

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій  
Кафедра Технології м'яса і м'ясних продуктів**

**«До захисту в ЕК»**  
Директор інституту(декан факультету)  
Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО  
(підпис) (ім'я, прізвище)

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри  
Василь ПАСІЧНИЙ  
(підпис) (ім'я, прізвище)

«  » \_\_\_\_\_ 2025 р.

«  » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР**

зі спеціальності \_\_\_\_\_ 181 «Харчові технології» \_\_\_\_\_  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Технології зберігання, консервування та переробки м'яса»

на тему: Удосконалення технології м'ясних виробів з яловичини шляхом застосування ультразвукової обробки.

Виконав: здобувач 2 курсу, групи МЯ-2-1М  
Шеховцов Семен Васильович  
(прізвище, ім'я та по-батькові повністю) \_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник Топчій Оксана Анатоліївна  
(прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_ (підпис)  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)  
(прізвище та ініціали)

Рецензент Грек О. В.  
(прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Я як здобувач (ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач \_\_\_\_\_ (підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра Технології м'яса і м'ясних продуктів

Освітній ступінь Магістр

Спеціальність 181 «Харчові технології»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Технології зберігання, консервування та переробки м'яса»

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри  
технології м'яса і м'ясних  
продуктів**

**Василь ПАСІЧНИЙ**  
“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

**Шеховцов Семен Васильович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології м'ясних виробів з яловичини шляхом застосування ультразвукової обробки.

керівник роботи Топчій Оксана Анатоліївна, к.т.н., доцент кафедри ТММП

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “10”жовтня 2025 року №832-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 28 листопада 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: аналіз наукових літературних джерел за напрямком ультразвукової обробки м'ясної сировини, завдання кафедри.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Анотація. Розділ 1. Аналіз літературних джерел за напрямком наукових досліджень. Розділ 2. Методологія проведення досліджень. Розділ 3. Результати досліджень. Розділ 4. Охорона праці заданого виробництва. Розділ 5. Техніко-економічні показники ефективності наукової розробки. Висновки та рекомендації. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу презентація до кваліфікаційної роботи

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	К.т.н., доцент кафедри Топчій О.А.		
Розділ 2	К.т.н., доцент кафедри Топчій О.А.		
Розділ 3	К.т.н., доцент кафедри Топчій О.А.		
Розділ 4. Охорона праці заданого виробництва	К.т.н., доцент кафедри Топчій О.А.		
Розділ 5. Техніко-економічні показники ефективності наукової розробки	К.т.н., доцент кафедри Топчій О.А.		

7. Дата видачі завдання 04.11.2025

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір, вивчення та аналіз літературних джерел за темою роботи	04.11.2025	
2	Складання і затвердження розгорнутого плану	06.11.2025	
3	Написання огляду літератури	08.11.2025	
4	Складання програми та підбір методів досліджень	10.11.2025	
5	Виконання експериментальної частини роботи	12.11.2025	
6	Складання розрахунково-графічної частини, ілюстрацій та додатків	14.11.2025	
7	Оформлення текстової частини роботи	18.11.2025	
8	Подання роботи науковому керівнику	21.11.2025	
9	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій керівника	23.11.2025	
10	Подання завершеної роботи на кафедру	28.11.2025	
11	Зовнішнє рецензування роботи	10.12.2025	

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Семен ШЕХОВЦОВ**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Оксана ТОПЧІЙ**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## Зміст

Перелік умовних скорочень.....	5
Анотація .....	6
Вступ .....	10
Розділ 1. Аналіз літературних джерел за напрямом наукових досліджень.....	13
1.1 Актуальність розширення асортименту виробів з яловичини.....	13
1.2 Характеристика яловичини, її хімічний склад та біологічна цінність.....	17
1.3 . Поняття, сутність та вплив ультразвукової обробки на м'ясну сировину.....	21
Висновок за розділом 1 .....	28
Розділ 2. Методологія проведення досліджень.....	30
2.1 Мета та завдання, об'єкт та предмети досліджень.....	30
2.2 Схема проведення досліджень .....	32
2.3 Матеріали, обладнання та методики досліджень.....	34
2.4. Математично-статистичне оброблення результатів досліджень .....	46
Висновок до розділу 2.....	47
Розділ 3. Результати досліджень.....	48
3.1. Дослідження впливу ультразвукової кавітації на яловичину та підбір ефективних режимів ультразвукової обробки.....	48
3.2. Статистична обробка даних pH та ВУЗ.....	56
3.3. Інноваційний підхід у виробництві солених виробів з яловичини.....	63
Висновки за розділом 3 .....	70
Розділ 4. Охорона праці заданого виробництва.....	74
Розділ 5. Техніко-економічні показники ефективності Наукової розробки.....	77
Висновки та рекомендації .....	80
Список використаних джерел .....	83
Додатки .....	89

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЖУЗ	Жирутримуюча здатність
ВУЗ	Вологоутримуюча здатність
ВЗЗ	Вологозв'язуюча здатність
pH	Водневий фактор
АВ	Активність води
ПФЕ	Повний факторний експеримент
РР	Рівняння регресії
НЗС	Нітритно-засолювальна суміш
УЗК	Ультразвукова кавітація
УО	Ультразвукова обробка
ОП	Органолептичні показники
СМВ	Структурно-механічні властивості
ФХП	Фізико-хімічні показники
БЄ	Буферна ємність
ГММ	Гравіметричний метод
НоReCa	Сфера гостинності та громадського харчування
ЗВВ	Загально-виробничі витрати
ПДВ	Податок на додану вартість

## АНОТАЦІЯ

Шеховцов С. В. Дослідження з удосконалення технології м'ясних виробів з яловичини шляхом застосування ультразвукової обробки. Випускова кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» спеціальності «181 Харчові технології» освітньо-професійної програми «Технології зберігання, консервування та переробки м'яса»

У першому розділі висвітлено актуальність теми та проведено аналітичний огляд сучасної наукової літератури, яка стосується актуальних способів виробництва солоних продуктів з яловичини. Розглянуто наукові підходи до використання ультразвукових технологій у м'ясопереробній промисловості, а також обґрунтовано необхідність їх застосування для покращення якісних характеристик готової продукції.

Другий розділ містить опис програми, методів і схем експериментальних досліджень. Подано методи визначення фізико-хімічних показників сировини, вологоутримуючої здатності, вологовмісту, активності води, буферної ємності, водорозчинних білків, солерозчинних білків, кількості жиру, рН. Окреслено застосування повного факторного експерименту, у межах якого варіювали ультразвукову обробку, температуру, кількість нітритно-засолювальної суміші.

У третьому розділі наведено результати досліджень щодо впливу ультразвуку на перебіг фізико-хімічних процесів під час засолювання та сушіння яловичини. Описано зміни вологоутримуючої здатності, втрат маси та активності води у виробах з яловичини після тривалого сушіння. Встановлено характер взаємодії досліджуваних факторів і визначено оптимальні технологічні режими, що забезпечують зменшення втрати вологи та стабільні показники якості.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та техніки безпеки під час експлуатації обладнання.

У роботі сформульовано висновки, практичні рекомендації та пропозиції щодо впровадження ультразвукової обробки як інноваційного технологічного етапу у виробництві солоних виробів з яловичини. Підтверджено її

ефективність у покращенні вологоутримувальної здатності м'яса, зниженні втрат маси та стабілізації якості готового продукту.

Випускова кваліфікаційна робота включає 89 сторінок тексту, містить 19 таблиць, 12 рисунків, 10 діаграм, 1 графік, 5 додатків, список з 60 літературних джерел.

**Метою** кваліфікаційної роботи є удосконалення технології м'ясних виробів з яловичини шляхом застосування ультразвукової обробки.

**Об'єкт дослідження** - розроблення нового способу виробництва сирокопченої яловичини за допомогою використання ультразвукової обробки.

**Предмет дослідження** – м'ясо яловичини, ультразвукова кавітація та її вплив на фізико-хімічні та структурно-механічні властивості м'ясної сировини.

**Методи досліджень** – для досягнення заданої мети використовувалися фізико-хімічні, органолептичні, структурно-механічні та математично-статистичні методи досліджень.

*Ключові слова:* яловичина, ультразвукова обробка, ультразвукова кавітація, солені вироби.

## **ABSTRACT**

Shekhovtsov S.V. Research on improving the technology of beef meat products through the application of ultrasonic treatment. Graduate qualification work for obtaining the educational degree “Master” in the specialty “181 Food Technologies” of the educational and professional program "Technologies of storage, preservation and processing of meat“.

The first section highlights the relevance of the topic and provides an analytical review of modern scientific literature related to current methods of producing salted beef products. Scientific approaches to the use of ultrasonic technologies in the meat-processing industry are considered, as well as the necessity of their application for improving the quality characteristics of the finished products is substantiated.

The second section contains a description of the program, methods, and schemes of experimental research. The procedures for determining the physicochemical parameters of raw materials, water-holding capacity, moisture content, water activity, buffer capacity, water-soluble proteins, salt-soluble proteins, fat content and pH are presented. The application of a full factorial experiment is outlined, within which ultrasonic treatment, temperature, and the amount of nitrite-salting mixture were varied.

The third section presents the research results regarding the influence of ultrasound on the course of physicochemical processes during curing and drying of beef. Changes in water-holding capacity, weight loss, and water activity in dry-cured products after prolonged drying are described. The nature of the interaction of the studied factors is established and optimal technological regimes that ensure reduced moisture loss and stable quality indicators are determined.

The fourth section addresses issues of labor protection and safety during equipment operation.

The work formulates conclusions, practical recommendations, and proposals for implementing ultrasonic treatment as an innovative technological stage in the production of salted beef products. Its effectiveness in improving the water-holding

capacity of meat, reducing weight loss, and stabilizing the quality of the finished product is confirmed.

The graduate qualification work includes 89 pages of text, contains 19 tables, 10 figures, 10 diagrams, 1 graph, 5 appendices, and a list of 60 literary sources.

**The purpose of the qualification work** is to improve the technology of beef meat products through the application of ultrasonic treatment.

**The object of research** is the development of a new method for producing dry-cured beef using ultrasonic treatment.

**The subject of research** is beef meat, ultrasonic cavitation, and its influence on the physicochemical and structural-mechanical properties of meat raw materials.

**Research methods** - to achieve the stated goal, physicochemical, organoleptic, structural-mechanical, and mathematical-statistical research methods were used.

Keywords: beef, ultrasonic treatment, ultrasonic cavitation, salted products.

## ВСТУП

М'ясна промисловість є стратегічно важливою галуззю харчової індустрії, яка забезпечує населення високоякісними продуктами з високим вмістом повноцінних білків незамінних амінокислот, мінеральних речовин та вітамінів. Яловичина посідає ключове місце серед видів м'яса завдяки своїм харчовим та біологічним властивостям, проте технології її переробки залишаються складними через особливості структури м'язової тканини, значну частку сполучної тканини в окремих відрубках, та високу чутливість до коливань технологічних параметрів. У цих умовах актуальним є пошук інноваційних підходів, спрямованих на підвищення ефективності переробки, стабілізацію якості та оптимізацію традиційних технологічних процесів.

