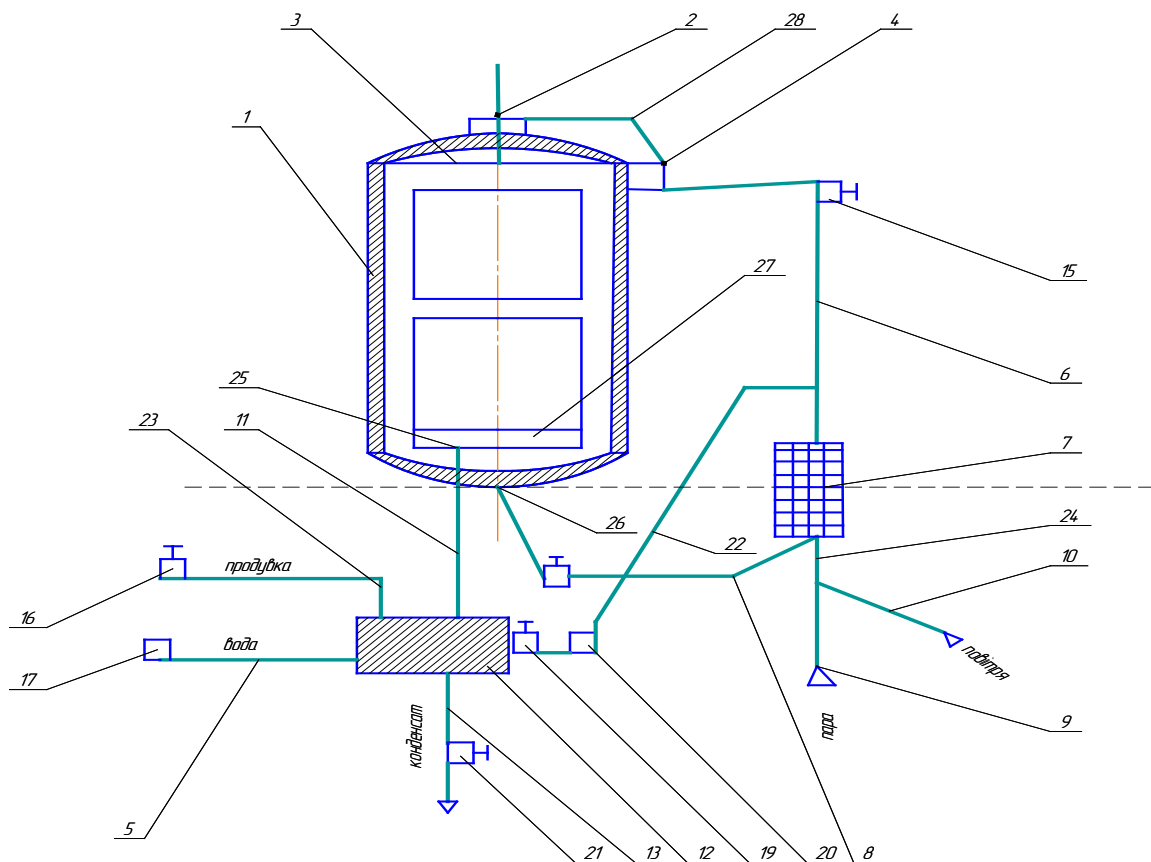


Рисунок 2.21 – Схема вертикального автоклава періодичної дії із зміненими конструктивними параметрами

До автоклава підведені трубопроводи 9 і 10 для подачі відповідно пари і стислого повітря. Трубопровід 11 з'єднує днище корпусу 1 зі збіркою конденсату 12. Низ збірника конденсату 12 трубопроводом 13 пов'язаний з дренажної комунікацією. На трубопроводі 8 встановлений кран 14, на трубопроводі 6 – кран 15. На верхній частині збірника конденсату 12 встановлений продувочний кран 16. На трубопроводі 5 подачі води в збірник 12 встановлений кран 17. На відводі трубопроводу 6 близько петлі 4 встановлена заглушка 18. Трубопровід з краном 19 пов'язує насос 20 із ємкістю 12. Насос 20 розташований так, що при наповненні збірника конденсату 12 він також заливається водою. Трубопровід 13 забезпечений вентиляем 21. Трубопровід 22 пов'язує насос 20 з герметичним шарніром в петлі 4, на 20 трубопроводі продувки за вентиляем 16 встановлений термометр 23. Трубопроводи 9 і 10 об'єднані в єдиний трубопровід 24 розміщений нижче теплообмінника 7 і підведений до його днища. Патрубок 25 заведеного в корпус 1 трубопроводу 11 розташований вище патрубка 26 трубопроводу 8. Над патрубком 26 розташована сітка 27 для розтину струмені пари. Петля 4 з'єднана з верхньою частиною кришки 2 трубопроводом 28.

Таке поєднання конфігурації теплообмінних елементів та системи подачі гострої пари дає можливість значно інтенсифікувати термічну обробку сировини, а як наслідок підвищити продуктивність зменшуючи споживані енерговитрати на означений технологічний процес.

2.4 Висновки до 2 розділу

Таким чином зробивши літературний огляд ми побачили, що на цей час у галузі використання ВТ у харчових технологіях панують наступні уявлення які зроблені на підставі великої кількості різноманітних теоретичних та експериментальних досліджень. Ці висновки відображають загальноприйняті поняття та показують переваги та обмеження використання ВТ у харчових технологіях.

1. Обробка ВТ не залежить від часу, тобто, він діє негайно, таким чином, скорочуючи час обробки. Обробка ВТ не руйнує атомні зв'язки; отже, попереджається розвиток смаку, невластивого для продуктів, зберігається природний смак продуктів.

2. Обробку ВТ можна застосовувати при кімнатній температурі, таким чином, скорочуючи кількість термічної енергії, необхідної для харчових продуктів під час традиційної обробки.

3. Так як обробка ВТ - ізостатична, їжа консервується рівномірно по всій площі і жодна частинка не уникає обробки. Процес безпечний для навколишнього середовища, оскільки потребує тільки подачу електроенергії і не утворює відходів.

4. Харчові ферменти й бактеріальні спори дуже стійкі до тиску й вимагають забезпечення дуже високого тиску для дезактивації. Залишкова діяльність ферментів і розчинений кисень приводять до ферментативної й окисної деградації певних компонентів продуктів.

5. Розроблено вертикальний автоклав в якому нівелюється система перегрітої пари, а як наслідок необхідність нагріву та охолодження проміжного теплоносія, за рахунок введення в систему теплообмінника-змішувача та зміни напрямку подачі гострої пари за умови використання системи високого тиску

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ІНАКТИВАЦІЇ МІКРООРГАНІЗМІВ І ЦІЛЮВИХ КОМПОНЕНТІВ

Як показали наші дослідження інактивація мікроорганізмів підкорюється реакції першого порядку, те ж саме можна віднести до процесу деградації вітаміну С та дезактивації деяких ферментів. Тому для вивчення впливу, який ВТ та температура обробки здійснюють на діяльність деяких мікроорганізмів і ферментів у продуктах харчування, ми використовували специфічну кінетичну модель першого порядку. В основному вона дає характеристику процесу, що залежить від тиску й температури, необхідних як вихідні умови для цієї моделі.

3.1 Моделювання активності мікроорганізмів

Для вимірювання концентрації мікроорганізмів або активності ферментів (цілювих компонентів) можна використовувати кілька експериментальних схем: звичайно вони враховують розкид параметрів з потрібними значеннями (наприклад, концентрації кисню, оптичної щільності, карбоксильних груп, вивільнених з пектину за одиницю часу).

Ми прийняли схему, у якій зміни в поведженні A будь-якого мікроорганізму або ферменту виразили наступним кінетичним рівнянням першого порядку:

$$\frac{dA}{d\tau}(\tau) = -k(P(\tau), T(\tau))A(\tau) \quad (3.1)$$

де τ – час (у хв.); $P(\tau)$ – тиск (МПа) у момент часу τ ; $T(\tau)$ – температура (К) у момент часу τ ; $k(P, T)$ – ступінь інактивації (хв⁻¹), що відповідають умовам тиску-температури, заданим (P, T) , а $A(\tau)$ є досліджуваним поведженням мікроорганізму або ферменту.

Рівнянням (3.1) можна описати макроповодження активності мікроорганізмів або ферментів. Але спираючись на дослідження попереднього розділу ми не в змозі коректно зафіксувати неоднорідний розподіл активності, що може з'явитися через неоднорідний розподіл температури у продуктах харчування. Тому для моделювання ми використали два рівняння, які описують деякі випадки інактивації:

- перше рівняння містить підходящу комбінацію рівнянь Арреніуса (моделюючого температурну залежність) і Ейрінга (моделюючого залежність від тиску):

$$k(P, T) = k_{\text{ин.зад}} \exp\left(-B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{зад}}}\right)\right) \exp(-C(P - P_{\text{зад}})) \quad (3.2)$$

де $T_{\text{зад}}$ – задана температура (К), $P_{\text{зад}}$ – задане значення тиску (МПа), $k_{\text{ин. зад}}$ – ступінь інактивації при заданих умовах (хв^{-1}), B – параметр, що виражає температурну залежність k (К), а C – параметр, що виражає залежність від тиску k (МПа $^{-1}$). – друге рівняння отримане шляхом адаптації теорії перехідного стану за Ейрінгом до ферментативного дослідження:

$$\begin{aligned} k(P, T) = & k_{\text{ин.зад}} \exp\left(\frac{-\Delta V_{\text{зад}}}{RT}(P - P_{\text{зад}})\right) \exp\left(\frac{\Delta S_{\text{зад}}}{RT}(T - T_{\text{зад}})\right) \\ & \exp\left(\frac{\Delta v}{2RT}(P - P_{\text{зад}})^2\right) \exp\left(\frac{-2\Delta \xi}{RT}(P - P_{\text{зад}})(T - T_{\text{зад}})\right) \\ & \exp\left(\frac{\Delta C_p}{RT}\left(T\left(\ln \frac{T}{T_{\text{зад}}}\right) - 1\right) + T_{\text{зад}}\right) + \text{члени вищого порядку} \end{aligned} \quad (3.3)$$

де $R = 8.314$ (Дж мол $^{-1}$ К $^{-1}$) є універсальною газовою постійною, $\Delta V_{\text{зад}}$ – зміна об'єму при заданих умовах (см 3 мол $^{-1}$), $\Delta S_{\text{зад}}$ – зміна ентропії при заданих умовах (Дж мол $^{-1}$ К $^{-1}$), ΔC_p – зміна теплоємності (Дж мол $^{-1}$ К $^{-1}$), $\Delta \xi$ – коефіцієнт теплового розширення (см 3 мол $^{-1}$ К $^{-1}$), і Δv коефіцієнт стиснення (см 6 Дж $^{-1}$ мол $^{-1}$).

Залежно від виду мікроорганізму або ферменту, що вивчається, до рівняння (3.3) можна додати члени вищого порядку, чим можна удосконалити наближене вираження залежності поведження від ВТ та температури [100].

При наявності рівняння й параметрів k ми одержали вірогідне рішення у певний момент часу t .

$$A(\tau) = A(0) \exp\left(-\int_0^{\tau} k(P(\sigma), T(\sigma)) d\sigma\right) \quad (3.4)$$

Реалізуючи це на практиці, ми встановили $A(0) = 100$ одиниць, що буде еквівалентним тому припущенню, що A є процентним значенням початкової концентрації мікроорганізмів, вітамінів або активності ферментів.

Ці моделі можуть використовуватися тільки для випадків, коли відомий рівень температури (звичайно в результаті експериментальних вимірювань). Тому ці моделі не дозволяють застосувати чисельний метод оптимізації у звичайних ситуаціях без поступової зміни температурних даних. Крім того, якщо невідомий розподіл температурних даних та їх зміни в продуктах харчування, цією моделлю можна скористатись тільки для описання макрозначення концентрації мікроорганізмів, вітамінів або ферментативної активності, бо вона нездатна забезпечити можливий неоднорідний розподіл активності в продуктах харчування. Усі ці недоліки ми подолали за рахунок розробки моделей, які здатні продемонструвати розподіл температури в досліджуваному зразку за рахунок сполучення їх із запропонованими моделями.

3.2 Моделювання теплопередачі й масообміну

Під час і після стиснення відбувається теплообмін між камерою високого тиску, робочим середовищем під тиском і оброблюваним продуктом. У результаті ми одержуємо розподіл температур з тимчасовою залежністю. У рідкому середовищі (рідина, що створює тиск, а також

харчовий зразок, коли він у рідкому стані) зміна температур передбачає зміну щільності рідини, що приводить до вільної конвекції в процесі обробки ВТ. Тому в моделях ми врахували теплопровідність і конвекцію, беручи до уваги теплопередачу й масообмін [85-92].

Обробка ВТ проводиться в циліндричній камері з попередньою закладкою харчового зразка в упаковці в проміжну рідину, що передає тиск. Обробка може проводитися в різних режимах: коли харчовий зразок охолоджується або нагрівається під час обробки.

У силу особливостей таких процесів ми допустили, що нестійкістю потоку, викликаною високою температурою, можна зневажити. Тому осьова симетрія дозволила нам використовувати циліндричні координати й відповідну зону/домен, представлену половиною поперечного перерізу (перетинання циліндра із площиною, що містить вісь). Для створення моделі ми розглянули чотири двовимірних підзони (рис. 3.1).

Тоді зона під (r, z) координатами є прямокутником $\Omega = [0, L] \times [0, H]$, яку визначимо за формулою $\bar{\Omega} = \bar{\Omega}_F \cup \bar{\Omega}_C \cup \bar{\Omega}_P \cup \bar{\Omega}_S$ де: $\{0\} \times (0, H)$ утворює вісь симетрії.

На межі Ω , що позначена значком Γ , ми розрізняємо:

- $\Gamma_r \subset \{L\} \times (0, H)$, де температура буде відома;
- $\Gamma_{up} = [0, L] \times \{H\}$, де може відбуватися теплообмін з навколишнім середовищем, у якому розміщене обладнання;
- $\Gamma / \{\Gamma_r \cup \Gamma_{up}\}$, з нульовим тепловим потоком.

Позначаємо значками Ω^* , Ω_F^* , Ω_C^* , Ω_P^* , Ω_S^* , Γ^* , Γ_r^* і Γ_{up}^* зони, які утворюються при обертанні площин Ω , Ω_F , Ω_C , Ω_P , Ω_S , $\Gamma \setminus (\{0\} \times (0, H))$, Γ_r і Γ_{up} уздовж осі симетрії (у тривимірній системі), відповідно.

Для побудови математичної моделі ми розглянемо два випадки: в'язкопластичні й рідкі харчові продукти.

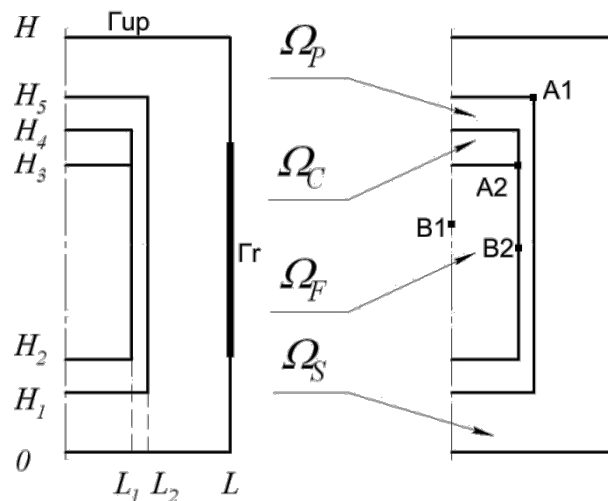


Рисунок 3.1 – Зони обчислень: Ω_F – зона, куди поміщено харчовий зразок; Ω_C – ковпачок упаковки; Ω_P – зона, яка містить середовище, що створює тиск; Ω_S – зона сталеві оболонки, що оточує вищезгадані зони.

3.3 В'язкопластичні продукти харчування

3.3.1 Теплопередача за рахунок теплопровідності. У випадку із в'язкопластичними продуктами харчування відправною точкою є рівняння теплопровідності для температури T (К):

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} - \nabla \cdot (k \nabla T) = \alpha \frac{dP}{d\tau} T \quad \text{в зоні } \Omega^* \times (0, \tau_f) \quad (3.5)$$

де: $\rho = \rho(T, P)$ щільність (кг/м³), $C_p = C_p(T, P)$ теплоємність (Дж/(кг·К)), $k = k(T, P)$ теплопровідність (Вт/(м·К)), і τ_f – час (с).

Права сторона рівняння позначає внутрішнє підвищення температури за рахунок зміни тиску. Тут $P = P(\tau)$ – тиск (МПа), створюваний у камері, а $\alpha = \alpha(T, P)$, даємо як:

- коефіцієнт термічного розширення (К⁻¹) для продуктів харчування в зоні Ω^*_F ,

- коефіцієнт термічного розширення (К⁻¹) для рідини, що створює тиск в зоні Ω^*_P ,

- 0, у будь-якому іншому місці.

Ця умова є результатом наступного закону:

$$\frac{\Delta T}{\Delta P} = \frac{\alpha T V}{m C_p} = \frac{\alpha T}{\rho C_p},$$

де ΔT – зміна температури за рахунок зміни тиску ΔP , V (м^3) об'єм, m (кг) маса.

У рівнянні теплопровідності (3.5) ми остаточно врахували відповідні вихідні й граничні умови залежно від конструкції КВТ. Для побудови моделі ми використовуємо параметри УВТ.

$$\left\{ \begin{array}{lll} k \frac{\partial T}{\partial n} = 0 & \text{на межі} & \Gamma^* \setminus (\Gamma_r^* \cup \Gamma_{\text{up}}^*) \times (0, \tau_f), \\ k \frac{\partial T}{\partial n} = h(T_{\text{окр}} - T) & \text{на межі} & \Gamma_{\text{up}}^* \times (0, \tau_f), \\ T = T_0 & \text{на межі} & \Gamma_r^* \times (0, \tau_f), \\ T(0) = T_0 & \text{в зоні} & \Omega^* \end{array} \right. \quad (3.6)$$

де n – зовнішній нормальний одиничний вектор на межі робочої ділянки, T_0 – початкова температура, T_r – температура охолодження або нагрівання, що залишається постійною у межах відомої температури Γ_r^* (яка охолоджує або нагріває харчовий зразок), $T_{\text{окр}}$ – температура навколишнього середовища (постійна), і h $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коефіцієнт теплопередачі.

Так як ми використовували циліндричну систему координат і осьову симетрію, тому систему (3.5)-(3.6) ми переписали як наступну 2-мірну задачу.

Ця модель підходить для випадку, коли коефіцієнт заповнення харчового зразка усередині камери набагато вища, ніж коефіцієнт заповнення середовища, що здійснює тиск. Якщо коефіцієнт заповнення харчового зразка усередині камери не набагато вищий, ніж коефіцієнт заповнення середовища, що здійснює тиск, остаточне рішення за допомогою цієї моделі може дуже сильно відрізнятись від експериментальних показників.

$$\left\{ \begin{array}{ll}
 \rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(rk \frac{\partial T}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \alpha \frac{dP}{d\tau} T & \text{в зоні } \Omega \times (0, \tau_r), \\
 k \frac{\partial T}{\partial n} = 0 & \text{на межі } \Gamma \setminus (\Gamma_r \cup \Gamma_{\text{up}}) \times (0, \tau_f) \\
 k \frac{\partial T}{\partial n} = h(T_{\text{окр}} - T) & \text{на межі } \Gamma_{\text{up}} \times (0, \tau_f) \\
 T = T_r & \text{на межі } \Gamma_r \times (0, \tau_f) \\
 T(0) = T_0 & \text{в зоні } \Omega
 \end{array} \right. \quad (3.7)$$

Компенсація цього недоліку досягається двома способами:

- використанням такої ж моделі, але з більш високим значенням теплопровідності для середовища, яке здійснює тиск, ніж для реального. Цей метод не дає гарних результатів для температурних розподілів у рідині, яка здійснює тиск, але може дати прийнятні результати усередині харчового зразка;

- модель може бути удосконалена за рахунок використання явища конвекції, яке відбувається в середовищі, що здійснює тиск. Поліпшена модель є більш трудомісткою з погляду проведення обчислень, але результати будуть більш точними.

3.3.2 Теплопередача за рахунок теплопровідності й конвекції. Як уже зазначалося вище, неоднорідний температурний розподіл є причиною неоднорідного розподілу щільності в середовищі, що здійснює тиск, і, як наслідок, викликає піднімальну силу при русі рідини. Інакше кажучи, вільну конвекцію. Цей рух рідини може впливати на температурний розподіл. Для врахування цього факту, ми використали модель із неізотермічним потоком. Ми зробили припущення, що поле швидкостей потоку, u (мс^{-1}), відповідає рівнянню Нав'є-Стокса для стискуваної ньютонівської рідини відповідно до вихідної посилки Стокса і отримали наступну систему рівнянь [25-37].

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} - \nabla \cdot (k \nabla T) + \rho C_p u \cdot \nabla T = \alpha \frac{dP}{d\tau} T \quad \text{в зоні } \Omega^* \times (0, \tau_f), \\ \rho \frac{\partial u}{\partial \tau} - \nabla \cdot \eta (\nabla u + \nabla u^t) + \rho (u \cdot \nabla) u = \\ = -\nabla p - \frac{2}{3} \nabla (\eta \nabla \cdot u) + \rho g \quad \text{в зоні } \Omega_p^* \times (0, \tau_f), \\ \frac{\partial p}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad \text{в зоні } \Omega_p^* \times (0, \tau_f), \end{array} \right. \quad (3.8)$$

де g – гравітаційний вектор (м/с^2), $\eta = \eta(T, P)$ – динамічна в'язкість ($\text{Па} \cdot \text{с}$), $p = p(x, \tau)$ – тиск, що виникає при масообміні усередині рідини, і $P + p$ – повний тиск (МПа) у середовищі, що здійснює тиск.

Необхідно підкреслити, що в правій частині першого рівняння (3.8) можна записати $\alpha \frac{d(P + p)}{d\tau} T$, але ми робили припущення, що внутрішнім теплом, що виникає в результаті масообміну, можна зневажити. У правій частині другого рівняння (6.8) ми поставили ∇p , тому що $P = P(\tau)$ залежить тільки від часу й тому $\nabla(P + p) = \nabla p$, щільність $\rho = \rho(T, P)$ є фіксованою функцією стану.

Система рівнянь (3.8) була розроблена з урахуванням відповідних точок, меж і початкових умов:

$$\left\{ \begin{array}{l} k \frac{\partial T}{\partial n} = 0 \quad \text{на межі } \Gamma^* \setminus (\Gamma_r^* \cup \Gamma_{\text{up}}^*) \times (0, \tau_f) \\ k \frac{\partial T}{\partial n} = h(T_{\text{окр}} - T) \quad \text{на межі } \Gamma_{\text{up}}^* \times (0, \tau_f), \\ T = T_r \quad \text{на межі } \Gamma_r^* \times (0, \tau_f), \\ u = 0 \quad \text{на межі } \Gamma_p^* \times (0, \tau_f), \\ T(0) = T_0 \quad \text{в зоні } \Omega^*, \\ p = 10^5 \quad \text{в зоні } A_1 \times (0, \tau_f) \end{array} \right. \quad (3.9)$$

де A_1 – кутова точка Γ_p^* , що є межею зони Ω_p^* .

Необхідно відзначити, що стан точки A_1 означає, що повний тиск ($P + p$) у цій точці дорівнює тиску в камері P плюс атмосферний тиск. Як показано вище, для моделі з теплопередачею за рахунок теплопровідності система рівнянь (3.7), система рівнянь (3.8) і (3.9) може бути також переписана як еквівалент 2-мірної задачі з використанням циліндричних

координат. Відповідно, далі чисельну перевірку моделей ми проведемо з використанням 2-мірної версії відповідних рівнянь.

3.4 Рідкі продукти харчування

Для рідких продуктів харчування ми розробили модель, основу на тому, що конвекція також виникає в зоні ΩF , і ми виділили два окремі поля швидкостей, U_F і U_P , для харчового зразка й рідини, що здійснює тиск, відповідно. При цьому враховували, що середовище, що передає тиск і харчовий зразок розділені оболонкою капсули й не змішуються один з одним. Як і раніше ми зробили припущення, що рідина, яка здійснює тиск, за характером є стискуваною й ньютонівською. Слід зазначити, що в цьому випадку конвекція знову буде відігравати важливу роль не тільки в рідині, що здійснює тиск, але також і в рідкому харчовому зразку. Тому, зневажання її впливом (як це зроблено у випадку для в'язкопластичних харчових продуктів), привело б до результатів, які сильно відрізнялися б від реального поведіння при високій температурі. Виходячи з того, що харчовий зразок - це стискувана й ньютонівська рідина, основними рівняннями для різних ділянок будуть такі:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} - \nabla \cdot (k \nabla T) + \rho C_p u \cdot \nabla T = \alpha \frac{dP}{d\tau} T \quad \text{в зоні } \Omega^* \times (0, \tau_f), \\ \rho \frac{\partial u_F}{\partial \tau} - \nabla \cdot \eta (\nabla u_F + \nabla u_F^t) + \rho (u_F \cdot \nabla) u_F = \\ = -\nabla p - \frac{2}{3} \nabla (\eta \nabla \cdot u_F) + \rho g \quad \text{в зоні } \Omega_F^* \times (0, \tau_f), \\ \rho \frac{\partial u_P}{\partial \tau} - \nabla \cdot \eta (\nabla u_P + \nabla u_P^t) + \rho (u_P \cdot \nabla) u_P = \\ = -\nabla p - \frac{2}{3} \nabla (\eta \nabla \cdot u_P) + \rho g \quad \text{в зоні } \Omega_P^* \times (0, \tau_f), \\ \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\rho u_F) = 0 \quad \text{в зоні } \Omega_F^* \times (0, \tau_f), \\ \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\rho u_P) = 0 \quad \text{в зоні } \Omega_P^* \times (0, \tau_f), \end{array} \right. \quad (3.10)$$

з точковими, граничними й вихідними умовами:

$$\left\{ \begin{array}{l} k \frac{\partial T}{\partial n} = 0 \\ k \frac{\partial T}{\partial n} = h(T_{\text{окр}} - T) \\ T = T_r \\ u_F = 0 \\ u_p = 0 \\ T = T_0 \\ p = 10^5 \\ p = 10^5 \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{на межі } \Gamma^* \setminus (\Gamma_r^* \cup \Gamma_{up}^*) \times (0, \tau_f), \\ \text{на межі } \Gamma_{up}^* \times (0, \tau_f) \\ \text{на межі } \Gamma_r^* \times (0, \tau_f) \\ \text{на межі } \Gamma_F^* \times (0, \tau_f) \\ \text{на межі } \Gamma_p^* \times (0, \tau_f) \\ \text{в зоні } \Omega^* \\ \text{в зоні } A_1 \times (0, \tau_f) \\ \text{в зоні } A_2 \times (0, \tau_f) \end{array} \quad (3.11)$$

де Γ_F^* позначає межу ділянки ΩF , а A_1, A_2 - кутові точки Γ_p^* і Γ_F^* , відповідно рисунку 3.1. Як і раніше, ми будемо використовувати 2-мірну вісьосиметричну версію (3.10) і (3.11).

Варто підкреслити, що у разі, якщо харчовий зразок являє собою неньютонівську рідину, друге рівняння системи (3.10) повинне бути замінене відповідним рівнянням збереження імпульсу. Що повертає нас до розділу 5 і значно ускладнює модель.