Одним із перспективних напрямів сучасної харчової технології є використання фізичних методів інтенсифікації, зокрема ультразвукової обробки. Ультразвукова кавітація створює високоенергетичні мікропотоки кома імпульсні тиски та локальні мікроривбухи, які можуть змінювати структуру м'язових білків, прискорювати дифузійні процеси, покращувати проникнення засоловальних компонентів та підвищувати вологоутримуючу здатність сировини. Такий вплив дозволяє пом'якшувати структуру яловичини, робити її більш соковитою та рівномірною, а також забезпечувати формування стабільних якостей готової продукції [2].

Особливо важливого значення набуває застосування ультразвукових технологій щодо яловичини не преміальних відрубів. Саме ці частини туші, які традиційно мають нижчу кулінарну та промислову цінність, жорсткішу структуру та потребують тривалішої теплової чи ферментативної обробки, становлять значний ресурс, який часто використовується не ефективно.

Ультразвукова обробка відкриває можливість перетворення таких відрубів у продукти високої якості, зі збереженням поживних речовин і покращеним засвоюванням корисних компонентів крапка Це дозволяє розширити асортимент продукції та підвищити економічну ефективність виробництва завдяки раціональному використанню сировини.

Крім покращення консистенції та органолептичних властивостей, ультразвукова кавітація сприяє формуванню продуктів із подовженим терміном зберігання оскільки її застосування впливає на активність води, структуру білків і проникність клітинних мембран, що у підсумку забезпечує кращу мікробіологічну стабільність. Зниження активності води, рівномірне проникнення солі та формування щільної структури є ключовими чинниками у виробництві солених виробів тривалого зберігання.

У сучасних реаліях України питання виробництво м'ясних продуктів із тривалим терміном зберігання, високою поживною цінністю та стабільним органолептичними характеристиками набуває особливої актуальності. Часті аварійні вимкнення електроенергії, необхідність тривалого перебування у сховищах, укриттях, шанцях, а також забезпечення харчування військових підрозділів, рятувальних служб або цивільного населення в екстремальних ситуаціях - усе це формує підвищений попит на продукти, здатні зберігатися тривалий час та при цьому залишатися безпечними поживними та зручними у використанні. Розроблення технології сирокоченої яловичини з використанням ультразвукової обробки є перспективним рішенням для виробництва витривалих до зберігання, високоякісних і поживних м'ясних виробів, які можуть бути корисними як у побутових умовах, так і під час надзвичайних ситуацій.

Незважаючи на розвиток технологій м'ясо переробки, вивчення впливу ультразвукової кавітації на структуру та властивості яловичини, особливо в контексті виробництва солених виробів, є недостатньо висвітленим. Суперечливість літературних даних, різноманіття режимів ультразвуку, а також специфічні властивості саме яловичини потребують проведення системних досліджень із застосуванням математичного планування експерименту.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення технологій м'ясних виробів з яловичини шляхом застосування ультразвукової обробки та визначення оптимальних технологічних параметрів цього процесу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- здійснити ґрунтовний аналіз наукових джерел щодо застосування ультразвукової технології у переробці м'ясної сировини;
- дослідити фізико-хімічні характеристики яловичини та визначити їх зміну під впливом ультразвукової кавітації ;
- встановити вплив різних рівнів концентрації нітритної солі температури та тривалості ультразвукової обробки на властивості сировини ;
- оцінити зміни вологоутримуючої здатності, активності води, втрат маси та структурно-механічних характеристик у сирокочених м'ясних виробках після тривалого сушіння;
- здійснити математичне планування експерименту за матрицею повного факторного експерименту і визначити оптимальні технологічні режими, сформувавши рекомендації щодо промислового впровадження ультразвукової обробки виробництва солених виробів з яловичими.

Об'єктом дослідження є процес виготовлення солених виробів з яловичими. застосування ультразвукової обробки, а предметом - фізико-хімічні, структурно-механічні та органолептичні зміни у м'ясній сировині під впливом ультразвукової кавітації. Практичне значення роботи полягає в тому, що її результати можуть бути використані для удосконалення існуючих технологій переробки яловичини, раціонального використання не преміальних відрубів та створення нових видів м'ясних виробів із тривалим терміном зберігання та високої харчовою цінністю.

Отже розроблена технологія може бути адаптована для умов промислового виробництва та для закладів у сфері HoReCa.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА НАПРЯМОМ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1 Актуальність розширення асортименту виробів з яловичини.

Упродовж останніх двох десятиліть в Україні чітка і послідовна тенденція до скорочення споживання яловичини. згідно з аналітичними матеріалами Економіки АПК, Падіння споживання розпочалося ще у 2000-х роках і малотривалий характер: фонд споживання яловичини та телятини у 2018 році був нижчим приблизно на 42-43% порівняно з 2005 роком. це означає, що навіть у періоди Економічної стабілізації попит на яловичину не відновлювався, а споживчі пріоритети населення поступово зміщувалися у бік дешевших джерел білка [3,4].

У структурі харчування середньостатистичного українця яловичина поступалася домінуючим позиціям м'ясу птиці та свинині. Водночас у публікаціях зазначається, що характер споживання значною мірою залежить від рівня доходів. Для заможних верств населення яловичина залишається важливою складовою раціону, тоді як для малозабезпечених груп її споживання є мінімальним або епізодичним. Таким чином, формується значна диференціація у споживчих звичках, яка супроводжується перерозподілом попиту більш доступного та дешевого м'яса птиці [3,4].

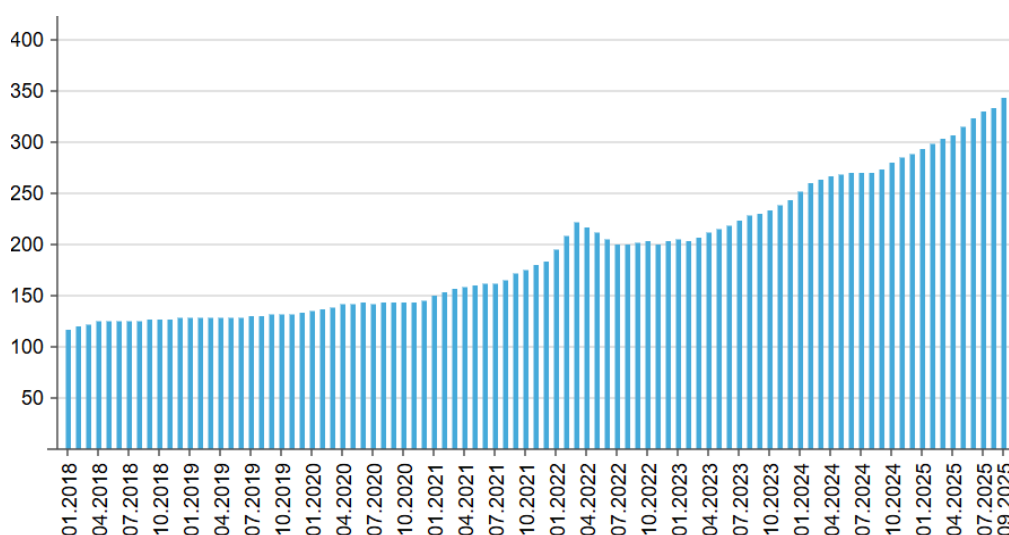
Аналіз сучасних ринкових даних підтверджує ці довгострокові тенденції. За оцінками відкритих аналітичних ресурсів, загальний обсяг споживання яловичини в 2024 році становив близько 210-215 тис. т, що удвічі менше, ніж у 2014 році, коли споживання становило майже 400 тис. тонн. У розрахунку на душу населення цей показник коливався в межах 3,5-4 кг на рік, що є одним із найнижчих рівнів серед країн Європи. Для порівняння у більшості країн ЄС споживання яловичини перевищує 10-15 кг на душу населення, а в країнах з високим доходом - навіть 20-25 кг [3,4].

Одним важливим аспектом є ціноутворення. Статистичних сервісів свідчить, що протягом останнього десятиліття яловичина залишилася одним із

найдорожчих видів м'яса на внутрішньому ринку. Ціни на неї зростали швидше, ніж на свинину чи м'ясо птиці, що обмежувало доступність продукту для значної частини населення. Крім того, скорочення поголів'я великої рогатої худоби та зменшення внутрішнього виробництва також вплинули на пропозицію й остаточно закріпили тренд зниження споживання.

У сукупності всі ці фактори - економічні, демографічні та структурні - формують нинішню динаміку споживання яловичини в Україні. Вона характеризується стабільним і довготривалим спадом, з умовами зростанням цін, обмеженою купівельною спроможністю, змінами в харчових уподобаннях та перерозподілом споживчого попиту у бік більш доступних видів м'яса. Навіть за умов позитивних змін в економіці прогнозується, що відновлення попиту на яловичину відбуватиметься поступово, оскільки сформована структура споживання має інерційний характер і відповідає наявному рівню доходів населення [3,4].

У Графіку 1.1.1 ілюструється динаміка зростання середніх цін на яловичину в Україні, з січня 2018 року по вересень 2025 року, за даними Міністерства фінансів України [4].



Графік 1.1 Динаміка середньої ціни на яловичину, у гривнях

Разом з загальним зниженням споживання яловичини в Україні спостерігається інша важлива тенденція - зростання попиту на преміальні

стейкові позиції саме у сфері готельно-ресторанного господарства. Сегмент HoReCa активно розвиває культуру споживання стейків із яловичини, орієнтуючись на світові стандарти якості та технологій приготування. Попит концентрується переважно на класичних відрубках тварин, з яких традиційно виготовляють стейки преміум категорії, такі як рібай, ті-боун, філе міньйон, нью-йорк тощо.

Водночас решта анатомічних частин туші, що не входять до переліку високорентабельних стейкових відрубів, часто залишаються недостатньо затребуваними та недооціненими. Проте саме ці частини можуть бути ефективно використані для виробництва якісних цільно-м'язових виробів з доданою вартістю. За умови правильно підібраної технології обробки, визрівання, засолювання, використання ультразвуку, такі відруби здатні перетворюватися на високоякісні м'ясні продукти, що відповідають сучасним вимогам виробництва, ресторанної кухні й споживачів.

Таким чином, розвиток стейкової культури в Україні відкриває нові можливості для більш раціонального використання яловичої сировини, підвищення ефективності переробки та створення конкурентних виробів із тих частин туші, які раніше не мали високої комерційної вартості.

Також слід зазначити, що важливою сучасною тенденцією, що також впливає на структуру споживання м'ясних продуктів, є специфічні умови, у яких сьогодні часто перебувають громадяни України. Через регуляришення електроенергії, перебування людей в укриттях під час повітряної тривоги, а також тривале перебування військовослужбовців у польових умовах та шансах на передовій, зростає необхідність у продуктах які поєднують високу харчову цінність, тривалі строки зберігання та максимально мікробіологічну стабільність.