3.5 Спрощені моделі

Щоб зменшити розрахункову складність, що виникає при розв'язанні задач у повних моделях (3.7) і (3.10) - (3.11), ми розглянули деякі спрощені версії, оцінка яких значно простіша й результати яких не набагато відрізняються від результатів для повних моделей. Спрощені моделі можуть бути корисні, коли вони використовуються, наприклад, під час процесів оптимізації, які вимагають розв'язання задач у моделях багаторазово й з різними даними. Згідно з цим ми провели чисельний аналіз однієї спрощеної версії моделі для в'язкопластичних харчових продуктів (3.7) і двох спрощених версій моделі для рідких харчових продуктів (3.10) - (3.11), описаних раніше.

Для в'язкопластичних харчових продуктів ми розглянули спрощену модель із постійними коефіцієнтами, приводячи показники C_p , k , α , ρ і η до їхніх середніх значень (C_p , k , α , ρ і η , відповідно) у діапазоні температур і тиску, які розглядалися в робочому процесі. Цю модель ми позначили як SCC. З іншого боку, для рідких харчових продуктів ми ще розглянули першу спрощену модель із постійними коефіцієнтами, як у моделі SCC, за винятком щільності ρ , що залишається залежною від температури й тиску (щоб зберегти ефект гравітаційних сил). Цю модель позначили як LCC.

Друга спрощена модель для рідких харчових продуктів основана на наближенні Буссінеска. Відповідно з яким, коефіцієнти C_p , k , α і η розглядаються як постійні величини, так як і в моделі LCC; ρ обрана з постійним значенням $\bar{\rho}$, за винятком гравітаційної сили ρg , що з'являється в другому й третьому рівняннях системи (3.10). Крім того, передбачалось, що продукти харчування й рідини, що здійснюють тиск, нестисливі. Цю модель позначили LB і описали за допомогою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \bar{\rho} \bar{C}_p \frac{\partial T}{\partial \tau} - \bar{k} \nabla^2 T + \bar{\rho} \bar{C}_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \bar{\alpha} \frac{dP}{d\tau} T & \text{в зоні } \Omega^* \times (0, \tau) \\ \bar{\rho} \frac{\partial \mathbf{u}_F}{\partial \tau} - \bar{\eta} \nabla^2 \mathbf{u}_F + \bar{\rho} (\mathbf{u}_F \cdot \nabla) \mathbf{u}_F = -\nabla p + \rho g & \text{в зоні } \Omega_F^* \times (0, \tau) \\ \bar{\rho} \frac{\partial \mathbf{u}_p}{\partial \tau} - \bar{\eta} \nabla^2 \mathbf{u}_p + \bar{\rho} (\mathbf{u}_p \cdot \nabla) \mathbf{u}_p = -\nabla p + \rho g & \text{в зоні } \Omega_p^* \times (0, \tau) \\ \nabla \cdot \mathbf{u}_F = 0 & \text{в зоні } \Omega_F^* \times (0, \tau) \\ \nabla \cdot \mathbf{u}_p = 0 & \text{в зоні } \Omega_p^* \times (0, \tau) \end{array} \right. \quad (3.14)$$

з граничними й вихідними умовами, наведеними в рівнянні (3.11).

Для оцінки ефективності спрощених моделей ми порівняли спрощену модель SCC з повною моделлю SFull та спрощені моделі LCC і LB з повною моделлю LFull. Більш точно, позначаючи $T_{сnp}$ температури, отримані при роботі з кожної з них, ми обчислили середню погрішність для всієї робочої зони,

$$ET = M(|T - T_{\text{упр}}|; \Omega \times (0, \tau_f)) \quad (3.15)$$

і відповідну процентну відносну погрішність

$$RET = 100 \times \frac{ET}{M(|T|; \Omega \times (0, \tau_f))} \quad (3.16)$$

Ми приділяли особливу увагу поводженню моделей, з упором на зони Ω_F . Щоб домогтися цього, ми визначили ET_F , і RET_F , беручи Ω_F замість Ω у рівняннях (3.16) і (3.17), відповідно.

3.6 Числовий аналіз моделей

Для числового аналізу ми врахували розмір експериментальної установки [398]. Яка має, $L = 0.08$ м, $H = 0.215$ м, $L_2 = 0.02$ м, $H_1 = 0.0285$ і $H_5 = 0,1865$ м. (рисунок 6.1). Ми розглянули два представницькі приклади, що описані в Розділі 3.5. Розмір і місце розташування зразка й еластичної капсули наведені з наступними значеннями $H_3 = 0,164$ м і $H_4 = 0,174$ для обох випадків; $L_1 = 0,0175$ м і $H_2 = H_1$ для в'язкопластичних харчових продуктів, і $H_2 = 0,05$ м для рідких харчових продуктів (рис. 3.1).

Ми провели числові тести з розрахунками в циліндричних координатах, використовуючи програму рішення ANSYS. Просторова дискретизація швидкості й тиску основана на кінцевих елементах Лагранжа P2-P1, що відповідають умові стабільності за Ладиженською, Бабускі й Бреззі (ЛББ). Інтеграцію часу реалізували з використанням методу "змінний крок - змінний порядок", що лежить в основі BDF-стратегії, побудованої на цій платформі. Нелінійні системи рівнянь вирішені за допомогою демпфированого методу Ньютона. Алгебраїчні лінійні системи рівнянь вирішені за допомогою UMFPACK-методу (несиметричного мультифронтального методу для розріджених лінійних систем) комбінованого з технологією стабілізації GLS (найменші квадрати за Гальоркінім). Усі обчислення для числових тестів були виконані на quadro-ядерному процесорі з 3.4 ГГц/ядрами й 8 гігабайтами RAM.

Ми припустили, що фізичні параметри середовища, яке здійснює тиск, і рідких харчових продуктів дорівнюють таким же показникам для води й залежать від температури й тиску. Більш точно, значення ρ , C_p і k визначені за допомогою методу зрушення від атмосферного тиску. Для параметра α ми

використували вираження. Нарешті, динамічна в'язкість η вираховувалась шматочно-лінійною інтерполяцією з використанням даних, отриманих з.

З іншого боку, ми обрали печінковий паштет як приклад в'язкопластичних харчових продуктів. Відповідні коефіцієнти отримані з для атмосферного тиску. Для інших значень тиску була застосована процедура ремасштабування і шматочно-лінійна інтерполяція. Для загальних випадків, коли термофізичні властивості специфічних продуктів харчування невідомі, можна скористатися математичними засобами для зворотних задач, щоб визначити ці параметри.

В обох випадках, для рідких і твердих продуктів харчування, ми припустили, що теплофізичні властивості сталі й еластичної капсули зразка є постійними. Для сталі, $\rho = 7833 \text{ кг м}^3$, $C_p = 465 \text{ Дж кг}^{-1} \text{ К}^{-1}$ і $k = 55 \text{ Вт м}^{-1} \text{ К}^{-1}$, а значення $\rho = 1110 \text{ кг м}^{-3}$, $C_p = 1884 \text{ Дж кг}^{-1} \text{ К}^{-1}$ і $k = 0.173 \text{ Вт м}^{-1} \text{ К}^{-1}$ узяті для гуми.

Температура навколишнього середовища, вихідна температура й коефіцієнт теплопередачі, використовувані в тестах, відповідають наступним значенням: $T_{\text{окр}} = 21^\circ\text{C}$, $T_{\text{нагрєва}} = 40^\circ\text{C}$ і $h = 28 \text{ Вт м}^{-2} \text{ К}^{-1}$, відповідно.

Для кожного типу харчових продуктів ми розглянемо два процеси обробки високим тиском з різними кривими для початкової температури й тиску:

1. Процес П 1: початкова температура $T_0 = 40^\circ\text{C}$ в зоні Ω_S , $T_0 = 22^\circ\text{C}$ в зоні Ω/Ω_S і тиск збільшується лінійно протягом перших 300 секунд, поки він не досягає рівня в 600 МПа.

2. Процес П 2: початкова температура $T_0 = 40^\circ\text{C}$ у всій робочій зоні Ω і тиск збільшуються лінійно (з тим же самим нахилом як колись) протягом перших 185 секунд, поки він не досягає рівня в 400 МПа.

Рисунки 3.2-3.5 показують температурний розподіл як для в'язкопластичних, так і для рідких харчових продуктів у ході обробок П 1 і П 2 протягом періоду часу $t = 15 \text{ хв}$. Усереднений за часом температурний розподіл (тобто, функція $x \rightarrow M(T(x, \cdot); (0, \tau_f))$), для $x \in \Omega$ для чотирьох зазначених випадків представлено на рисунках 3.6-3.9.

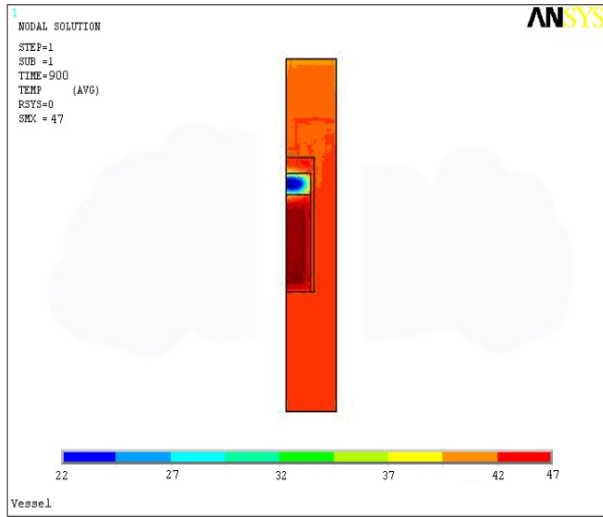


Рисунок 3.2 – Температурний розподіл (°C) у всій робочій зоні при $t = 15$ хв із в'язкопластичними харчовими продуктами після процесу П1

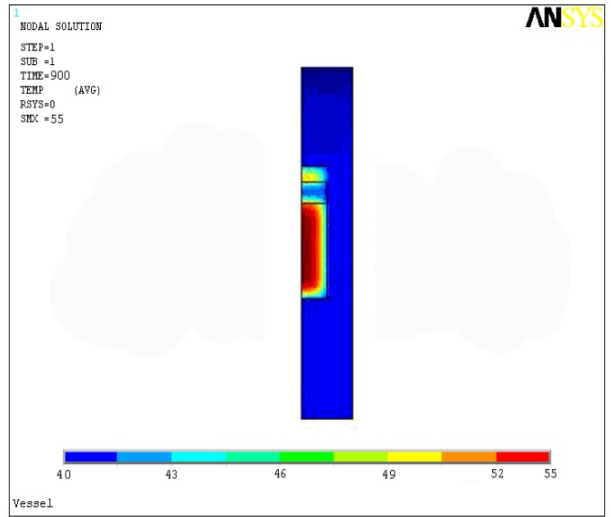


Рисунок 3.3 – Температурний розподіл (°C) у всій робочій зоні при $t = 15$ хв із в'язкопластичними харчовими продуктами після процесу П2

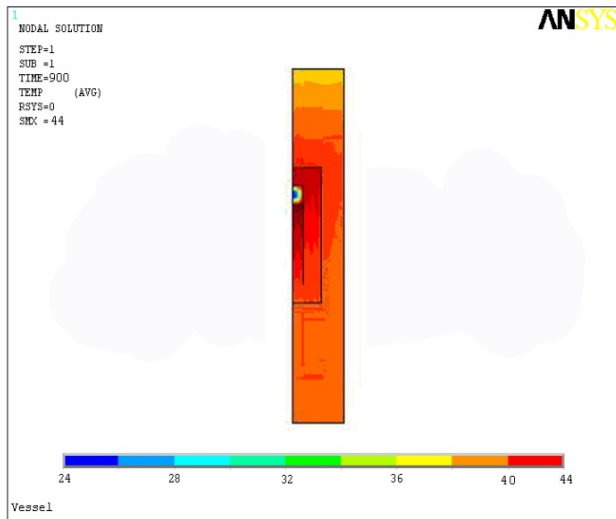


Рисунок 3.4 – Температурний розподіл (°C) у всій робочій зоні при $t = 15$ хв для випадків із рідкими харчовими продуктами після процесу П1

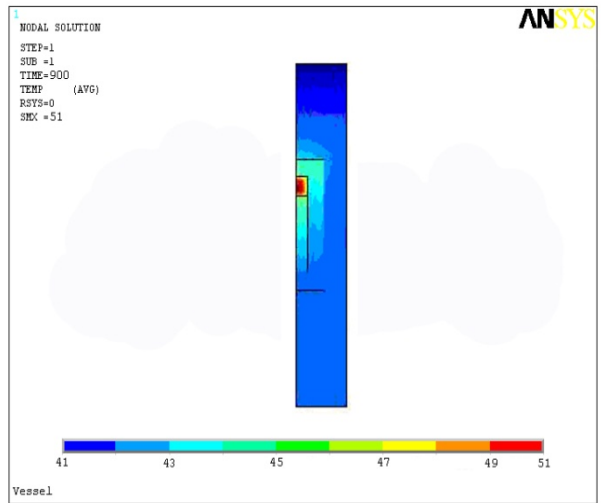


Рисунок 3.5 – Температурний розподіл (°C) у всій робочій зоні при $t = 15$ хв для випадків із рідкими харчовими продуктами після процесу П2

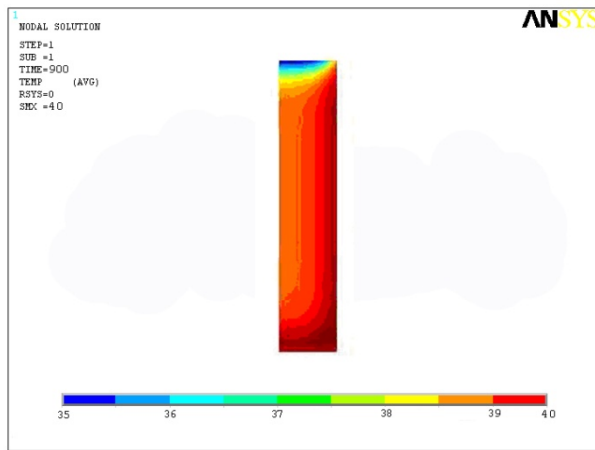


Рисунок 3.6 – Усереднений за часом температурний розподіл (°C) протягом 15 хв у в'язкопластичних харчових після процесу П1