Яловичина, як джерело повноцінного білка, незамінних амінокислот, заліза та інших важливих мікронутрієнтів, залишається одним із найцінніших компонентів раціону для підтримання працездатності, імунітету та фізичної витривалості. Водночасні форми її реалізації - охолоджене чи свіже м'ясо - не

завжди відповідають умовам обмеженого доступу до холодильного зберігання. Саме тому продукти з яловичини, які можуть зберігатися тривалий час без втрати якості. [5]

Цей фактор стимулює розвиток технології глибокої переробки яловичини, спрямованих на створення поживних, безпечних та довготривалих у зберіганні продуктів, адаптованих до умов воєнного часу та нестабільної інфраструктури. Таким чином, сучасні виклики не лише формують нові потреби споживачів, але й відкривають перспективи для розширення асортименту виробів із яловичини та підвищення їхнього стратегічного значення у продовольчій безпеці країни.

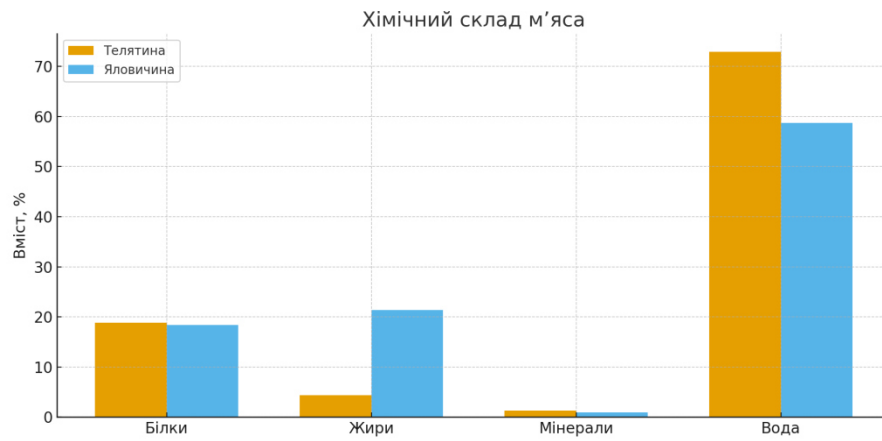
## 1.2. Характеристика яловичини, її хімічний склад та біологічна цінність

Яловичина є цінним джерелом поживних речовин, оскільки містить високоякісні білки, жири, мінеральні компоненти та значну кількість вітамінів. Згідно з загально відомими дослідженнями, вміст білка у телятині становить 18,88%, а у яловичині - 18,38%, що робить обидва види м'яса близькими за білковою цінністю. Проте за кількістю жиру вони суттєво відрізняються: телятина містить лише 4,41% жиру, тоді як яловичина - 21,4%, що визначає її енергетичну цінність останньої. Вміст речовин у телятині становить 1,33%, у яловичині - 0,97%, а кількість води відповідно 72,93% та 58,71%.

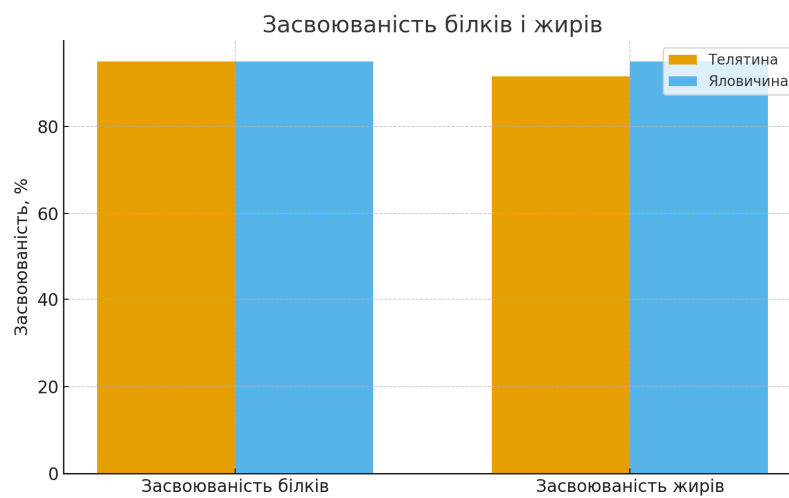
Важливою характеристикою є засвоюваність поживних речовин. Білки засвоюються організмом людини на 94,97%, а білки яловичини - на 94,99%, що свідчить про високу біологічну цінність. Засвоювання також висока: 91,61% для телятини та 95,00% для яловичини.

Історія різниці між цими видами м'яса спостерігається у калорійності: 1 телятини містить 1140 ккал, тоді як 1 кг яловичини - 2140 ккал, що пов'язано з підвищеним вмістом жиру в яловичині. Визначає різну роль цих продуктів у харчуванні: телятина більше підходить для дієтичного раціону, тоді як яловичина є більш енергетичним продуктом.

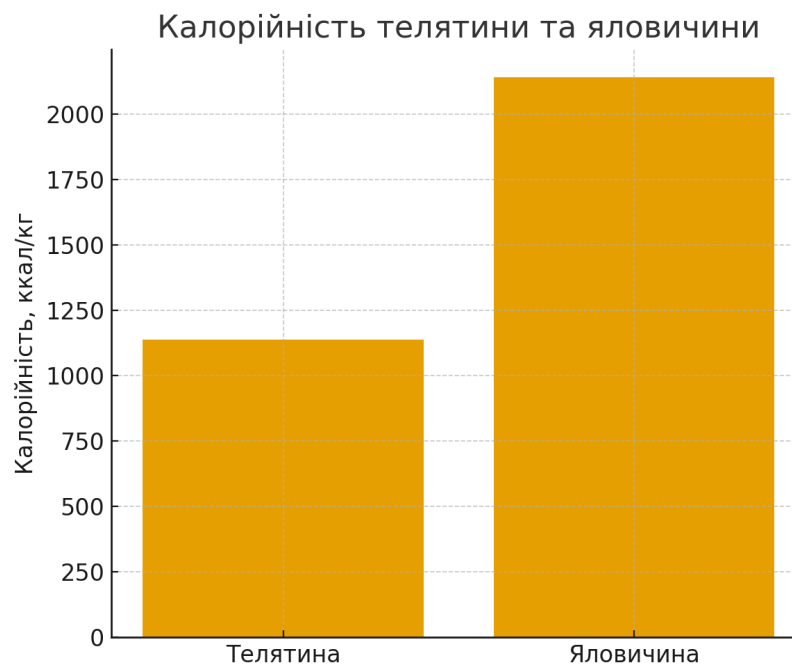
Отже, хімічний склад та показники засвоюваності свідчать про високу поживну цінність обох видів м'яса, але значні відмінності у вмісті жиру, води та калорійності формують різні напрями їх використання у харчуванні та технології переробки. У діаграмах 1.1, 1.2 та 1.3 наведені ці показники у порівнянні між собою [5].



Діаграма 1.1. Хімічний склад яловичини та телятини

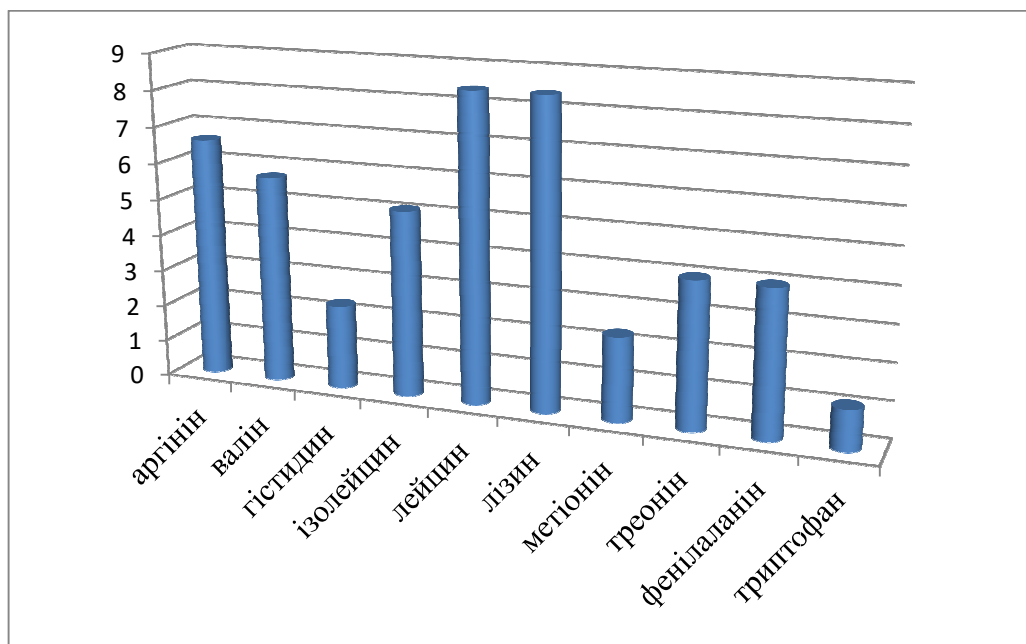


Діаграма 1.2. Засвоюваність білків та жирів у яловичини та телятини

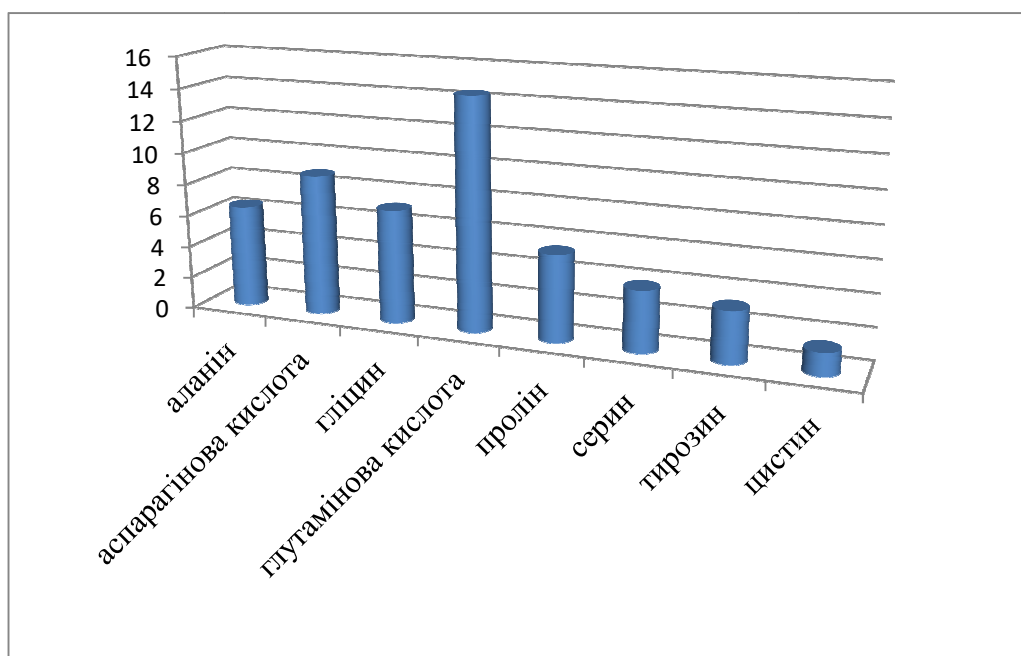


Діаграма 1.3. Калорійність яловичини та телятини

Далі, у діаграмах 1.4 та 1.5 наводиться кількісний склад незамінних та замінних амінокислот у яловичині, у % по відношенню до кількості загального білка [5].

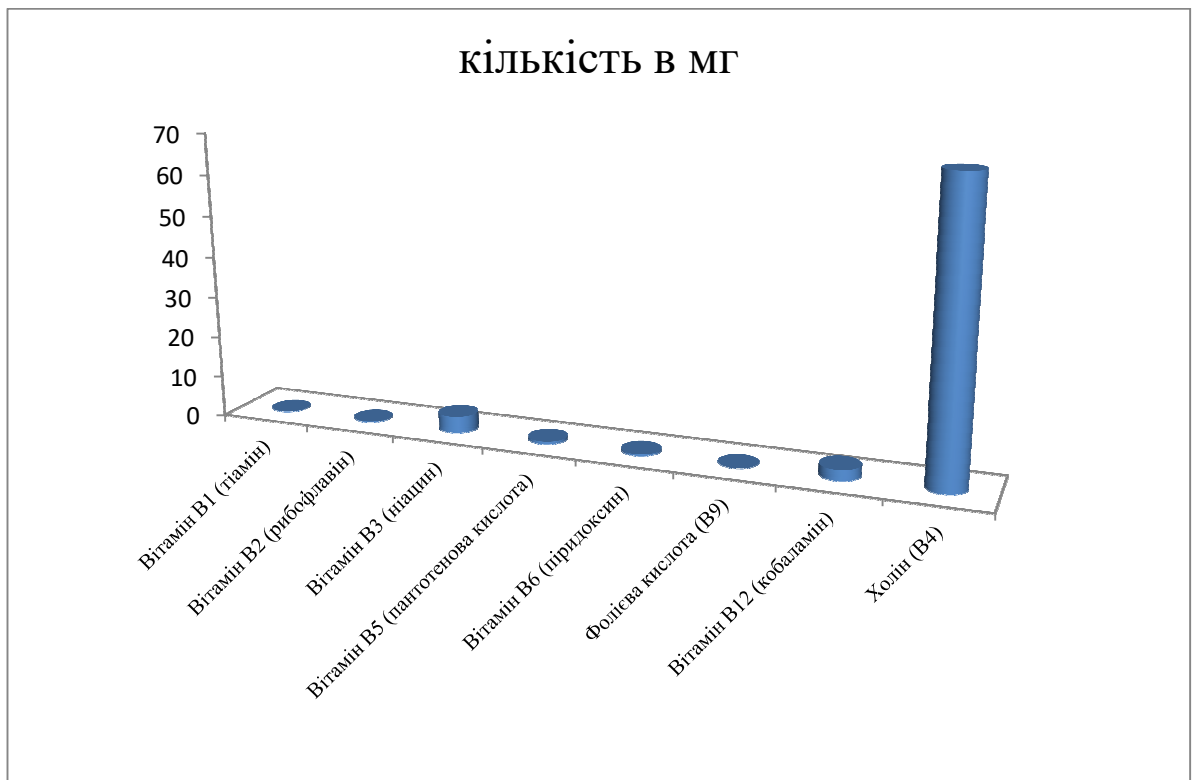


Діаграма 1.4. Незамінні амінокислоти в яловичині.

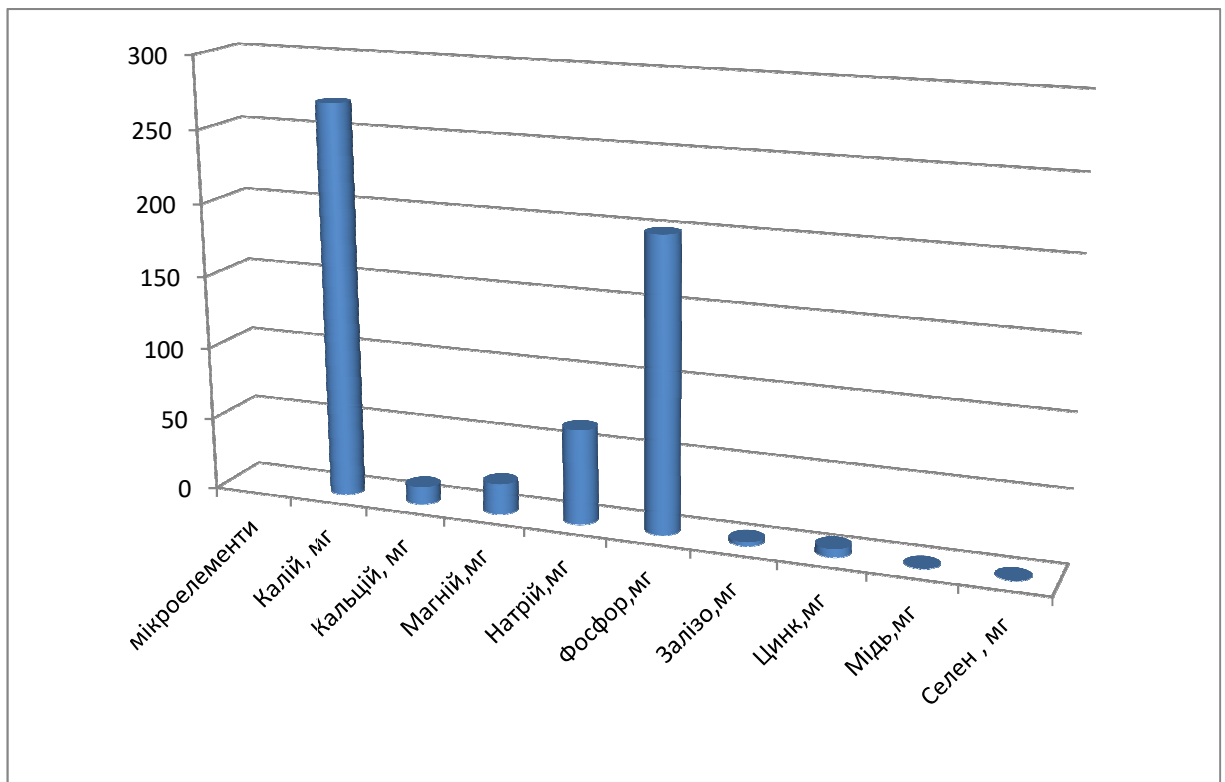


Діаграма 1.5. Замінні амінокислоти в яловичині.

У діаграмах 1.6 та 1.7, наводимо кількісні показники вітамінів, макро та мікроелементів у 100г яловичини. Дані наведені в міліграмах.



Діаграма 1.6. Кількість вітамінів на 100г яловичини.



Діаграма 1.7. Кількість макро та мікроелементів на 100г яловичини.

### **1.3. Поняття, сутність та вплив ультразвукової обробки на м'ясну сировину**

Високочастотні звукові хвилі, не сприймані слухом людини, відомі ще з початку XIX століття, коли Спалланцані виявив ехолокацію у кажанів. Перші пристрої для генерації ультразвуку з'явилися у середині XIX століття. Значний розвиток технології ультразвуку пов'язаний із відкриттям п'єзоелектричного ефекту та фізичними й математичними основами звуку.

Морські трагедії з великими човнами показали потребу в системах виявлення айсбергів і підводних човнів, а у 1915 році були створені перші функціональні гідрофони. Згодом ультразвук став основою для медичних, промислових і військових пристроїв. У 1920–1930-х роках були відкриті ефекти кавітації та сонолюмінесценції. Сучасні генератори ультразвуку виготовляють із штучної п'єзокераміки, зокрема барієвого та свинцево-цирконатного титанатів.

Ультразвук значно прискорює технологічні процеси у різних галузях промисловості. Він дозволяє завершувати процеси за секунди або хвилини з високою відтворюваністю, знижує витрати часу та енергії, спрощує операції та підвищує чистоту продукту. В харчовій промисловості технології ультразвукової обробки ефективно застосовують при заморожуванні, різанні, сушці, відпуску, стерилізації та екстракції. Переваги включають швидший масо- та енергообмін, роботу при нижчих температурах, селективне вилучення компонентів, зменшення обладнання та скорочення технологічних етапів. Частково ці ефекти пов'язані з кавітацією та інтенсифікацією масопереносу.

Ультразвук є окремим випадком механічних коливань, що поширюються у середовищі у вигляді пружних хвиль. На відміну від діапазону, який здатне сприймати людське вухо (приблизно від 16 Гц до 20 кГц), ультразвук має частоти, що перевищують 20 кГц. Як фізичне явище, ультразвукова хвиля передає енергію через послідовні цикли стискання і розрідження частинок середовища, при цьому не переміщуючи саму речовину на значні відстані.

Подібно до будь-якої хвилі, ультразвук описується основними параметрами, такими як частота, амплітуда, довжина хвилі, швидкість поширення, інтенсивність та затухання. Частота хвилі визначає її належність до інфразвуку, звукового або ультразвукового діапазону; амплітуда характеризує енергетичну насиченість хвилі; довжина хвилі визначає роздільну здатність при взаємодії з об'єктами; швидкість поширення залежить від фізичних властивостей середовища — його густини, пружності та температури.

У технічних і промислових застосуваннях ультразвук поділяють на низькоінтенсивний (високочастотний) та високоінтенсивний (низькочастотний). Перший використовують для контролю матеріалів, аналізу структури, вимірювань і сенсорики; другий — у процесах, що потребують механічного впливу: кавітації, диспергування, інтенсифікації масопереносу, прискорення теплових і дифузійних процесів [6].