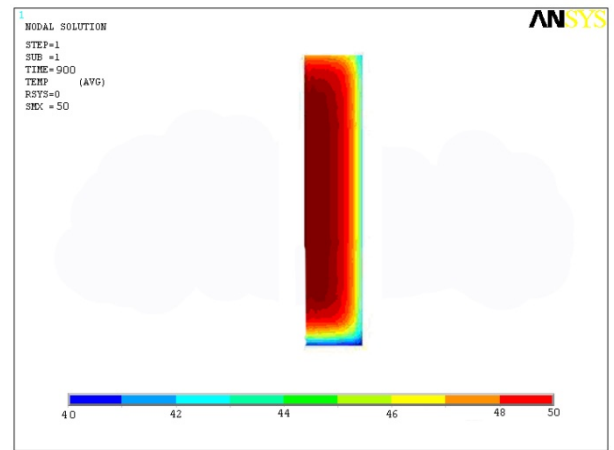


Рисунок 3.7 – Усереднений за часом температурний розподіл (°C) протягом 15 хв у в'язкопластичних харчових після процесу П2

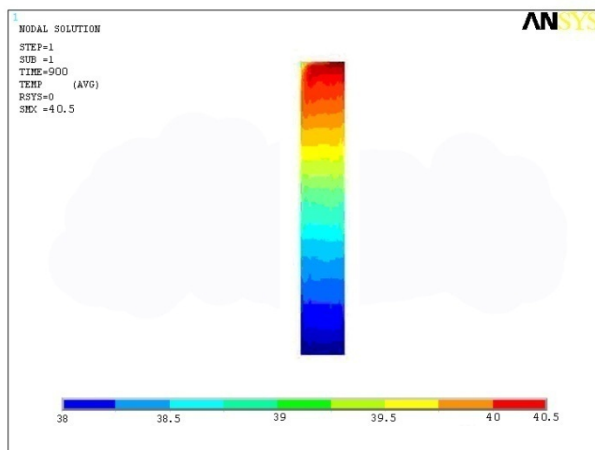


Рисунок 3.8 – Усереднений за часом температурний розподіл (°C) протягом 15 хв у рідких харчових зразках після процесу П1

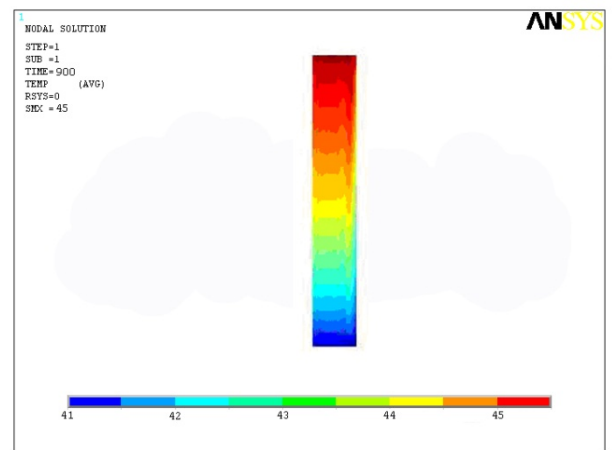


Рисунок 3.9 – Усереднений за часом температурний розподіл (°C) протягом 15 хв у рідких харчових зразках після процесу П2

Зміна середньої температури зразка (тобто, функція $x \rightarrow M(T(\cdot, \tau); \Omega_F)$, для $\tau \in [0, \tau_f]$ наведена на рисунку 3.10, що також показує зміну температури у двох точках (див. рис. 3.1): перша точка, B1, розташована в центрі зразка (на осі симетрії) і друга точка, B2, на поверхні зразка, на тій же самій висоті, що й точка B1.

Ці рисунки показують, як модель підтримує неоднорідний температурний розподіл усередині робочої зони й різне поведіння у випадку із в'язкопластичними й рідкими харчовими продуктами. Наприклад, у випадку з рідкими харчовими продуктами, температурний розподіл є більше однорідним, ніж у випадку із в'язкопластичними харчовими продуктами через перенос маси. Тому модель і числове наближення її рішення співпадає з тим, що очікується фізично.

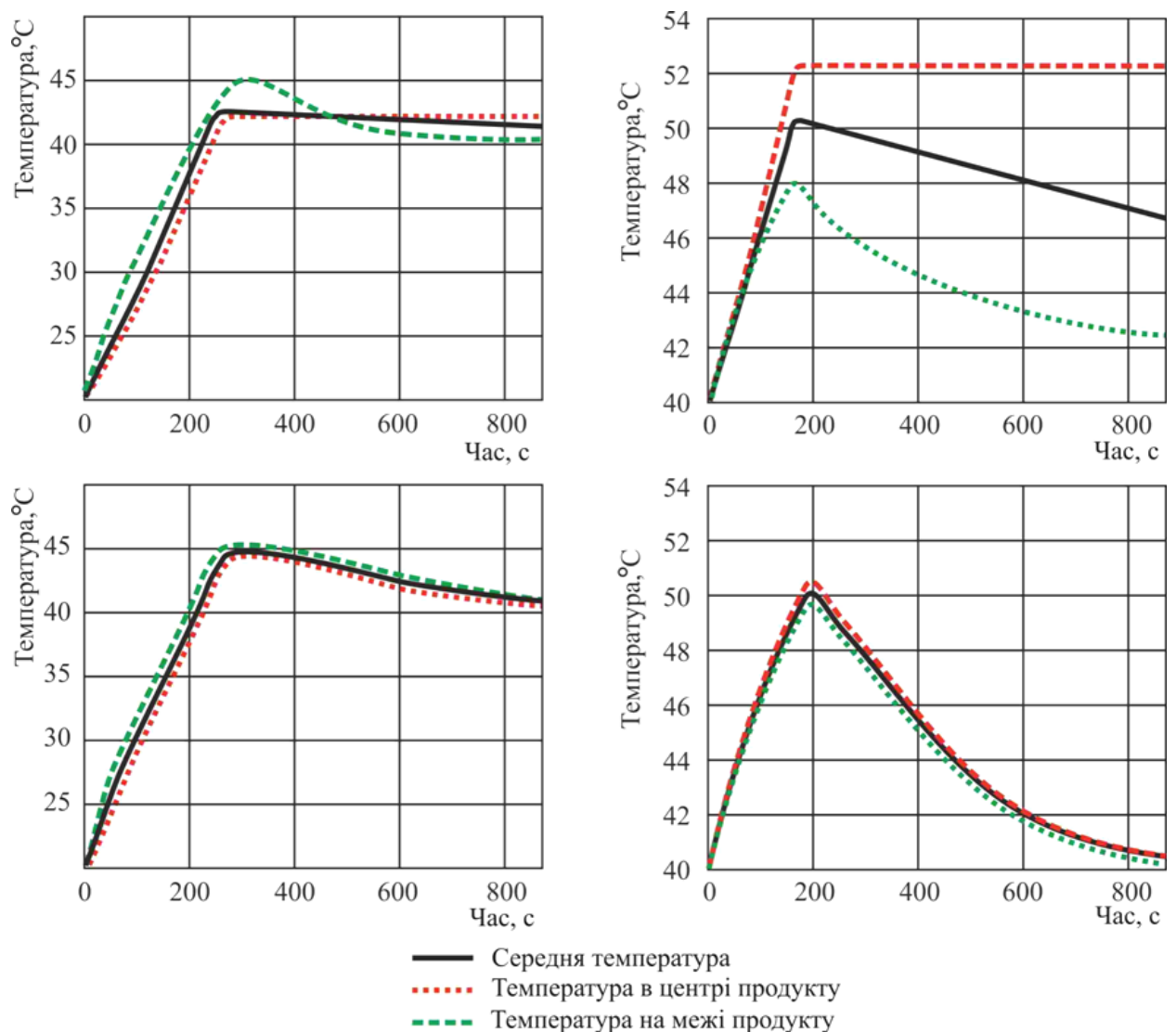


Рисунок 3.10 – Зміна середньої температури зразка (—), температури в центральній точці V_1 (-) і в граничній точці V_2 (...) (рис.3.1) під час процесів П1 (ліворуч) і П2 (праворуч) у в'язкопластичних (угорі) та рідких (унизу) харчових зразках

Як видно із числових експериментів, для рідких харчових продуктів, так як і для твердих, необхідно використовувати початкову температуру харчового зразка нижчу, ніж $T_{\text{нагр}}$ (як було зроблено в процесі П1), і очікувати температурне збільшення як наслідок стиснення. Це дозволить домогтися більш однорідного процесу, уникаючи великих температурних градієнтів усередині харчового зразка, а також значно більш високих значень температури, ніж $T_{\text{нагр}}$. Що природно, зважаючи на те, що однією із цілей технології обробки ВТ є обробка харчових продуктів без використання високих температур, які погіршують деякі з основних властивостей харчових продуктів. Рисунок 3.4 показує таке поводження для процесу П1.

3.7 Комбінація моделей інактивації компонентів з моделями на основі теплопередачі та масопереносу

Для того, щоб одержати модель, здатну продемонструвати неоднорідний розподіл активності цільових компонентів (мікроорганізмів, ферментів, вітамінів) у харчових продуктах, ми поєднали моделі на основі теплопередачі з кінетичним рівнянням (3.1). Розподіл активності виражається по-різному для в'язкопластичних харчових продуктів (де за припущенням частки нерухливі) і для рідких харчових продуктів (де частки, як можна вважати, переміщуються в силу переносу маси).

Для в'язкопластичних харчових продуктів ми припустили, що частки не переміщуються. Таким чином, згідно з (3.4) активність A частки, розташованої в точці $x \in \Omega_F$ у момент часу t , може бути представлена таким рівнянням

$$A(x, \tau) = A(x, 0) \exp \left(- \int_0^{\tau} k(P(\sigma), T(x, \sigma)) d\sigma \right). \quad (3.17)$$

Тиск в КВТ P (МПа) є заданою функцією (ми припускаємо, що тиск переносу маси p незначний в порівнянні з P), і значення температури T (К) можна одержати, вирішуючи систему рівнянь (3.7)).

У випадку з рідкими продуктами харчування частки переміщуються в харчовому зразку в зоні Ω_F у силу переносу маси. У цьому випадку для кожної точки $x \in \Omega_F$ ми розглядали траєкторію частки оброблюваного продукту, що закінчується у точці x . Ця траєкторія X є рішенням рівняння

$$\begin{cases} \frac{dX}{d\tau}(t) = u_F(X(\tau), \tau), t \in (0, \tau_f), \\ X(\tau_f) = x, \end{cases} \quad (3.18)$$

де u_F – поле швидкостей, що обчислювали, вирішуючи систему рівнянь (3.10) - (3.11). Тому згідно з (3.4), активність A частки, розташованої в точці $x \in \Omega_F$ у момент часу τ , може бути виражена рівнянням

$$A(x, t) = A(X(0), 0) \exp\left(-\int_0^t k(P(\sigma), T(X(\sigma), \sigma)) d\sigma\right) \quad (3.19)$$

У цьому випадку $T(X(\tau), \tau)$ одержували, вирішуючи систему рівнянь (3.10) - (3.11). Тут $X(\tau)$ є точкою, що траєкторія X досягає в момент часу τ

Дискретизацію часу ми розглядали за умови:

$$0 = \tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_n = \tau_f \text{ с кроком } \delta = \tau_i - \tau_{i-1} = \frac{\tau_f}{n} \text{ для } i = 1, 2, \dots, n.$$

Виходячи з того, що $x \in \Omega_F$ і позначаючи $k_j(x) = k(P(\tau_j), T(x, \tau_j))$, числове наближення (3.18) було отримане при використанні формули трапецій:

$$A(x, \tau_n) \approx A(x, 0) \exp\left(-\frac{\delta}{2} \sum_{j=0}^{n-1} (k_j(x) + k_{j+1}(x))\right) \quad (3.20)$$

Активність компонента оцінювалась на рівномірно розподіленій сітці в зоні харчового зразка Ω_F .

Для кожної точки $x \in \Omega_F$ ми допустили, що X є траєкторією частки, що задовольняє умові $X(\tau_j) = x$. Ми брали наближення $\{X_i\}_{i=0}^n$ уз $\{X(\tau_i)\}_{i=0}^n$, що визначили шляхом дискретизації (3.19) з наступною зворотною імпліцитною схемою.

$$\begin{cases} X_n = x \\ X_i = X_{i+1} - \delta u_F(X_i, \tau_i), i = n-1, n-2, \dots, 0 \end{cases} \quad (3.21)$$

Результат (3.22) одержали шляхом рішення на комп'ютері задачі мінімізації за допомогою числових обчислень

$$\min_{y \in \Omega_F} \|X_{i+1} - y - \delta u_F(y, \tau_i)\|_2 \quad (3.22)$$

Для цього використали алгоритм найшвидшого спуску, починаючи з рішення зворотної експліцитної схеми

$$y_i^{(0)} = X_{i+1} - \delta u_F(X_{i+1}, \tau_{i+1})$$

який повторяли до досягнення $y_i^{(m)} \in \Omega_F$ таким чином, щоб

$$\|X_{i+1} - y_i^{(m)} - \delta u_F(y_i^{(m)}, \tau_i)\|_2 < 10^{-4} \|X_{i+1} - y_i^{(0)}\|_2$$

Позначаючи $k_j(X) = k(P, \tau_j)$, $T(X_j, \tau_j)$, числове наближення (3.20) обчислене з урахуванням того, що

$$A(x, \tau_n) \approx A(X_0, 0) \exp\left(-\frac{\tau}{2} \sum_{j=0}^{n-1} (k_j(X) + k_{j+1}(X))\right) \quad (3.23)$$

Знову активність оцінили на рівномірно розподіленій сітці в зоні харчового зразка Ω_F .

3.8 Висновки до 3 розділу

1. Отримані математичні моделі, що враховують явища теплопередачі й переносу маси й інактивацію цільових компонентів, яка відбувається під час цих процесів, застосовні для проектування й оптимізації процесів, які основані на комбінації термічної обробки й обробки ВТ у харчових технологіях.