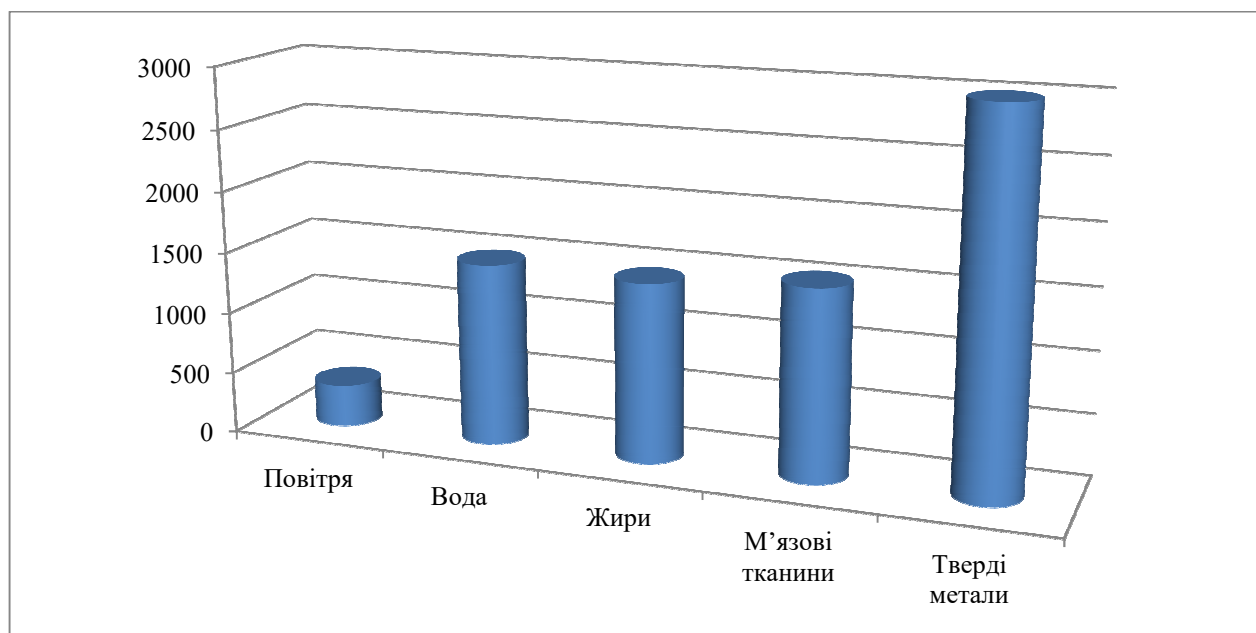
У таблиці 1.1 наводяться основні характеристики ультразвуку.

**Таблиця 1.1.**

**Основні характеристики ультразвуку**

Параметри	Опис
Частота	>20 кГц; технічний діапазон 20 кГц–10 МГц; високочастотний >10 МГц
Довжина хвилі	Залежить від середовища; у воді при 1 МГц $\approx$ 1,5 мм
Швидкість поширення	Залежить від середовища, у повітрі $\approx$ 343 м/с
Амплітуда	Визначає енергію хвилі, впливає на інтенсивність механічної дії
Інтенсивність	<1 Вт/см <sup>2</sup> (низька), 1–10 Вт/см <sup>2</sup> (середня), >10 Вт/см <sup>2</sup> (висока)
Затухання	Зростає з частотою; залежить від в'язкості, щільності та неоднорідностей
Ефекти взаємодії	Відбиття, заломлення, розсіювання, поглинання, кавітація, мікрострумені

На діаграмі 1.8. показано швидкість поширення ультразвукових коливань у різних середовищах.



Діаграма 1.8. Швидкість поширення ультразвукових коливань

У таблиці 1.2. Швидкість звуку, довжина хвилі та хвильова частота ультразвуку 20 кГц у деяких газах і рідинах при 25°C [7].

Таблиця 1.2.

Швидкість ультразвуку, довжина хвилі та хвильова частота

Середовище	$V, \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$	$\lambda, \text{ см}$	$\vartheta, \text{ см}^{-1}$	Середовище	$V, \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$	$\lambda, \text{ см}$	$\vartheta, \text{ см}^{-1}$
Вода	1490	7.45	0.134	Етанол	1180	5.90	0.170
Повітря	331	1.66	0.604	Ацетон	1190	5.95	0.168
H <sub>2</sub>	1284	6.42	0.156	Бензен	1324	6.62	0.151
He	965	4.83	0.207	Толуен	1324	6.62	0.151
N <sub>2</sub>	334	1.67	0.599	CCl <sub>4</sub>	920	4.60	0.217
CO <sub>2</sub>	259	1.3	0.772	Гліцерин	192	0.96	1.04
CH <sub>4</sub>	430	2.15	0.465	Ртуть	1453	7.27	0.138

Де:

$V$  — Швидкість звуку

$\lambda$  — Довжина хвилі

$\vartheta$  — Хвильове число ( $\vartheta=1/\lambda$ )

Усі значення розраховані для частоти 20 кГц.

На сьогодні у сучасній вітчизняній та зарубіжній літературі наведено чисельні дані, що підтверджують ефективність використання ефектів ультразвукового впливу у переробці м'яса забійних тварин. В рамках цієї кваліфікаційної роботи був проведений аналіз багатьох літературних джерел за напрямом наукових досліджень. Вважаю, що особливу увагу слід приділити літературним джерелам наведеним нижче.

У роботах Ільїна С. В. та Іванісової А. П. (2019) розглянуто фізичну суть впливу ультразвуку на процеси теплообміну, що має важливе значення для подальшого використання цієї технології у харчових технологіях. Зокрема, дослідники відзначили, що кавітаційні процеси сприяють прискоренню теплопереносу в рідких середовищах. Було показано, що інтенсивність теплообміну залежить від частоти ультразвуку та характеристик рідини. Хоча у статті не розглядається обробка м'ясної сировини безпосередньо, автори підкреслюють фундаментальний вплив ультразвукових хвиль на структурні перетворення в середовищі, що є базовою умовою для подальших застосувань у м'ясопереробній галузі. Ільїн, С. В., & Іванісова, А. П. (2019). До питання про вплив ультразвуку на теплообмін. Альманах науки, 6/1 (27), 36–38 [8].

У статті Varekat S. та Soltanizadeh N. (2018) було досліджено вплив ультразвуку на проникність ферментів та мікроструктуру довгого м'яза спини яловичини (*longissimus lumborum*). Дослідження проводилось з використанням ультразвуку частотою 20 кГц та потужністю 750 Вт у водному середовищі. Обробка сприяла деструкції міофібрилярних білків та покращенню дифузії папаїну в тканину, що дало змогу значно підвищити тендерність м'яса. Мікроструктурний аналіз виявив розширення міжм'язових просторів та порушення цілісності колагенової мережі. Дослідники підтвердили ефективність УЗ-обробки як попереднього етапу ферментативної обробки, що дозволяє зменшити використання ферментів та підвищити ефективність

тендеризації. Barekat, S., & Soltanizadeh, N. (2018). Effects of ultrasound on microstructure and enzyme penetration in beef longissimus lumborum muscle. *Food and Bioprocess Technology*, 11(3), 680–693 [9].

Яремчук О. С. та Новгородська Н. В. (2021) розглянули застосування ультразвуку у виробництві ферментованих кисломолочних продуктів. Автори виявили, що ультразвук підвищує активність молочнокислих бактерій, прискорює процес сквашування, покращує гомогенізацію молока та сприяє утворенню стабільної текстури готового продукту. Було виявлено зменшення часу сквашування на 15–20%, зниження розмірів жирових глобул та покращення однорідності згустку. Отримані результати свідчать про універсальний ефект УЗ-технології на структуру біополімерів у харчовій сировині, зокрема на білки та емульговані системи. Яремчук, О. С., & Новгородська, Н. В. (2021). Використання ультразвуку у виробництві ферментованих кисломолочних продуктів. *Вібрації в техніці та технологіях*, 4(103), 90–98[10].

Alarcon-Rojo A. D. та співавт. у своїй оглядовій праці висвітлили сучасні підходи до застосування ультразвуку в м'ясопереробці. Увага зосереджена на впливі ультразвуку на текстурні, мікробіологічні та функціональні властивості м'яса. Зазначено, що низькочастотний УЗ (20–40 кГц) у поєднанні з помірним тепловим впливом може суттєво покращити водоутримувальну здатність, знизити жорсткість та сприяти знищенню патогенної мікрофлори. Описано також вплив на колір, рН, оксидацію ліпідів та стійкість білкових структур. Автори рекомендують УЗ як перспективну технологію для покращення якості та безпечності м'ясних продуктів без застосування хімічних добавок. Alarcon-Rojo, A. D., Carrillo-Lopez, L. M., Reyes-Villagrana, R., Huerta-Jiménez, M., & Garcia-Galicia, I. A. (б.р.). *Ultrasound and meat quality: A review* [11].

У наступній роботі Alarcon-Rojo A. D. et al. (2022) розглянуто застосування ультразвуку для покращення тендеризації м'ясної сировини. Автори акцентують увагу на структурних змінах у м'язовій тканині під дією УЗ — розгортання білкових ланцюгів, підвищення доступності ферментів,

активація ферментів автолізу. Наводяться численні приклади ефективного використання HIU (High-Intensity Ultrasound) у технологічних процесах обробки м'яса різних видів (яловичина, свинина, птиця). Аналізуються також оптимальні режими обробки для досягнення бажаних сенсорних показників і збереження харчової цінності. Alarcon-Rojo, A. D., et al. (2022). Advances in application of ultrasound in meat tenderization: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.969503> [12]

У публікації Wang X. et al. (2024) представлено результати дослідження впливу ультразвуку на функціональні властивості білків м'ясної сировини. Після обробки відзначено підвищення розчинності, емульгуювальної та гелеутворювальної здатності міофібрилярних білків. Використано спектроскопічні методи (FTIR, електрофорез), які підтвердили зміну просторової організації білків — зменшення  $\alpha$ -спіралей та збільшення  $\beta$ -структур. Ці зміни забезпечують покращення водозв'язувальної здатності білків, що важливо для стабільності гелевих і емульгованих м'ясних продуктів. Wang, X., et al. (2024). The effect of ultrasound treatment on structural & functional properties. *Foods*, 13(17), 2817 [13].

У науковій роботі Kuimov D., Minkin M., Yurov A., Lukyanov A. Current State of Research on the Mechanism of Cavitation Effects in the Treatment of Liquid Petroleum Products(2023) описується ультразвукова кавітація, її визначення, механізми та застосування. Ультразвукова (акустична) кавітація — це фізико-хімічне явище, при якому під дією високочастотних ультразвукових хвиль у рідині утворюються мікроскопічні бульбашки (пухирці). Ці бульбашки ростуть, коливаються та зрештою руйнуються (колапсують), вивільняючи значну енергію. Вона буває інерційна та стабільна. Інерційна (вибухова) кавітація — бульбашки швидко збільшуються та раптово колапсують, створюючи високі локальні температури (до кількох тисяч Кельвінів) і тиски (сотні атмосфер), мікрострумені та ударні хвилі.

Стабільна (неінерційна) кавітація — бульбашки коливаються без руйнування, створюючи слабкі мікрострумені та локальний радіаційний тиск.

Фізико-хімічні ефекти:

- Механічні - мікрострумені, ударні хвилі, деформація частинок або клітин.
- Термічні - локальне підвищення температури, що може прискорювати хімічні реакції.
- Хімічні: утворення вільних радикалів та активних форм кисню, що ініціюють реакції окиснення та модифікації молекул.

#### Приклади застосування

Харчова промисловість: покращення дифузії солі або маринадів у м'ясі та рибі, модифікація текстури білків та емульсій, інтенсифікація екстракції біологічно активних речовин.

Біомедицина: контрольована доставка ліків, вплив на клітинні мембрани та регуляція внутрішньоклітинних процесів.

Інші галузі: очищення рідин, екстракція нафти та хімічна обробка розчинів.

#### Наукове обґрунтування

Енергія, що виділяється при колапсі бульбашок, дозволяє інтенсивно впливати на структури рідин та біологічних тканин без значного підвищення температури всього об'єму. Таким чином, ультразвукова кавітація є потужним інструментом для інтенсифікації технологічних процесів, включаючи обробку м'яса, де потрібне контрольоване руйнування клітинної структури та поліпшення проникності розчинів [14].

У останньому джерелі описано використання вискоєфективного ультразвуку для поліпшення якості м'яса. Зазначено, що HIU дозволяє покращити проникнення маринадів, зберегти колір м'яса, зменшити силу зсуву та знизити кількість мікроорганізмів. Огляд містить приклади впровадження HIU у промислових умовах, акцентуючи на енергозбереженні, скороченні тривалості обробки та підвищенні однорідності готового продукту. High-intensity ultrasound processing to improve the quality of meat. (2025). RSC Food & Bioproducts Processing [15].

## Висновок за розділом 1

1. Актуальність розвитку виробництва цільном'язевих виробів з яловичини обумовлена потребою підвищення споживчих та харчових властивостей продукції, використання не преміальних частин туш, розроблення способів виробництва, які подовжують термін зберігання продукції, забезпечення ефективного використання сировини та підвищення конкурентоспроможності м'ясних продуктів.

2. Хімічний склад яловичини характеризується високим вмістом білка (18–22 %), низьким вмістом жиру (2–12 %), амінокислотним профілем, багатим на незамінні амінокислоти, та наявністю мінералів (залізо, цинк, фосфор), що забезпечує високу біологічну цінність. Різні частини туші відрізняються структурою м'язової та сполучної тканини, що впливає на фізико-хімічні та сенсорні властивості готових виробів.

3. Літературний аналіз свідчить, що ультразвукова обробка є ефективним інструментом для поліпшення технологічних та функціональних властивостей м'яса. Ультразвукові хвилі сприяють деструкції міофібрилярних білків, розширенню міжм'язових просторів та підвищенню проникності тканини для ферментів і маринадів, що прискорює тендеризацію та покращує вологоутримувальну здатність м'яса. Кавітаційні ефекти ультразвуку забезпечують механічні, термічні та хімічні впливи, що інтенсифікують тепло- та масоперенос у біологічних тканинах, підвищують однорідність продукту та зберігають природний колір і смакові властивості. Дослідження показують, що застосування низькочастотного ультразвуку (20–40 кГц) у поєднанні з помірним тепловим впливом дозволяє підвищити ефективність ферментативної тендеризації, покращити проникнення маринадів, зменшити жорсткість м'яса та зберегти харчову цінність продукту [8,9,10,11,12,13,14,15].

4. Таким чином, на основі аналізу літературних джерел доведено, що комбінування знань про фізико-хімічні, структурно-механічні властивості яловичини та ефекти ультразвукової обробки дозволяє розробляти технології виробництва цільном'язевих виробів з підвищеною органолептикою та

функціональністю, покращувати вологоутримувальну здатність, текстурні характеристики та проникність тканини для маринадів і ферментів, що забезпечує високу харчову цінність, безпечність, подовжувати термін зберігання, та загалом, дозволяє зробити процес виробництва готової продукції більш контрольованим.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Мета та завдання, об'єкт та предмети досліджень

У сучасних реаліях України питання виробництва м'ясних продуктів із тривалим терміном зберігання, високою поживною цінністю та стабільним органолептичними характеристиками набуває особливої актуальності. Часті аварійні вимкнення електроенергії, необхідність тривалого перебування у сховищах, укриттях, шанцях, а також забезпечення харчування військових підрозділів, рятувальних служб або цивільного населення в екстремальних ситуаціях - усе це формує підвищений попит на продукти, здатні зберігатися тривалий час та при цьому залишатися безпечними поживними та зручними у використанні. Розроблення технології сирокоченої яловичини з використанням ультразвукової обробки є перспективним рішенням для виробництва витривалих до зберігання, високоякісних і поживних м'ясних виробів, які можуть бути корисними як у побутових умовах, так і під час надзвичайних ситуацій.

Незважаючи на розвиток технологій м'ясо переробки, вивчення впливу ультразвукової кавітації на структуру та властивості яловичини, особливо в контексті виробництва солоних виробів, є недостатньо висвітленим. Суперечливість літературних даних, різноманіття режимів ультразвуку, а також специфічні властивості саме яловичини потребують проведення системних досліджень із застосуванням математичного планування експерименту.

**Метою** досліджень є удосконалення технології м'ясних виробів з яловичини шляхом застосування ультразвукової обробки.

**Завдання** досліджень являє собою теоретичний та практичний пошук оптимальних режимів оброблення м'яса ультразвуком, для підвищення вологоутримувальної здатності, що на прямо впливає на активність води.

**Об'єкт дослідження** - розроблення нового способу виробництва сирокоченої яловичини за допомогою використання ультразвукової обробки.

**Предмет дослідження** – м'ясо яловичини, ультразвукова кавітація та її вплив на фізико-хімічні та структурно-механічні властивості м'ясної сировини.

**Методи досліджень** – для досягнення заданої мети використовувалися фізико-хімічні, органолептичні, структурно-механічні та математично-статистичні методи досліджень.

Згідно поставленої мети були поставлені такі завдання:

- провести аналітичний огляд наукової літератури;
- підібрати ряд яловичих відрубів для досліджень;
- розробити нову рецептуру сирокоченої яловичини;
- підібрати оптимальні параметри ультразвукової обробки, які мають фактичний вплив на задану сировину;
- створити матрицю повного факторного експерименту;
- зробити комплексні дослідження згідно з ПФЕ;
- виготовити сирокочену яловичину за новою рецептурою та технологією;
- зробити комплексні дослідження нового виробу;
- дослідити економічну модель нової технології на предмет її доцільності.

## 2.2 Схеми проведення досліджень

Згідно з метою та завданням даної роботи був проведений цілий спектр досліджень, який включає такі етапи:

- аналіз наукових літературних джерел;
- маркетинговий аналіз попиту та цін на сировину;
- систематизація даних з літературних джерел, з питання впливу ультразвукової обробки на яловичину;
- аналіз сучасних світових технологій виготовлення солоних виробів з яловичини;
- теоретичний та імперичний підбір режимів для ультразвукової обробки яловичини;
- розроблення ПФЕ 2<sup>3</sup> та проведення дослідів, згідно розробленої матриці;
- розроблення нової рецептури сирокопченої яловичини з тазостегнової частини бичка, породи Ангус;
- виготовлення сирокопченої яловичини за новою рецептурою та новим способом;
- проведення комплексу дослідів з визначення характеристик нового продукту;
- проведення економічного аналізу нового продукту;
- формування висновків та рекомендацій, згідно отриманих результатів.

На рисунку 2.2.1 наведена схема проведення досліджень.










Рис. 2.1. Схема проведення досліджень










### 2.3 Матеріали, обладнання та методики досліджень.

По даній роботі дослідження проводилися на базі університету та на базі підприємства ТОВ «Кафе «Шашлична». Під час досліджень використовувався різний лабораторний та кулінарний інвентар. Він наведений у таблиці 2.1.

**Таблиця 2.1.**

Інвентар задіяний під час дослідів

Назва інвентарю	Вигляд інвентарю
1	2
Миски з нержавіючої сталі	
Ножі	
Дошки	
Ваги	
Мірні колби	
Ультразвукова ванна	
Пароконвектомат	

1	2
Вакууматор	
Коптильня	
Кліматична камера	
Апарат су-від	
Гастроємності	
Консистеометер Геплера	
Сушильна шафа	
Бюкси	
Ексікатор	

Під час досліджень була використана така сировина:

- М'ясо яловичини з тазостегнової частини за ДСТУ 6030:2008 М'ясо. Яловичина та телятина в тушах, півтушах і четвертинах. Технічні умови [16].
- Нітритно-засолювальна суміш, регламентується ТУ У 10.8-3474701915-001:2023 — «Сіль нітритна» (ТМ «Банка Спецій») [17].
- Цукор пісок згідно з ДСТУ 4623:2023 «Цукор. Технічні умови» [18].
- Чорний мелений перець, згідно з ДСТУ ISO 959-1:2008 Перець (*Piper nigrum* L.) горошком чи змелений. Технічні умови. Частина 1. Чорний перець [19].
- Соевий соус, згідно з ТУ У 10.8-39833415-001:2015(ТОВ «Компанія Сантера») [20].

Також, під час досліджень використовувались вакуумні пакети, згідно з ДСТУ 7275:2012 «Пакети з полімерних та комбінованих матеріалів. Загальні технічні умови» [21].

Дослідження фізико-хімічних та структурно механічних властивостей зразків проводили за наведеними нижче методиками.

Визначення масової частки вологи проводилося висушуванням в сушильній шафі за температури  $(150 \pm 2)$  °С. Згідно з ДСТУ ISO 1442:2005, ДСТУ ISO 936:2008, ДСТУ EN 45501:2007 [22, 23, 24].

Цей метод складається з таких етапів:

- У попередньо підготовлену бюксу поміщають пісок (у кількості, приблизно у 2-3 рази більшій за масу майбутньої наважки продукту) та скляну паличку.
- Цю бюксу разом з вмістом розміщують у сушильній шафі та висушують за температури  $(150 \pm 2)$  °С протягом 30 хвилин.
- Після висушування бюксу закривають кришкою, охолоджують у ексікаторі до досягнення кімнатної температури та зважують.
- У охолоджену бюксу з піском додають наважку аналізованого продукту масою близько 3 г та зважують повторно для визначення загальної маси.

- Вміст бюкси ретельно перемішують скляною паличкою для рівномірного розподілу продукту серед піску.
- Відкрити бюксу з наважкою знову поміщають у сушильну шафу з температурою  $(150 \pm 2)$  °С та висушують протягом 1 години.
- Після завершення сушіння бюксу закривають кришкою, знову охолоджують в ексікаторі до кімнатної температури.
- Охолоджену бюксу зразка зважують на аналітичних вагах, похибка яких не повинна перевищувати  $\pm 0,0002$  г.

Масову частку вологи (X) розраховують за формулою 2.1

$$X = (m_1 - m_2 / m_1 - m) \cdot 100, \quad (2.1.)$$

Де:

$m_1$  — маса бюкси з піском, паличкою та наважкою до висушування, г;

$m_2$  — маса бюкси з піском, паличкою та наважкою після висушування, г;

$m$  — маса порожньої бюкси з піском та скляною паличкою після їх попереднього висушування, г.