2. Розробка спрощених версій повних моделей і порівняння їх з відповідними повними моделями, показали схожість отриманих результатів. Спрощені моделі потребують в меншій кількості обчислювального часу для рішення задач тому вони можуть використовуватися для процесів оптимізації

при обов'язковому проведенні багаторазових обчислень на відповідних моделях з використанням різних даних.

3. Усі отримані числові результати показують, що немає універсальної оптимальної обробки ВТ. Для кожного специфічного виду харчових продуктів і обладнання ВТ необхідно виконувати такі операції:

- ідентифікувати цільові компоненти, які потребують змін, і одержати для кожного з них кінетичне рівняння, що описує зміну їх активності/концентрації та т. інш. під дією ВТ й температури;

- обрати підходящу модель, що описує розподіл температури в харчовому продукті, і знайти цифрове рішення;

- використовувати цей розподіл температури в якості вихідних даних для відібраних кінетичних рівнянь цільових компонентів, щоб одержати показники їх активності на заключній стадії після обробки ВТ;

- реалізувати технологію оптимізації, для чого провести кілька числових експериментів зі зміною початкової температури, тиску тощо, щоб змінити активність цільового компонента без використання високих температур.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПРОЕКТУ

4.1 Визначення економічної ефективності впровадження технології обробки цитрусових соків ВТ

Аналіз існуючих методик виконання розрахунків ефективності від впровадження та випуску нової продукції більш високої якості показав, що розрахунок соціально-економічної ефективності від впровадження результатів проведених нами досліджень утруднений з причин того що: основні витрати на освоєння нових продуктів знаходяться у сфері виробництва а це не дозволяє однозначно визначити сумарний соціально-економічний ефект, це пов'язане з тим, що обладнання для обробки продуктів ВТ не виробляється на Україні, також неможливо точно визначити його вартість для конкретного підприємства - виробника після розмитнення. Також відсутня точна кількість підприємств, які готові перейти на випуск продуктів, оброблених ВТ і план виробництва кожним підприємством. В Україні відсутні дані про ринкову ціну нового продукту, яка залежить від інформованості населення про його переваги і ефективності рекламної компанії. Тому враховуючи дані обставини, для визначення сумарного соціально-економічного ефекту ми застосували метод експертних оцінок.

Згідно цього методу організація проведення експертних оцінок складалася з наступних блоків: розробка інформаційних матеріалів про технології ВТ і анкети з переліком показників, що формують підсумковий соціально-економічний ефект від впровадження результатів роботи; формування експертної групи і визначення її професійної придатності; проведення анкетування; обробка та аналіз результатів тестування.

Була застосована стандартна методика, яка припускає, що експерти не спілкуються між собою. Методику застосували для розрахунку економічної

ефективності впровадження цитрусових соків, що пройшли обробку ВТ. Експертна група в кількості 29 експертів була сформована з представників - технологів, барменів та економістів підприємств громадського харчування мережі ресторанів бренду «Мирова карта» (13 експертів), підприємств роздрібної торгівлі (13 експертів), індивідуальних споживачів (13 експертів). Експертна група була сформована з експертів, що проживають в містах Києві, Донецьку та Докучаєвську Донецької області.

Незважаючи на те, що члени експертної групи не мали безпосереднього контакту один з одним і роз'єднані територіально, було вирішено використати метод «Дельфі» (між експертами відсутній обмін інформацією; інформованість експертів в процесі роботи залишається незмінною). Перед початком проведення процедури експертних оцінок всі експерти отримали інформацію про предмет експертизи (технічні, економічні, споживчі та інші аспекти застосування технології ВТ) і потім було проведено тестування і перевірка узгодженості їх думок.

Тестування складалося в рішенні експертами завдань, з відомими організаторам тестування, але невідомими експертам результатами, і перевірці за критерієм Фішера гіпотези про приналежність оцінок різних експертів до однієї і тієї ж генеральної сукупності оцінок.

Узгодженість думки експертів була оцінена за величиною коефіцієнта конкордації W [116]:

$$W = \frac{12S}{n^2(m^3 - 3)} \quad (4.1)$$

де S – сума квадратів відхилень усіх оцінок рангів кожного об'єкта експертизи від середнього значення;

n – число експертів;

m – число об'єктів експертизи.

Даний показник склав 0,94, що свідчить про високий ступінь узгодженості між експертами. При проведенні оцінювання експерти

заповнювали надані їм анкети. Основний принцип побудови запитань анкети - оцінити у відносних одиницях (існуюча технологія вироблення соку прийнята за 1) зміна статей при виробництві, споживанні соку і позитивні соціальні ефекти в суспільстві від споживання даного продукту. При обробці отриманих оцінок було встановлено, що вони підкоряються нормальному розподілу [116]. Обробка результатів експертного опитування полягала у визначенні середнього значення оцінки, середнього квадратичного відхилення σ_i і коефіцієнта варіації V_i .

Таблиця. 4.1

Порівняння статей витрат на виробництво свіжовичавлених соків оброблених ВТ у сфері виробництва (в умовних показниках)

Статті витрат що розглядаються у сфері виробництва	Експертна оцінка витрат		
	базовий варіант	варіант з використанням ВТ	відхилення
Повна вартість обладнання	1	1,1	+0,1
основна і додаткова заробітна плата	1	1,015	+0,015
технологічні витрати електроенергії	1	1,03	+0,03
Витрати що пов'язані з підготовкою та освоєнням нової продукції	1	1,05	+0,05
Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	1	1,06	+0,06
Загальновиробничі витрати	1	1,01	+0,01
Загальногосподарські витрати затрати (реклама нові продукції та ін.)	1	1,007	+0,007
УСЬОГО (Повна собівартість)	1	1,272	+0,272

Аналіз даних таблиці 4.1 показав, що собівартість виробництва свіжовичавлених соків із використанням ВТ збільшується на 27,2%. Однак, оскільки позитивні ефекти від виробництва таких соків досягаються в сфері

спо-споживання і за соціальними статтями слід проаналізувати дані таблиць 4.2 і 4.3.

Таблиця 4.2

Порівняння статей витрат у сфері споживання свіжовичавлених соків
оброблених ВТ (в умовних показниках)

Статті витрат що розглядаються у сфері споживання	Експертна оцінка позитивних ефектів		
	базовий варіант	варіант з використанням ВТ	відхилення
Скорочення охолоджуваних складських приміщень (стратегічні запаси і т.інш..)	1	1,06	-0,06
Скорочення енерговитрат на охолодження складів-холодильників	1	1,10	-0,1
Зниження транспортних витрат	1	1,02	-0,02
Усього	1	1,18	-0,18

Таблиця 4.3

Порівняння умовних показників соціального ефекту від споживання
свіжовичавлених соків оброблених ВТ

Соціальний ефект	Експертна оцінка ефектів		
	базовий варіант	варіант з використанням ВТ	відхилення
Підвищення споживчої якості продукту	1	1,1	+0,1
Підвищення харчової цінності продукту	1	1,1	+0,1
Підвищення рівня життя споживачів даної продукції	1	1,1	+0,1
Зниження захворюваності населення від вживання недоброякісної продукції	1	1,1	+0,1
Збільшення ринку збуту даної продукції експедиціями, туристами та ін..	1	1,08	+0,08
Усього	1	1,48	+0,48

У сфері споживання свіжовичавлених соків оброблених ВТ забезпечується 18% збільшення прибутку і позитивний соціальний ефект від

випуску продукту харчування високої споживчої якості тривалого терміну зберігання був оцінений в 48% у порівнянні з ефектом від споживання соків, що виробляються в даний час за традиційними технологіями.

Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів досліджень тільки на підприємствах, які виробляють та реалізують продукцію, в тому числі і соки, як у власній мережі підприємств так і шляхом кур'єрської доставки та організації кейтерінгових заходів. склав 78 тис. грн. і 42 тис. грн. відповідно.

4.2 Визначення економічної ефективності впровадження установки для обробки пива ВТ

Розроблена технологія обробки пива високим тиском з використанням розробленої установки відноситься до інноваційних, так як підвищує якість продукції з використанням принципово нового методу її обробки.

При оцінці економічної ефективності впровадження проектованої установки були враховані всі додаткові витрати на її впровадження та всі позитивні результати, які можуть бути отримані при її впровадженні.

Економічний ефект (ЕЕ) визначено за такою формулою :

$$EE = ПВ_1 - ПВ_2 + \Delta\Pi_q^p \quad (4.2)$$

де ПВ – приведені витрати в розрахунку на рік,

$\Delta\Pi_q^p$ – додатковий прибуток, отриманий в результаті збільшення обсягу реалізації продукції.

При розрахунку приведених витрат враховані одноразові поточні витрати, цільової коефіцієнт ефективності інновацій прийнятий у розмірі 0,25 [1].

При впровадженні проектованої установки замість фільтрації пива змінюються наступні поточні видатки: витрати на амортизацію; витрати на

поточний ремонт; витрати на електроенергію; витрати на поточне обслуговування обладнання.

Витрати одноразові на придбання установки визначені на основі складання орієнтовної калькуляції оптової ціни за укрупненими елементами з урахуванням сформованої структури собівартості на заводах точного машинобудування [116], де може бути виготовлена проєктована установка.

Розрахунок матеріальних витрат на виготовлення установки наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Розрахунок матеріальних витрат на виготовлення установки

Найменування	Кількість	Оптова ціна, тис. \$
Камера	1	8
Компресор	1	11,5
Прес	1	15,6
Електрообладнання	-	86,3
Маслостанція	1	12,8
Інші	-	155
Транспортно-заготівельні витрати	-	3,5
Усього		292,7

Орієнтовна сума витрат виробництва на виготовлення установки складе:

$$BV = \frac{292,7}{0,75} = 390 \text{ тис. \$} \quad (4.3)$$

з урахуванням прибутку та ПДВ орієнтовна оптово-відпускна ціна становитиме: (при ставці ПДВ-17% [3])

$$C_{oo} = \left(390 + \frac{390 \cdot 12}{100} \right) \cdot \frac{100 + 17}{100} = 495,2 \text{ тис. \$} \quad (4.4)$$

оптово-відпускна ціна на фільтруючу установку - 205 тис. \$.

Капітальні витрати на придбання установки з урахуванням витрат на транспортування і монтаж орієнтовно складуть по базовій установці

$$KB = 205 \cdot (1 + 0,12) = 229,6 \text{ тис. \$}$$

по установці що проектується

$$KB_2 = 495,2 \cdot (1 + 0,12) = 554,6 \text{ тис. \$}$$

З урахуванням курсу долара 5,6 грн. за \$*

* (Ціни 2005 року)

$$KB_1 = 229,6 \cdot 5,6 = 1285,8 \text{ тис. грн.}$$

$$KB_2 = 554,6 \cdot 5,6 = 3105,9 \text{ тис. грн.}$$

В процесі експлуатації установки змінюються наступні поточні витрати:

Витрати на електроенергію ($BX_{ел}$)

$$PX_{ел} = M \cdot t_{об} \cdot m^{ел} \quad (4.5)$$

де $t_{об}$ – час роботи обладнання, M – потужність обладнання кВт; m – тариф за 1 кВт / годину, грн.

Час роботи обладнання визначено з урахуванням продуктивності обладнання та обсягу вироблюваної продукції.

$$PX_{ел1} = 12,8 \cdot \frac{3100}{1,5} \cdot 0,16 = 4230 \text{ грн} = 4,23 \text{ тис. грн} \quad (4.6)$$

Витрати на амортизацію ($BX_{амо}$) визначені з урахуванням діючих норм амортизації:

$$BX_{амо} = \frac{KB^1 \cdot N_{амо}}{100}$$

$$BX_{амо1} = \frac{1285,8 \cdot 15}{1,17 \cdot 100} = 164,84 \text{ тис. грн}$$

$$BX_{амо2} = \frac{3105,9 \cdot 15}{1,17 \cdot 100} = 398,2 \text{ тис. грн}$$

Витрати на поточне обслуговування ($BX_{тех.об}$)

$$BX_{\text{тех.об}}_1 = \frac{3100}{50} \cdot 836 \cdot 5,04 = 261,23 \text{ тис. грн.}$$

$$BX_{\text{тех.об}}_2 = 0$$

Загальна сума поточних витрат що змінюються ($BX_{\text{заг}}$) складе

$$BX_{\text{заг}} = PX_{\text{АМО}} + PX_{\text{тек.обсл}} + PX_{\text{ел}}$$

$$BX_{\text{заг}} = 164,84 + 261,23 + 4,23 = 430,31 \text{ тис. грн.}$$

$$BX_{\text{заг}} = 39802 + 0,42 = 398,61 \text{ тис. грн.}$$

Питомі змінні експлуатаційні витрати складуть:

$$BX_{\text{нум}}_1 = \frac{430,31}{3100} = 0,1388 \text{ грн/дал}$$

$$BX_{\text{нум}}_2 = \frac{398,61}{3100} = 0,1286 \text{ грн/дал}$$

Збільшення прибутку за рахунок зниження поточних витрат складе:

$$\Delta \Pi^3_B = 430,31 - 398,61 = 31,7 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок збільшення прибутку за рахунок збільшення обсягу реалізації пива виконаний за формулою

$$\Delta \Pi^4_P = \left(\Delta B_P \cdot \frac{Ren^{np}}{100} \right) \cdot \left(\frac{100 - N_{НП}}{100} \right) - \Delta BX_{зб} \quad (4.7)$$

де Ren^{np} - рентабельність продажів, %

$N_{НП}$ - ставка податку на прибуток, %.

$\Delta BX_{зб}$ - додаткові витрати на зберігання пива.

$$\Delta \Pi^4_P = \left(49600 \cdot \frac{16,5}{100} \right) \cdot \frac{100 - 25}{100} - 3,1 \cdot 3100 \cdot 0,5 = 2534,3 \text{ тис. грн.} \quad (4.8)$$

Загальне збільшення чистого прибутку складе:

$$\Delta \Pi^4_{\text{ч}} = \Delta \Pi^3_P \cdot \frac{100 - N_{НП}}{100} + \Delta \Pi^4_P \quad (4.9)$$

$$\Delta \Pi^4_{\text{ч}} = 31,7 \cdot \frac{100 - 25}{100} + 2534,3 = 2558 \text{ тис. грн.} \quad (4.10)$$

Ефективність інвестицій на впровадження установки характеризують показники:

- додатковий чистий прибуток;
- річний економічний ефект;
- період окупності витрат.