Визначення вмісту жиру проводилося гравіметричним способом. Згідно з ДСТУ ISO 1443:2005 М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення загального вмісту жиру (ISO 1443:1973, IDT). З поправкою [25]. Сутність методу полягає у наступних етапах:

- Зважують наважку подрібненого м'яса масою  $(3,0000 \pm 0,0002)$  г.
- Поміщають її в таровану бюксу з прожареним піском.
- Перетирають м'ясо з піском скляною паличкою та висушують у сушильній шафі при  $100-105$  °С до постійної маси.
- Розраховують масову частку вологи. Сухий залишок використовують для екстракції жиру.

- Суху пробу кількісно переносять у зважену паперову гільзу, зважують її знову та поміщають в екстрактор апарату Сокслета.
- До колби додають ефір, збирають прилад та нагрівають на водяній бані при 45–50 °С.
- Екстракцію проводять протягом 4–6 годин. Ознакою завершення процесу є відсутність жирових плям на склі після випаровування крапель ефіру, що стікають з екстрактора.
- Після екстракції гільзу висушують до постійної маси.

Масова частка жиру у наважці, %, розраховується за формулою 2.2

$$X1 = 100\left(\frac{m3-m4}{m1-m0}\right) \quad (2.2.)$$

де:

m3 — маса гільзи з пробєю до екстракції, г;

m4 — маса гільзи з пробєю після екстракції, г;

m1 — маса бюкси з піском і наважкою до висушування, г;

m0 — маса порожньої бюкси з піском, г.

Масова частка ліпідів в абсолютно сухій речовині, %, розраховується за формулою 2.3.3

$$X2 = 100\left(\frac{m3-m4}{m3-m5}\right) \quad (2.3.)$$

де:

m5 — маса порожньої гільзи, г.

Активність води визначали у науково-дослідній лабораторії ННІХТ. Активність води (aw) – один із важливих параметрів (НАССР) у визначенні якості та безпеки товарів, які споживаються щодня. В Україні діє ДСТУ ISO 21807:2007 «Мікробіологія харчової продукції і кормів для тварин. Метод

визначення активності води», який гармонізований із документом Міжнародної організації по стандартизації ISO [26].

Значення показника активності води ( $a_w$ ) в продуктах харчування впливає на:

- Органолептичні показники.
- Мікробіологічну стабільність.
- Процес виготовлення.
- Термін придатності.

Тому контроль показника активності води ( $a_w$ ) тісно пов'язаний із безпекою харчових продуктів.

Реологічні показники досліджувались за допомогою Консистеометра Геплера.

Метод ґрунтується на вимірюванні сили опору, яку чинить продукт на занурюваний у нього плунжер. Чим більш щільний, пружний або в'язкий продукт, тим більший опір і, відповідно, більша сила, зафіксована при зануренні.

Зразок рівномірно укладають у циліндричну камеру, поверхня зразка вирівнюється, щоб плунжер занурювався рівномірно. За потреби, зразок витримують при стандартній температурі. (4-8 градусів Цельсія для свіжих фаршів)

Плунжер встановлюють над зразком і починають занурення з постійною швидкістю. Консистеометр фіксує силу опору на кожній глибині занурення(залежно від конструкції може фіксувати – максимальну силу, криву сили від ходу плунжера, середню силу на заданій глибині)

Занурення плунжера дає графік «сила-глибина-занурення». З кривої визначають параметри:

1. Максимальна сила опору – характеризує щільність і пружність.
2. Середня сила на глибині занурення – характеризує загальну консистенцію.
3. Форма кривої – дозволяє оцінити пластичність і однорідність маси

Опір зразка під навантаженням вимірюється, коли:

1. Наважка тисне на зразок і фіксується деформація/занурення за часом.
2. Показники 15с-60с дають криву ущільнення.
3. Якщо сила/деформація зростає повільно – продукт більш пластичний; якщо швидко – більш пружний.

Релаксація після зняття навантаження вимірюється, коли:

1. Коли наважку відпустили, зразок починає повертатися у початковий стан.
2. Показники через 60с після відпускання демонструють еластичність та в'язкопружні властивості тканини.

Визначення рН, згідно з ДСТУ ISO 2917-2001 М'ясо та м'ясні продукти. Визначення рН (контрольний метод) (ISO 2917:1974, IDT) [27]. Підготовка проб до аналізу. Для визначення рН м'яса готують водяну витяжку в співвідношенні 1: 10, для чого наважку зразка м'яса масою (10,00±0,02) г ретельно подрібнюють (ножицями або на м'ясорубці), вміщують у хімічну склянку місткістю 100 см<sup>3</sup> та екстрагують дистильованою водою впродовж 30 хв за температури навколишнього середовища і періодичного помішування склянкою паличкою. Отриманий екстракт фільтрують через складчастий паперовий фільтр та використовують для визначення рН. Значення рН водного екстракту м'язової тканини визначають на потенціометрі (рН-метрі) будь-якої марки. Результати фіксують. Нижче наведено пояснення методу.

Визначення рН м'яса за допомогою водної витяжки 1:10. Витяжку 1:10 роблять щоб отримати стабільний, репрезентативний водний розчин, який рівномірно передає кислотність м'язової тканини. Цей спосіб зменшує похибку. Порухення співвідношення кількості м'яса і води впливає на стабільність рН. Екстрагування проходить при температурі навколишнього середовища оскільки рН сильно залежить від температури (тому не можна підігрівати). За 30 хвилинне екстрагування кислоти та основи з м'язових волокон переходять у

воду і витяжка стає однорідною. Без фільтрації водної витяжки залишки залишки білків або м'яса будуть заважати електроду. Порядок виконання:

### 1. Калібрування рН-метра

Для калібрування використовують буферні розчини рН = 4,00, 7,00, 9,00 (якщо цього вимагає прилад). Без калібрування результати можна вважати неправильними.

### 2. Вимірювання рН

Електрод промивають дистильованою водою, опускають у фільтрат, чекають поки показ стабілізується (10-30сек) і фіксують значення рН.

### 3. Повтори

Щоб результат був достовірним роблять не менше 3 повторів, або 3 окремі наважки, або 3 вимірювання з одного фільтрату і обчислюють середнє значення.

Визначення буферної ємності. Метод ґрунтується на послідовному титруванні м'ясного гомогенату серією розчинів кислоти (НСІ) та лугу (КОН) різних концентрацій з реєстрацією динаміки рН. Це дозволяє побудувати комплексну буферну діаграму та розрахувати буферну ємність для різних діапазонів рН, що характеризує здатність м'ясної системи протидіяти змінам кислотності.

Обладнання: рН-метр з автоматизованою системою титрування, аналітичні ваги, гомогенізатор, термостатована комірka ( $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ )

Титранти:

Соляна кислота (НСІ): 0.01 М, 0.05 М, 0.1 М, 0.2 М, 0.5 М.

Гідроксид калію (КОН): 0.01 М, 0.05 М, 0.1 М, 0.2 М, 0.5 М.

Допоміжні реактиви: дистильована вода.

Підготовка проби:

Гомогенізація:  $5.00 \pm 0.01$  г подрібненого м'яса + 50 мл 0.15 М КСІ.

Стабілізація: Витримка 30 хв при  $4^\circ\text{C}$ .

Початкові умови: Вимірювання початкового рН (рН<sub>0</sub>)

Буферна ємність ( $\beta$ ) для кожної концентрації титранту розраховується за формулою 2.3.4.

$$\beta = (\Delta C \times V \times 1000) / (\Delta \text{pH} \times m) \text{ [ммоль/г} \cdot \text{pH]} \quad (2.4.)$$

де:

$\Delta C$  - зміна концентрації титранту;

$V$  - об'єм титранту, мл;

$\Delta \text{pH}$  - зміна рН;

$m$  - маса проби, г.

Вологозв'язуюча здатність (ВЗЗ) — ключовий технологічний показник, що безпосередньо впливає на якість, текстуру та вихід готових м'ясних виробів. Методика визначення ВЗЗ методом пресування. Метод ґрунтується на фіксації кількості вологи, що виділяється із зразка під час механічного навантаження. Порядок проведення аналізу:

- Зразок м'яса масою 0,3 г піддають пресуванню під вантажем масою 1 кг протягом 10 хвилин.
- Волога, що виділилась, поглинається фільтрувальним папером, утворюючи так звану «вологу пляму».
- Для точного визначення площі плями, її контур переносять на міліметровий папір. Площа, зайнята вологою, розраховується як різниця між загальною площею плями та площею відбитка самого зразка.
- Для перерахунку площі плями на масу вологи використовують емпіричний коефіцієнт: 1 см<sup>2</sup> площі плями відповідає 8,4 мг виділеної вологи.

Розрахунок вмісту зв'язаної вологи (% від загальної кількості вологи у зразку) проводиться за формулами 2.5, 2.6.

$$x_1 = \frac{(M-8,4S)100}{m_0}; \quad (2.5.)$$

$$x_2 = \frac{(M-8,4S)100}{M}, \quad (2.6.)$$

де:

$x_1$  - масова частка зв'язаної вологи у м'ясному фарші, % до маси м'яса;

$x_2$  - масова частка зв'язаної вологи у м'ясному фарші, % до загальної вологи;

$M$  - загальна маса вологи у наважці, мг;

$S$  - площа вологої плями, мг;

$m_0$  - наважка м'яса, мг.

Метод визначення пластичності. Пластичність – це здатність м'ясного фаршу чинити опір статичному навантаженню. Її визначають за площею розпливу фаршу, що формується під дією гирі масою 1 кг протягом 10 хвилин.

$$\text{Пл} = S/m, \quad (2.7.)$$

Де: Пл – пластичність, см<sup>2</sup>/г;

$S$  – площа внутрішньої плями, см<sup>2</sup>;

$M$  – маса наважки, взятої для визначення ВЗЗ, мг.

Метод визначення вологоутримувальної здатності. Порядок проведення аналізу такий: подрібнену наважку м'яса масою 4-6г рівномірно наносять скляною паличкою на внутрішню поверхню широкої частини молочного жироміра. Прилад щільно закривають пробкою та встановлюють вузькою частиною вниз у водяну баню з температурою кипіння на 15 хвилин. Після нагрівання кількість виділеної вологи визначають за числом поділок на шкалі жироміра.

$$\text{ВУЗ} = \text{В} - \text{ВВЗ}; \quad (2.8.)$$

$$\text{ВВЗ} = a n m^{-1} * 100, \quad (2.9.)$$

де  $\text{В}$  – загальна масова частка вологи у наважці, %;

$a = 0,01$  – ціна поділки жироміру, см<sup>3</sup>;

n – кількість поділок на шкалі жироміру;

m – наважка м'яса, г.

Органолептичні методи оцінювання якості проводилися згідно з ДСТУ 4823.2:2007 Продукти м'ясні. Органолептичне оцінювання показників якості. Частина 2. Загальні вимоги. З поправкою [29]. Загальні вимоги: експерти повинні бути здорові, без сторонніх запахів (не палити, не вживати гостру їжу перед аналізом), приміщення має бути світлим, чистим, без запахів. Зразки кодуються для анонімності. Підготовка до аналізу:

- Проби готують згідно з технічною документацією на продукт.