Річний економічний ефект складе:

$$E_p = (1285,8 \cdot 0,25 + 430,31) - (3105,9 \cdot 0,25 + 398,61) + 2534,5 = 2110,9 \text{ тис. грн}$$

Період окупності капітальних вкладень на впровадження установки на АТ «Донецький пивоварний завод» складе:

а) без урахування інфляції з урахуванням збільшення чистого прибуку:

$$ПО_1 = \frac{3105,9}{2558,0} = 1,2 \text{ роки}$$

б) з урахуванням інфляції:

$$ПО_2 = \frac{3105,9}{2036} = 1,53 \text{ року}$$

де 2036 тис. грн. середньорічний додатковий прибуток при сформованому рівні інфляції 9,8% [4].

Розрахунок дисконтованого чистого прибутку представлений в таблиці 4.5

Таблиця 4.5

Розрахунок дисконтованого чистого прибутку

Роки	Додатковий чистий прибуток (майбутня вартість)	Коефіцієнт дисконтування	Справжня вартість додаткової чистого прибутку
1-й	2558	0,9107	2329,7
2-й	2558	0,8295	2121,8
3-й	2558	0,7554	1932,4
4-й	2558	0,6880	1759,9
ІТОГ	10232,1		8143,8
В середньому за рік			2036

Результати розрахунків свідчать про те, що впровадження установки для обробки пива високим тиском економічно доцільно, оскільки знизиться енергоємність виробництва пива та експлуатаційні витрати, що забезпечить підприємству збільшення чистого прибутку в сумі 23,8 тис. грн. в рік.

Крім того, за рахунок збільшення реалізації пива чистий прибуток заводу збільшиться на 2534,3 тис. грн. в рік.

Зростання прибутку забезпечить окупність витрат з урахуванням інфляції за 1,5 роки.

4.3 Визначення економічної ефективності впровадження установки високого тиску для обробки печінкового паштету

Пропоноване вдосконалення процесу виробництва печінкового паштету з використанням установки високого тиску відноситься до інноваційних, оскільки підвищує якість продукції з використанням нового для України способу її обробки. При оцінці економічної ефективності від застосування вдосконаленої технології враховані всі додаткові витрати на її впровадження і всі позитивні результати, які можуть бути отримані при її впровадженні. Економічний ефект E_E визначений за формулою (4.11).

При розрахунку наведених витрат враховані одноразові поточні витрати, цільової коефіцієнт ефективності інновацій прийнятий у розмірі 0,33. При впровадженні проекрованої установки замість теплової обробки паштету змінюються такі поточні витрати: витрати на пар, витрати на поточний ремонт, витрати на електроенергію, витрати на воду, витрати на поточне обслуговування обладнання. Одноразові витрати на придбання установки визначені на основі складання орієнтовною калькуляції оптової ціни за укрупненими елементам з урахуванням сформованої структури собівартості», де може бути виготовлена установка високого тиску. Розрахунок матеріальних витрат на виготовлення установки наведено в таблиці Т.3.

Розрахунок матеріальних витрат на виготовлення установки

Найменування	Кількість	Оптова ціна, тис. грн.
Камера	1	111,5
Прес	1	78,4
Гідростанція	1	84,6
Інші	-	210
Транспортно-заготовчі витрати	-	71,3
Разом		488,5

Капітальні витрати на придбання установки з урахуванням витрат на транспортування і монтаж орієнтовно складуть:

- За базовим варіантом вартість термокамери, яка виключається з технологічної лінії:

$$KB_1 = 350,6 + \frac{350,6 \cdot 14,64}{100} = 402 \text{ тис.грн.} \quad (4.11)$$

- по проектованій установці:

$$KB_2 = 488,5 + \frac{488,5 \cdot 14,64}{100} = 560 \text{ тис.грн.} \quad (4.12)$$

У процесі експлуатації установки змінюються такі поточні витрати:

Витрати на електроенергію $BX_{ел}$

$$BX_{ел} = M \cdot t_{об} \cdot m_{ел} \quad (4.13)$$

де $t_{об}$ – час роботи обладнання; M – потужність обладнання, кВт; $m_{ел}$ – тариф за 1 кВт/год, грн.

Час роботи обладнання визначено з урахуванням продуктивності обладнання, обсягу вироблюваної продукції і коефіцієнта використання обладнання.

$$BX_{ел2} = 26 \cdot \frac{220}{0,1} \cdot 0,39 = 22308 \text{ грн.}$$

$$BX_{ел1} = 5,2 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 303 \cdot 0,18 \cdot 0,39 = 1770 \text{ грн.}$$

Витрати на воду:

$$BX_{води} = BX_{води\ уд} \cdot Q \cdot m^6 \text{ грн.} \quad (4.14)$$

де Q – кількість продукції, т; $BX_{води\ уд}$ – витрата води на охолодження

1 тони паштету; m^6 – тариф за 1 м^3 .

$$BX_{води\ 1} = 220 \cdot 9,2 \cdot 8,2 = 16597 \text{ грн.}$$

$$BX_{води\ 2} = 0$$

Витрати на пару:

$$BX_{пар} = PX_{пар\ уд} \cdot Q \cdot m^n \text{ грн.} \quad (4.15)$$

m^n – тариф за 1 ГКк пари.

$$BX_{пар\ 1} = 119 \cdot 220 \cdot 3,2 = 83776 \text{ грн.}$$

$$BX_{пар\ 2} = 0$$

Витрати на поточний ремонт:

$$BX_{ном} = \frac{KB' \cdot N_{ном}}{100} \quad (4.16)$$

$$BX_{ном1} = \frac{402 \cdot 5}{1,2 \cdot 100} = 16,75 \text{ тис.грн.}$$

$$BX_{ном2} = \frac{560 \cdot 5}{1,2 \cdot 100} = 23,33 \text{ тис.грн.}$$

Витрати на амортизацію ($BX_{амо}$) визначені з урахуванням діючих норм амортизації:

$$BX_{амо} = \frac{KB' \cdot N_{амо}}{100} \quad (4.17)$$

$$BX_{амо\ 1} = \frac{402 \cdot 25}{1,2 \cdot 100} = 83,75 \text{ тис.грн.}$$

$$BX_{\text{амо } 2} = \frac{560 \cdot 25}{1,2 \cdot 100} = 116,67 \text{ тис.грн.}$$

Витрати на поточне обслуговування ($BX_{\text{тех.обс}}$)

$$BX_{\text{тех.обс}} = PX_{\text{амо}} \cdot \frac{N_{\text{тех.об}}}{100} \quad (4.18)$$

$$BX_{\text{тех.обс } 1} = 83750 \cdot 0,12 = 10050 \text{ грн.}$$

$$BX_{\text{тех.обс } 2} = 116670 \cdot 0,12 = 14000 \text{ грн.}$$

Загальна сума поточних витрат що змінюються ($BX_{\text{заг}}$)

$$BX_{\text{заг}} = BX_{\text{амо}} + BX_{\text{тех.обс}} + BX_{\text{ел}} + BX_{\text{в}} + PX_{\text{пар}} \quad (4.19)$$

$$BX_{\text{заг } 1} = 1770 + 16597 + 83776 + 83750 + 16750 + 10050 = 212693 \text{ грн.}$$

$$BX_{\text{заг } 2} = 22308 + 116666 + 23333 + 14000 = 176308 \text{ грн.}$$

Збільшення прибутку за рахунок зниження поточних витрат складає:

$$\Delta \Pi_p^B = 212,7 - 176,3 = 36,4 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок збільшення прибутків за рахунок збільшення реалізації паштета виконано за формулою:

$$\Delta \Pi_{\text{ч}}^p = \left(\Delta B_p \cdot \frac{Ren^{np}}{100} \right) \cdot \left(\frac{100 - N_{\text{ПП}}}{100} \right) \quad (4.20)$$

где Ren^{np} - рентабельність продаж, %

$N_{\text{ПП}}$ - ставка податків на прибуток, %

$$\Delta \Pi_{\text{ч}}^p = \left(606000 \cdot \frac{9,4}{100} \right) \cdot \left(\frac{100 - 25}{100} \right) = 56,97 \text{ тис.грн.}$$

$$\Delta \Pi_{\text{ч}} = \Delta \Pi_p^3 \cdot \frac{100 - N_{\text{ПП}}}{100} + \Delta \Pi_{\text{ч}}^p \quad (4.21)$$

$$\Delta \Pi_{\text{ч}} = 36,4 \cdot \frac{100 - 25}{100} + 56,97 = 70,02 \text{ тис. грн.}$$

Ефективність інвестицій на впровадження установки високого тиску характеризують показники: додатковий чистий прибуток; річний економічний ефект; період окупності витрат.

Річний економічний ефект складе:

$$E_{\Gamma} = (402 \cdot 0,33 + 212,7) - (560 \cdot 0,33 + 176,3) = 36,3 \text{ тис. грн.}$$

Період окупності капітальних вкладень на впровадження установки складе:

а) без урахування інфляції з урахуванням чистого прибутку:

$$ПО_1 = \frac{560 - 402}{70,02} = 2,3 \text{ роки} \quad (4.22)$$

б) з урахуванням інфляції:

$$ПО_2 = \frac{560 - 402}{52,8} = 3 \text{ роки} \quad (4.23)$$

де 52,8 тис. грн середньорічна додаткова прибуток при сформованому рівні інфляції 10,2%.

Розрахунок поточного чистого прибутку представлений в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7.

Розрахунок дисконтованого чистого прибутку

Роки	Додатковий чистий прибуток (майбутня вартість), грн.	Коефіцієнт дисконтування	Справжня вартість додаткового чистого прибутку, грн.
1-й	70018,4	0,9074	63537,6
2-й	70018,4	0,8234	57656,6
3-й	70018,4	0,7472	52320
4-й	70018,4	0,678	47477,3
5-й	70018,4	0,6153	43082,8
Усього:			264074,3
В середньому за рік			52814,8
ПО			2,99

4.5 Висновки до 4 розділу

Результати розрахунків свідчать про те, що впровадження установки для обробки печінкового паштету високим тиском економічно доцільно, оскільки знизиться енергоємність виробництва паштету та експлуатаційні витрати, що забезпечить підприємству збільшення чистого прибутку в сумі 27,3 тис.грн на рік. Крім того, за рахунок збільшення реалізації паштету чистий прибуток підприємства збільшиться на 42,7 тис.грн на рік. Зростання прибутку забезпечить окупність додаткових капітальних витрат з урахуванням інфляції за 3 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На Україні поява новітніх технологій, привнесених на підставі інтеграційних зв'язків, значно випереджує знання про них як у широкого загалу, так і у фахівців. Для широкого впровадження процесу обробки ВТ у національну харчову промисловість потрібно провести дослідження по вивченню механізму і кінетики деградації, дезактивації, деяких харчових з'єднань (наприклад, вітамінів, протеїнів, мікроорганізмів, ферментів) які викликані тиском, у продуктах які відповідають національним традиціям харчування.

2. Використання високого тиску для стерилізації продуктів харчування має потенціал, спрямований на задоволення вимог споживачів, які віддають перевагу продуктам з мінімальними наслідками такої стерилізації. Процес знезараження ВТ скорочує мікробне навантаження до того ж рівня, що досягається традиційними методами, при цьому забезпечується більш висока якість продуктів.

3. Вважається що обробка високим тиском харчових продуктів, багатих протеїнами, таких, як яйця, м'ясо або риба, обмежена, тому що високий тиск викликає денатурацію протеїнів. Однак нами виявлено тільки одну спробу застосувати високий тиск для досягнення кулінарної готовності.

4. Дослідження, що пов'язані з вивченням впливу високого тиску на фруктові соки проводяться, як правило окремо від досліджень фізико-хімічного стану соків отриманих після обробки високим тиском, хоча велика кількість публікацій вказують на те, що обробка високим тиском може призвести до втрачання обробленими соками своїх корисних властивостей.

5. Багато досліджень зроблено по визначенню параметрів процесу обробки екзотичних та делікатесних продуктів а традиційні для споживачів України продукти, які мають широкий ринок споживання практично залишились за межами уваги дослідників у цій галузі. Тому ж сприяє

поступове зниження собівартості обробки високим тиском.

6. Обробка високим тиском не залежить від часу, тобто, він діє негайно, таким чином, скорочуючи час обробки, не руйнує атомні зв'язки; отже, попереджається розвиток смаку, невластивого для продуктів, зберігається природний смак продуктів, його можна застосовувати при кімнатній температурі, таким чином, скорочуючи кількість термічної енергії,

7. Харчові ферменти й бактеріальні спори дуже стійкі до тиску й вимагають забезпечення дуже високого тиску для дезактивації. Залишкова діяльність ферментів і розчинений кисень приводять до ферментативної й окисної деградації певних компонентів продуктів.

8. Отримані математичні моделі, що враховують явища теплопередачі й переносу маси й інактивацію цільових компонентів, яка відбувається під час цих процесів, застосовні для проектування й оптимізації процесів, які ґрунтуються на комбінації термічної обробки й обробки високим тиском у харчових технологіях.

9. Результати розрахунків свідчать про те, що впровадження установки для обробки печінкового паштету високим тиском економічно доцільно, оскільки знизиться енергоємність виробництва паштету та експлуатаційні витрати, що забезпечить підприємству збільшення чистого прибутку в сумі 27,3 тис.грн на рік. Крім того, за рахунок збільшення реалізації паштету чистий прибуток підприємства збільшиться на 42,7 тис.грн на рік. Зростання прибутку забезпечить окупність додаткових капітальних витрат з урахуванням інфляції за 3 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борщевский, П. Пищевая промышленность Украины: современные тенденции и перспективы развития / Борщевский П., Сычевский Н., Троян В. // Экономика Украины. – 2003. - № 8. – С. 45-49.
2. Final report // Abstracts of the 4th World Congress, Foodborne Infections and Intoxications, Berlin, Germany, June 7-12, 1998 / ed.: Teufel P., Weise E., Arnold D. - Berlin, 1998. – P. 81-83.
3. Suzuki, A. High pressure-processed foods in Japan and the world // Trends in high pressure bioscience and biotechnology : proc. First Intern. Conf. on High Pressure Bioscience and Biotechnology, 26-30 Nov. 2000, Kyoto, Japan / ed. R. Hayashi. – Amsterdam [etc.], 2002. – P. 1-6.
4. Hite, B. H. The effect of pressure in the presentation of milk // Bull. West Virginia Agr. Experiment Station. – Morgantown, 1899. - Vol. 58. – P. 15-35.
5. Bridgman, P. W. The coagulation of albumen by pressure // The J. of biol. chemistry. – 1914. – Vol. 19. – P. 511-512.
6. Bridgman, P. W. The thermal conductivity of liquids under pressure // Proc. of the Amer. Acad. of Arts and Sciences. - 1923. – Vol. 59. – P. 141-169.
7. Knorr, D. Advantages, opportunities and challenges of high hydrostatic pressure application to food systems // High Pressure Bioscience and Biotechnology : proc. of the Intern. Conf. on High Pressure Bioscience and Biotechnology, Kyoto, Japan, 5-9 Nov. 1995 / ed. by R. Hayashi, C. Balny. - Amsterdam [etc.], 1996. – P. 279-287.
8. Packing for high-pressure treatments in the food industry / Lambert Y. [et al.] // Packing Technology and Science. - 2000. – Vol. 13, № 1. – P. 63-71.
9. Yield stress and microstructure of set yogurt made from high hydrostatic pressure-treated full fat milk / Harte F. [et al.] // J. of Food Science. - 2002. – Vol. 67, № 6. – P. 2245-2250.
10. Viscosity and Aggregation of β -Lactoglobulin under High Pressure / Baars A. [et al.] // Proceedings of the 4th International Symposium on Food Rheology and Structure. - Zürich, 2006. – P. 263–267.

11. Baars, A. Relations of diffusive momentum transport and conformational changes in aqueous beta-lactoglobulin solutions under high pressure / Baars A., Marjanovic D., Delgado A. // 3rd International Conferences on High Pressure Bioscience and Biotechnology, 27-30.09.2004, Rio de Janeiro, Brazil / ed.: J. A. Mignaco [et al.]. – [S. l.], 2005. – P. 48-54.
12. Bridgman, P. W. Water in the liquid and five solid forms under pressure // Proc. of the Amer. Acad. of Arts and Sciences. - 1912. – Vol. 47. – P. 439-558.
13. High pressure freezing and thawing of foods : a review / Le Bail A. [et al.] // Intern. J. of Refridgeration. - 2002. – Vol. 25, № 5. – P. 504-513.
14. Özmutlu, Ö. Visualization of Temperature and Velocity Fields during Phase Change of Water under High Hydrostatic Pressure / Özmutlu Ö., Hartmann C., Delgado A. // GALA 2003 - Laser Methods in Fluid Mechanics, 9-11 September 2003, Braunschweig, Germany. – [Braunschweig], 2003. – P. 87-91.
15. Momentum and Energy Transfer During Phase Change of Water under High Hydrostatic Pressure / Ferstl P. [et al.] // GAMM-Mitteilungen / Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik. - Weinheim, 2005. – Bd. 5, № 1. – S. 595-596.
16. Masson, P. High-pressure biotechnology in medicine and pharmaceutical science : review article / Masson P., Tonello C., Balny C. // J. of Biomedicine and Biotechnology. - 2001. - № 1/2. – P. 85-88.
17. The use of hydrostatic pressure as a tool to study viruses and other macromolecular assemblages / Silva J. L. [et al.] // Current Opin. Struct. Biol. - 1996. – Vol. 6. – P. 166-175.
18. Effects of hydrostatic pressure on a membrane-enveloped virus: high immunogenicity of the pressure-inactivated virus / Silva C. [et al.] // J. of Virology. - 2001. – Vol. 66, № 4. – P. 2111-2117.
19. Silva, J. L. Pressure-induced dissociation of brome mosaic virus / Silva J. L., Weber G. // J. of Molecular Biology. - 1988. – Vol. 199, № 1. – P. 149-159.
20. Inactivation of simian immunodeficiency virus by hydrostatic

pressure / Jurkiewicz E. [et al.] // Proc. of the Nat. Acad. of Sciences of the USA. – Washington, 1995. – Vol. 92, № 15. – P. 6935-6937.

21. Study of inactivation and immunogenicity of Rift valley fever virus type clone 13 treated by high hydrostatic pressure / Perche P. Y. [et al.] // The Amer. J. of tropical medicine and hygiene. - 1997. – Vol. 57, № 3. – P. 457-458.

22. High hydrostatic pressure inactivated human tumour cells preserve their immunogenicity / Korn A. [et al.] // Cellular and Molecular Biology. - 2004. – Vol. 50, № 4. – P. 469-477.

23. Silva, J. L. Pressure provides new insights into protein folding, dynamics and structure / Silva J. L., Foguel D., Royer C. A. // Trends in Biochemical Sciences. - 2001. – Vol. 26. – P. 612-618.

24. Smelt, J. P. P. M. Recent advances in the microbiology of high pressure processing // Trends in Food Science and Technology. - 1998. - Vol. 9, № 4. – P. 152-158.

25. Hinrichs, J. 2000. Ultrahochdruckbehandlung von Lebensmitteln mit Schwerpunkt Milch und Milchprodukte: Phänomene, Kinetik und Methodik / J. Hinrichs. - Düsseldorf : VDI, 2000. – 220 p.

26. Kinetic studies on high pressure inactivation of *Bacillus stearothermophilus* spores suspended in food matrices / Ananta E. [et al.] // Innovative Food Science and Emerging Technologies. - 2001. - Vol. 2, № 4. – P. 261-272.

27. Ganzle, M. G. High pressure inactivation of *Lactobacillus plantarum* in a model beer system / Gänzle M. G., Ulmer H. M., Vogel R. F. // J. of Food Science. - 2001. – Vol. 66, № 8. – P. 1174-1181.

28. Ganzle, M. G. On-line Fluorescent determination of pressure mediated outer membrane damage in *Escherichia coli* / Gänzle M. G., Vogel R. F. // Systematic and Appl. Microbiology. - 2001. – Vol. 24, pt. 4. – P. 477-485.

29. Lipxygenase inactivation in green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) due to high pressure treatment at subzero and elevated temperatures / Indrawati I. [et al.] // J. of Agr. and Food Chemistry. - 2000. – Vol. 48, pt. 5. – P. 1850-1859.

30. Thermal and high-pressure inactivation of tomato polygalacturonase: a kinetic study / Fachin D. [et al.] // *J. of Food Science.* - 2002. – Vol. 67, № 5. – P. 1610-1615.
31. Kinetic parameters for temperature-pressure inactivation of *Bacillus subtilis* α -amylase under dynamic conditions / Ludikhuyze L. [et al.] // *Biotechnology Progress.* – 1997. – Vol. 13, № 5. – P. 617-623.
32. Kinetics for isobaric-isothermal inactivation of *Bacillus subtilis* α -amylase / Ludikhuyze L. [et al.] // *Biotechnology Progress.* – 1997. - Vol. 13, № 5. – P. 532-538.
33. Modelling conductive heat transfer and process uniformity during batch high-pressure processing of foods / Denys S. [et al.] // *Trends in high pressure bioscience and biotechnology* / ed. H. Ludwig. - Berlin, 1999. – P. 381-384.
34. Denys, S. A modelling approach for evaluating process uniformity during batch high hydrostatic pressure processing: combination of a numerical heat transfer model and enzyme inactivation kinetics / Denys S., Van Loey A. M., Hendrickx M. E. // *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* – 2000. – Vol. 1, № 1. – P. 5-19.
35. Сохранение витамина С в процессах пастеризации продуктов питания сверхвысоким давлением / Шаталов В. М. [и др.] // *Харчові добавки. Харчування здорової та хворої людини : зб. тез I міжнар. і міжгалуз. наук.-практ. конф., (8-9 квіт. 2005 р.) / Донец. держ. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського.* – Донецьк, 2005. – С. 249-251.
36. Delgado, A. Pressure treatment of food: instantaneous but not homogeneous effect / Delgado A., Hartmann C. // *International conference on high pressure bioscience and biotechnology, Dortmund, Germany, 2002, Sept.* – [S. 1.], 2003. – P. 459-464.
37. Earnshaw, R. High pressure food processing // *Nutrition and Food Science.* – 1996. - № 2. – P. 8–11.
38. Butz, P. Food chemistry under high hydrostatic pressure / Butz P., Tauscher B. // *High pressure food science, bioscience and chemistry, Reading, 7-*

11 Sept. 1997 / ed. Isaacs N. S. - Cambridge, 1998. – P. 133-144.

39. Yayanos, A. A. Empirical and theoretical aspects of life at high pressures in the deep sea // *Extremophiles* / ed.: Horikoshi K., Grant W. D. - New York, 1998. - P. 47-92.

40. Mertens, B. Hydrostatic pressure treatment of food: equipment and processing // *New Methods of Food Preservation* / ed. Gould G. W. - Glasgow [etc.], 1995. - P. 135-158.

41. Rovere, P. Industrial-scale high pressure processing of foods // *Ultra High Pressure Treatments of Foods* / ed.: Hendrickx M., Knorr D. - New York [etc., 2001]. - P. 251-268.

42. High pressure equipment designs for food processing applications / Van den Berg R. W. [et al.] // *Ultra High Pressure Treatments of Foods* / ed.: Hendrickx M., Knorr D. - New York [etc., 2001]. - P. 23-51.

43. Styles, M. F. Response of *Listeria monocytogenes* and *Vibrio parahaemolyticus* to high hydrostatic pressure / Styles M. F., Hoover D. G., Farkas D. F. // *J. of Food Science*. – 1991. – Vol. 56, № 5. – P. 1404-1407.

44. Effects of high pressure on vegetative pathogens / Patterson M. F. [et al.] // *High Pressure Processing of Foods* / ed.: Ledward D. A. [et al.]. – Nottingham, 1995. - P. 47-64.

45. Torres, J. A. Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods / Torres J. A., Velazquez G. // *J. of Food Engineering*. – 2005. - Vol. 67, № 1/2. – P. 95-112.

46. Hamada, K. Direct induction of tetraploids or homozygous diploids in the industrial yeast *saccharomyces cerevisiae* by hydrostatic pressure / Hamada K., Nnakatomi Y., Shimada S. // *Current Genetics*. – 1992. – Vol. 22, № 5. – P. 371-376.

47. High pressure transient sensitization of *Escherichia coli* to lysozyme and nisin by disruption of outer-membrane permeability / Hauben K. J. A. [et al.] // *J. of Food Protection*. – 1996. – Vol. 59, № 4. – P. 350-355.

48. MacDonald, A. G. Effects of high hydrostatic pressures on natural and artificial membranes // *High Pressure and Biotechnology* / ed.: Balny C. [et al.]. –

London, 1992. - P. 67-75.

49. Steeg, P. T. Synergistic actions of nisin, sublethal ultrahigh pressure, and reduced temperature on bacteria and yeast / Steeg P. T., Hellemons J. C., Kok A. // *Appl. and environmental microbiology*. – 1999. – Vol. 65, pt. 9. – P. 4148-4154.

50. Simpson, R. K. The effect of high hydrostatic pressure on the activity of intracellular enzymes of *Listeria monocytogenes* / Simpson R. K., Gilmour A. // *Letters in appl. microbiology*. – 1997. – Vol. 25, № 1. – P. 48-53.

51. Wouters, P. Effects of high pressure on inactivation kinetics and events related to proton efflux in *Lactobacillus plantarum* / Wouters P., Glaasker E., Smelt J. P. P. M. // *Appl. and environmental microbiology*. – 1998. – Vol. 64, pt. 2. – P. 509-514.

52. Sale, A. J. H. Inactivation of bacterial spores by hydrostatic pressure / Sale A. J. H., Gould G. W., Hamilton W. A. // *Microbiology*. – 1970. – Vol. 60, № 3. – P. 323-334.

53. Comparative study of pressure and nutrient-induced germination of *Bacillus subtilis* spores / Wuytack E. Y. [et al.] // *Appl. and environmental microbiology*. – 2000. – Vol. 66, pt. 1. – P. 257-261.

54. Clouston, J. G. Kinetics of germination and inactivation of *Bacillus pumilus* spores by hydrostatic pressure / Clouston J. G., Wills P. A. // *J. of bacteriology*. – 1970. – Vol. 103, № 1. – P. 140-143.

55. Heinz, V. High pressure germination and inactivation kinetics of bacteria spores / Heinz V., Knorr D. // *High pressure food science, bioscience and chemistry*, Reading, 7-11 Sept. 1997 / ed. Issacs N. S. – Cambridge, 1998. - P. 435-441.

56. Heinz, V. Effects of high pressure on spores / Heinz V., Knorr D. // *Ultra High Pressure Treatments of Foods* / ed.: Hendrickx M., Knorr D. - New York [etc., 2001]. - P. 77-113.

57. Murrell, W. G. Initiation of *Bacillus* spore germination by hydrostatic pressure: effect of temperature / Murrell W. G., Wills P. A. // *J. of bacteriology*. – 1977. – Vol. 129, № 3. – P. 1272-1280.

58. Changes in tea components during processing and preservation of tea extracts by hydrostatic pressure sterilization / Kinugasa H. [et al.] // J. of the Agr. Chem. Soc. of Japan. – 1992. – Vol. 66, № 4. – P. 707-712.

59. Kowalski, E. Hydrostatic high pressure to sterilize food. 1. Application to pepper (*Piper nigrum* L.) / Kowalski E., Ludwig H., Tauscher B. // DDR Lebensmittel-Rundschau. – 1992. - Bd. 88, № 3. – S. 74-76.

60. Seyderhelm, I. Reduction of *Bacillus stearothermophilus* spores by combined high pressure and temperature treatments / Seyderderholm I., Knorr D. // ZFL. Intern. Ztchr. fuer Lebensmitteltechnologie und Verfahrenstechnik. – 1992. – Vol. 43, № 4. – P. 17-20.

61. Application of high pressure for spore inactivation and protein denaturation / Hayakawa I. [et al.] // J. of Food Science. – 1994. – Vol. 59, № 1. – P. 159-163.

62. Knorr, D. Hydrostatic pressure treatment of food: microbiology // New Methods of Food Preservation / Knorr D. ; ed. Gould G. W. – Glasgow, 1995. – P. 159-175.

63. Hoover, D. G. Pressure effects on biological systems // Food Technology. – 1993. – Vol. 47, № 6. – P. 150-155.

64. Horie, Y. Development of a new fruit processing method by high hydrostatic pressure / Horie Y., Kimura K., Hori K. // J. of the Agr. Chem. Soc. of Japan. – 1991. – Vol. 65, № 10. – P. 1469-1474.

65. Pulsed ultra high pressure treatments for pasteurization of pineapple juice / Aleman G. D. [et al.] // J. of Food Science. – 1996. – Vol. 61, № 2. – P. 388-390.

66. Garcia-Graells, C. High-pressure inactivation and sublethal injury of pressure-resistant *Escherichia coli* mutants in fruit juices / Garcia-Graells C., Hauben K. J. A., Michiels C. W. // Appl. and environmental microbiology. – 1998. – Vol. 64, pt. 4. – P. 1566-1568.

67. Linton, M. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in orange juice using a combination of high pressure and mild heat / Linton M., McClements J. M.

J., Patterson M. F. // J. of Food Protection. – 1999. – Vol. 62, № 3. – P. 277-279.

68. High pressure inactivation kinetics of *Saccharomyces cerevisiae* ascospores in orange and apple juices / Zook C. D. [et al.] // J. of Food Science. – 1999. – Vol. 64, № 3. – P. 533-535.

69. High pressure response of fruit jams contaminated with *Listeria monocytogenes* / Prerstamo G. [et al.] // Letters in appl. microbiology. – 1999. – Vol. 28, № 4. – P. 313-316.

70. Ultra-high pressure pasteurization of fresh cut pineapple / Aleman G. D. [et al.] // J. of Food Protection. – 1994. – Vol. 57, № 10. – P. 931-934.

71. Parish, M. E. High pressure inactivation of *saccharomyces cerevisiae*, endogenous microflora and pectinmethylestrase in orange juice // J. of Food Protection. – 1998. – Vol. 18, № 1. – P. 57-65.

72. Effects of high pressure on inactivation of enzymes and microorganisms in nonpasteurized rice wine (namazake) / Hara A. [et al.] // Nippon Nogeikagaku Kaishi. – 1990. - Vol. 64, pt. 5. – P. 1025-1030.

73. Arroyo, G. Effect of high pressure on the reduction of microbial populations in vegetables / Arroyo G., Sanz P. D., Prestamo G. // J. of Appl. Microbiology. – 1997. – Vol. 82, № 6. – P. 735-742.

74. Effect of high hydrostatic pressure on the shelf life and sensory characteristics of Angelica keiskei juice / Lee D. U. [et al.] // Korean J. of Food Science and Technology. – 1996. – Vol. 28, № 1. – P. 105-108.

75. Sohn, K. H. Effect of high pressure treatment on the quality and storage of kimchi / Sohn K. H., Lee H. J. // Intern. J. of Food Science and Technology. – 1998. – Vol. 33, № 4. – P. 359-365.

76. Eshtiaghi, M. N. Potato cube response to water blanching and high hydrostatic pressure / Eshtiaghi M. N., Knorr D. // J. of Food Science. – 1993. – Vol. 58, № 6. – P. 1371-1374.

77. Гоникберг, М. Г. Химическое равновесие и скорость реакции при высоких давлениях / Гоникберг М. Г. – М. : Химия, 1969. – 427 с.

78. Pressure induced inactivation of selected food enzymes / Seyderhelm

I. [et al.] // J. of Food Science. – 1996. – Vol. 61, № 2. – P. 308-310.

79. Inactivation of *Listeria innocua* inoculated in liquid whole egg by high hydrostatic pressure / Ponce E. [et al.] // J. of Food Protection. – 1998. – Vol. 61, № 1. – P. 119-122.

80. Dong-Un, L. Application of combined non-thermal treatments for the processing of liquid whole egg : Dissertation / Dong-Un L. – Berlin, 2002. – 167 s.

81. Bacterial growth during chilled storage of pressure-treated minced meat / Carlez A. [et al.] // Lebensmittel Wiss. und Technologie. – 1994. – Bd. 27, № 1. – S. 48-54

82. O'Brien, J. K. Microbiological quality of raw ground chicken processed at high isostatic pressure / O'Brien J. K., Marshall R. T. // J. of Food Protection. – 1996. – Vol. 59, № 2. – P. 146-150.

83. Chicken mechanical deboned meat high pressure processed. Second part: effect on proteins and shelf-life / Rovere P. [et al.] // High pressure research in the biosciences and biotechnology / ed. Heremans K. – Leuven, 1997. - P. 459-462.

84. High pressure inactivation of *Citrobacter freundii*, *Pseudomonas fluorescens* and *Listeria innocua* inoculated minced beef muscle / Carlez A. [et al.] // Food Science and Technology. - 1993. – Vol. 26, № 4. – P. 357-363.

85. Zenker, M. Hydrostatischer Hochdruck zur Erhoehungder Mikrobiellen Sicherheit streichfaehiger Rohwuerste / Zenker M., Heinz V., Knorr D. // LVT. – 2000. – Bd. 45, № 2. – S. 89-92.

86. Linton, M. Changes in the microbiological quality of vacuum-packaged, minced chicken treated with high hydrostatic pressure / Linton M., McClements J. M. J., Patterson M. F. // Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2004. – Vol. 5, № 2. – P. 151-159.

87. Microbio-logical quality of mechanically recovered poultry meat treated with high hydrostatic pressure and nisin / Yuste J. [et al.] // Food Microbiology. – 1998. – Vol. 15, № 4. – P. 407-414.

88. High-pressure processing applied to cooked sausages: bacterial populations during chilled storage / Yuste J. [et al.] // J. of Food Protection. –

2000. – Vol. 63, № 8. – P. 1093-1099.

89. Application of high-pressure processing and nisin to mechanically recovered poultry meat for microbial decontamination / Yuste J. [et al.] // *Food Control*. – 2002. – Vol. 13, № 6/7. – P. 451-455.

90. Effects of high hydrostatic pressure on characteristics of pork slurries and inactivation of microorganisms associated with meat and meat products / Shigehisa T. [et al.] // *Intern. J. of Food Microbiology*. – 1991. – Vol. 12, № 2/3. – P. 207-216.

91. Effects of high pressure on vegetative pathogens / Patterson M. F. [et al.] // *High Pressure Processing of Foods* / ed.: Ledward D. A. [et al.]. - Nottingham, 1995. - P. 47-64.

92. Ohshima, T. High pressure processing of fish and fish products / Ohshima T., Ushio H., Koizumi C. // *Trends in Food Science and Technology*. – 1993. – Vol. 4, № 11. – P. 370-375.

93. Changes of freshness indexes and bacterial flora during storage of pressurized mackerel / Fuji T. [et al.] // *J. Food Hygienic soc. of Japan*. – 1994. – Vol. 35, № 2. – P. 195-200.

94. Extension of the shelf life of prawns (*Penaeus japonicus*) by vacuum packaging and high-pressure treatment / Lopez-Caballero M. E. [et al.] // *J. of Food Protection*. – 2000. – Vol. 63, № 10. – P. 1381-1388.

95. Microbial and chemical shelf life of high pressure treated salmon cream at refrigeration temperatures / Capri G. [et al.] // *Ind. Conserve*. – 1995. – Vol. 70. – P. 386-397.

96. Дослідження впливу високого тиску на фізико-хімічні та біохімічні властивості печінкових паштетів / Сукманов В. О., Соколов С. А., Севаторов М. М., Приходько І. В. // *Зб. наук. пр. Луган. нац. аграр. ун-ту. Сер. Техн. науки*. – Луганськ, 2005. – Вип. 49. - С. 262-267

97. Сукманов, В. О. Методико-апаратурне забезпечення дослідження процесу обробки високим тиском печінкових паштетів / Сукманов В. О., Соколов С. А., Севаторов М. М. // *Прогресивні техніка та технології*

харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Х., 2005. – Вип. 1. - С. 184-190.

98. Севаторов, М. М. Вплив високого тиску на мікробіологічні показники печінкових паштетів // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / Донец. держ. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. - Донецьк, 2005. – Вип. 12, т. 1. – С. 184-189.

99. Исследование спектральных характеристик пива, обработанного высоким давлением / Сукманов В. А., Соколов С. А., Ивченко Л. А., Букин Г. В. Дебелый В. Л. // Материалы межвузовской научно- практической конференции «Проблемы техники и технологии пищевых производств» / Полтав. ун-т потребит. кооперации Украины. - Полтава, 2004. – С. 155-160.

100. Оптимизация параметров обработки продуктов питания верхвысоким давлением / Шаталов В. М., Сукманов В. А., Соколов С. А., Нога И. В., Жданов И. В., Волкова А. В. // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона : межведомств. сб. науч. работ / Донец. нац. ун-т. - Донецк, 2003. - № 3. - С. 238-247.

101. Сохранение витамина С в процессах пастеризации продуктов питания сверхвысоким давлением / Шаталов В. М. [и др.] // Харчові добавки. Харчування здорової та хворої людини : зб. тез 1 міжнар. і міжгалуз. наук.-практ. конф., (8-9 квіт. 2005 р.) / М-во освіти і науки України, Донец. держ. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. — Донецьк, 2005. - С.249-251.

102. Кинетическая модель деградации биомолекул под воздействием высокого давления и температуры / Сукманов В. А. [и др.] // Физика и техника высоких давлений. - 2004. - Т. 14, № 2. - С. 74-85.

103. Шаталов, В. М. Теоретическая модель воздействия сверхвысоких давлений в технологии производства продуктов питания / Шаталов В. М., Сукманов В. А., Соколов С. А. // Управление развитием сложных систем [Электронный ресурс] / Ассоц. развития образоват. и науч. сетей. – Электрон. журн. – [Донецк], сор. 2003. – Режим доступа:

http://www.desa.donbass.com/html_rus/conferences/mcsd-03/fundament_2.htm. -

Загл. с экрана.

104. Вплив обробки високим тиском на структурно-механічні властивості вершкового масла / Соколов С. А., Сукманов В. О., Федосєєва А. А., Каніболоцька Л. В., Солярова О. С., Шендрик А. Н. // Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка : тези доп. міжнар. наук.-тех. конф., 8-9 верес. 2005 р., Святогірськ / Донец. держ. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. — Донецьк, 2005. — С. 65-68.

105. Исследование энергозатрат на процесс обработки вареных колбас высоким давлением / Сукманов В. А., Соколов С. А., Иванченко А. В., Красногрудов А. В. // Потребительский рынок: качество и безопасность товаров и услуг : материалы IV междунар. науч.-практ. конф., 4-5 дек. 2007 г. / Орлов. гос. техн. ун-т. — Орел, 2007. — С. 165-167.

106. Сукманов, В. Высокое давление – инновационные технологии 21 века в пищевых технологиях / В. Сукманов, Ю. Петрова, С. Соколов // 15th International Conference on control, development and applied informatics in business and economics (CDAIBE`08), Brasov, Romania, 10-12 Nov. 2008. — Brasov, 2008. - P. 351-366.

107. [Высокое давление – инновационные технологии 21 века в пищевых технологиях] / V. Sukmanov, J. Petrova, S. Sokolov, O. Dekan. - Bucharest : Editura Didactica si Pedagogica, 2008. – 25 s.

108. Експериментальні дослідження впливу надвисокого тиску на стійкість пива / Соколов С. А., Афенченко Д. С., Шульга А. В., Дебелий В. Л. // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / Донец. держ. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. - Донецьк, 2003. – Вип. 8. – С. 172–177.

109. Effects of high pressurization on the growth of bacteria drived from surimi (fish paste). Nippon Shpkuhin Kogyo Gakkaishi / Miyao S. [et al.] // J. of Japan Soc. Food Science and Technology. – 1993. – Vol. 40, № 7. – P. 478-484.

110. Patterson, M. F. The combined effect of high hydrostatic pressure and mild heat on inactivation of pathogens in milk and poultry / Patterson M. F., Kilpatrick D. J. // *J. of Food Protection*. – 1998. – Vol. 61, № 4. – P. 432-436.

111. Microbiological and chemical changes in high-pressure-treated milk during refrigerated storage / Garcia-Risco M. R. [et al.] // *J. of Food Protection*. – 1998. – Vol. 61, № 6. – P. 735-737.

112. Gallot-Lavallere, T. Effectiveness of high pressure treatment for destruction of *Listeria monocytogenes* in raw milk goat cheese // *Sciences des Aliments*. – 1998. – Vol. 18, pt. 6. – P. 647–655.

113. Soybean vegetable protein (tofu) preserved with high pressure / Prerstamo G. [et al.] // *J. of Agr. and Food Chemistry*. – 2000. – Vol. 48, pt. 7. – P. 2943-2947.

114. Linton, M. Survival of *Escherichia coli* O157:H7 during storage in pressure-treated orange juice / Linton M., McClements J. M. J., Patterson M. F. // *J. of Food Protection*. – 1999. – Vol. 62, № 9. – P. 1038-1040.

115. Oxen, P. Baroprotective effects of high solute concentrations against inactivation of *Rhodotorula rubra* / Oxen P., Knorr D. // *Lebensmittel Wiss. und Technologie*. – 1993. – Bd. 26, № 3. – S. 220-223.

116. Волков О.И, Скляренко В.К. Экономика предприятия. - М.: ИНФРА-М, 2001.