- Продукт нарізають на однакові шматки. Температура – як для споживання (зазвичай кімнатна). Згідно з поправкою, температура може уточнюватися для різних груп товарів.

Оцінку проводять послідовно за п'ятьма основними показниками:

- Зовнішній вигляд - оцінюють форму, стан поверхні (чистота, вологість), цілісність.

- Колір - перевіряють забарвлення поверхні та на розрізі на рівномірність та відсутність нехарактерних відтінків.

- Консистенція - визначають щільність, пружність, ніжність при натисканні та розжовуванні.

- Запах - визначають характерний аромат та відсутність сторонніх або зіпсованих запахів.

- Смак оцінюють характерність смаку, солоність, відсутність гіркоти, кислоти та інших сторонніх присмаків. Між зразками рот промивають водою.

Результати оцінюють за балами. Продукт відповідає нормі, якщо загальна оцінка та оцінка за кожним окремим показником не нижче встановлених вимог.

Для визначення виходу готових виробів застосовано гравіметричний метод. Методика базується на вимірюванні маси продукції на різних етапах. На підставі отриманих даних шляхом аналітичного розрахунку за спеціальною формулою 2.3.10 був встановлений кінцевий вихід продукції відразу після її виготовлення.

$$X = \frac{A}{B} \times 100\% \quad (2.10.)$$

Де: X – вихід готового виробу, %;

A – маса сирого продукту, кг;

B – маса готового продукту, кг.

## 2.4. Математично-статистичне оброблення результатів досліджень

Достовірність отриманих експериментальних даних оцінювали з використанням методів математичної статистики та сучасних програмних засобів обробки результатів. Усі розрахунки, побудова графіків та інтерпретація експериментальних залежностей здійснювалися в середовищі Microsoft Office Word 2007 та Microsoft Excel 2007 для операційної системи Windows 11. Під час дослідження дотримувалися вимог до повторності: кожний дослід проводили не менше ніж у трьох повтореннях, а кожний аналітичний вимір виконували у п'ятикратній повторності для підвищення точності та забезпечення статистичної надійності результатів. Рівень довірчої ймовірності приймався на рівні 0,95, що є загальноприйнятим для аналітичних досліджень у харчових технологіях і дозволяє гарантувати достовірність оцінок із похибкою не більше 5 %. Статистичну обробку результатів експерименту виконували за допомогою t-критерію Стюдента, що дає можливість визначити значущість відмінностей між середніми значеннями та оцінити вплив експериментальних факторів на досліджувані показники. Для оцінювання оптимальних режимів технологічної обробки, зокрема параметрів ультразвукового впливу, використовували трьохфакторний регресійний аналіз, реалізований засобами Microsoft Excel (інструменти «Регресія» та «Аналіз даних»). Перевірку адекватності отриманої математичної моделі проводили за критерієм Фішера, що дозволяє встановити відповідність моделі реальним експериментальним даним та визначити ступінь впливу факторів на варіацію результативних ознак. Етапи статистичного аналізу супроводжувалися розрахунком ПФЕ (показників фізико-експериментальної оцінки). Сукупність цих показників забезпечила комплексну оцінку точності, стабільності та відтворюваності експериментальних результатів. Таким чином, застосування програмних засобів Windows 11 та Microsoft Office 2007 у поєднанні з методами математичної статистики дозволило підвищити об'єктивність дослідження, забезпечити математично обґрунтовану інтерпретацію отриманих результатів і встановити оптимальні технологічні параметри з високим рівнем достовірності.

## **Висновок до розділу 2**

У другому розділі кваліфікаційної роботи було розроблено концепцію, що ґрунтується на послідовному поєднанні теоретичних передумов та експериментальних підходів. Сформована методологія забезпечує відповідність сучасним вимогам до проведення наукових досліджень у галузі харчових технологій.

Основу дослідження закладено шляхом визначення мети, завдань, об'єкта та предмета дослідження. Це дозволило визначити ключові напрями роботи та встановити критерії оцінки ефективності запропонованих рішень.

Експериментальна частина ґрунтувалася на розробленій схемі дослідження, що передбачала послідовну реалізацію технологічних операцій із суворим контролем параметрів процесу. Стандартизація умов проведення експериментів забезпечила відтворюваність результатів та дозволила мінімізувати вплив стохастичних факторів. Для комплексної оцінки якості досліджуваних продуктів застосовано систему взаємодоповнюючих методів. Обробка експериментальних даних виконувалася із застосуванням методів математичної статистики. Використання статистичних критеріїв дозволило кількісно оцінити достовірність отриманих результатів та встановити статистичну значущість виявлених закономірностей.

Таким чином, запропонована методологічна система забезпечує отримання об'єктивних та науково обґрунтованих результатів, що може становити теоретичну базу для подальших досліджень у галузі технологій виробництва м'ясних продуктів.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Дослідження впливу ультразвукової кавітації на яловичину та підбір ефективних режимів ультразвукової обробки

Для досліджень впливу ультразвукової кавітації була придбана ультразвукова ванна, потужністю 60Вт, частотою ультразвукових коливань 40 кГц та об'ємом 2 л. Дана ультразвукова ванна зображена на рисунку 3.1.1.



Рис.3.1. Ультразвукова ванна

Після дослідження супровідної документації було з'ясовано, що немає інформації, яка інтенсивність ультразвуку, у цієї ванни на  $1 \text{ cm}^2$ . А ці дані дуже важливі для визначення ступеню впливу ультразвукової обробки (низький, середній, високий). Тому було прийнято рішення самостійно обрахувати цей параметр. Інтенсивність ультразвуку на  $1 \text{ cm}^2$ , обраховується за формулою 3.1.1.

$$I = P / S \quad (3.1.)$$

Де: I- потужність/  $\text{cm}^2$ , P- загальна потужність, S – площа випромінювача.

Обрахувавши формулу ми отримали  $I = P / S = 60 \text{ Вт} / 9.6 \text{ cm}^2 \approx 6.25$

Вт/см<sup>2</sup>, це свідчить про високу інтенсивність. Наступним етапом було обрахування довжини хвилі при різних температурах води під час обробки. Обрахунок довжини хвилі робили за формулою 3.1.2.

$$\lambda = c / f \quad (3.2)$$

Де:

$\lambda$  (лямбда) — довжина хвилі, що вимірюється в метрах (м) або міліметрах (мм). Це відстань між двома однаковими точками послідовних хвиль (наприклад, між двома піками).

$c_1$  — швидкість поширення звуку в середовищі. Для води при +1°C:  $c_1 \approx 1402$  м/с;

$c_2$  — швидкість поширення звуку в середовищі. Для води при +5°C:  $c_2 \approx 1426$  м/с;

$f$  — частота ультразвуку, що вимірюється в Герцах (Гц). Для данної ванни;  $f = 40$  кГц = 40 000 Г.

Провівши обрахунки ми отримали:

Для +1°C:

$$\lambda_1 = c_1 / f = 1402 \text{ м/с} / 40,000 \text{ Гц} = 0.03505 \text{ м} = 35.05 \text{ мм}$$

Для +5°C:

$$\lambda_2 = c_2 / f = 1426 \text{ м/с} / 40,000 \text{ Гц} = 0.03565 \text{ м} = 35.65 \text{ мм}$$

Вплив температури на акустичні властивості. У холодній воді (+1°C) молекули рухаються повільніше, що зменшує швидкість поширення звуку. При нагріванні до +5°C зростає тепловий рух молекул, що збільшує швидкість звуку. Різниця в швидкості звуку між +1°C та +5°C становить 24 м/с. принцип Коротша хвиля (вища частота) несе більше енергії на одиницю простору, що робить кавітаційний ефект більш потужним у точці його застосування. Отже при нижчій температурі кавітаційний ефект сильніший за рахунок меншої довжини хвилі.

Наступним етапом досліджень було проведення імперичного спостереження впливу УЗК на яловичину. Для цього різні шматки яловичинаи, з одного м'язу та однакової маси, оброблялася УЗК при температурі +1°C

протягом 5, 10, 20, 30, 40, 50 та 60 хв та контроль без УЗК. Обробка УЗК яловичини представлена на рисунку 3.1.2.



Рис.3.2. Обробка яловичини ультразвуком



Рис.3.3. Зразки яловичини до вимірювання показників рН

Далі зразки досліджувались на рН, вихід, вологу, ВВЗ та ВУЗ. На рисунках наведених нижче представлені дослідження.



Рис.3.4. Підготовка до вимірювання рН



Рис.3.5. Визначення рН



Рис.3.6. Дослідження ВУЗ за допомогою жироміра

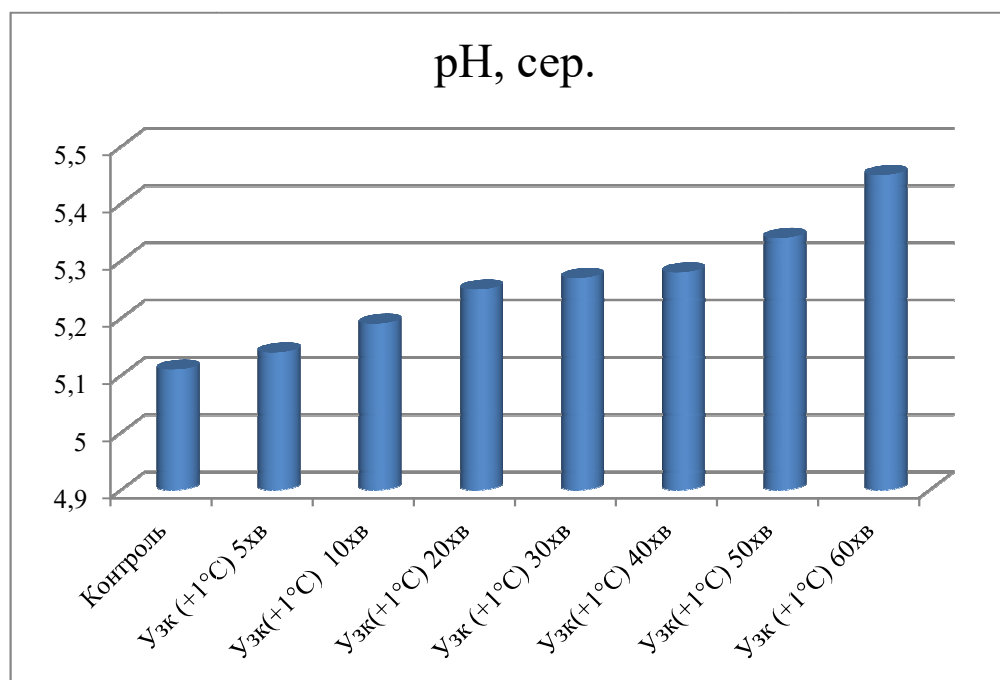
Наступним етапом були обрахунки експериментальних даних, за методиками та формулами наведеними у пункті 2.3. Обрахункові дані наведені у таблиці 3.1.

**Таблиця 3.1.**

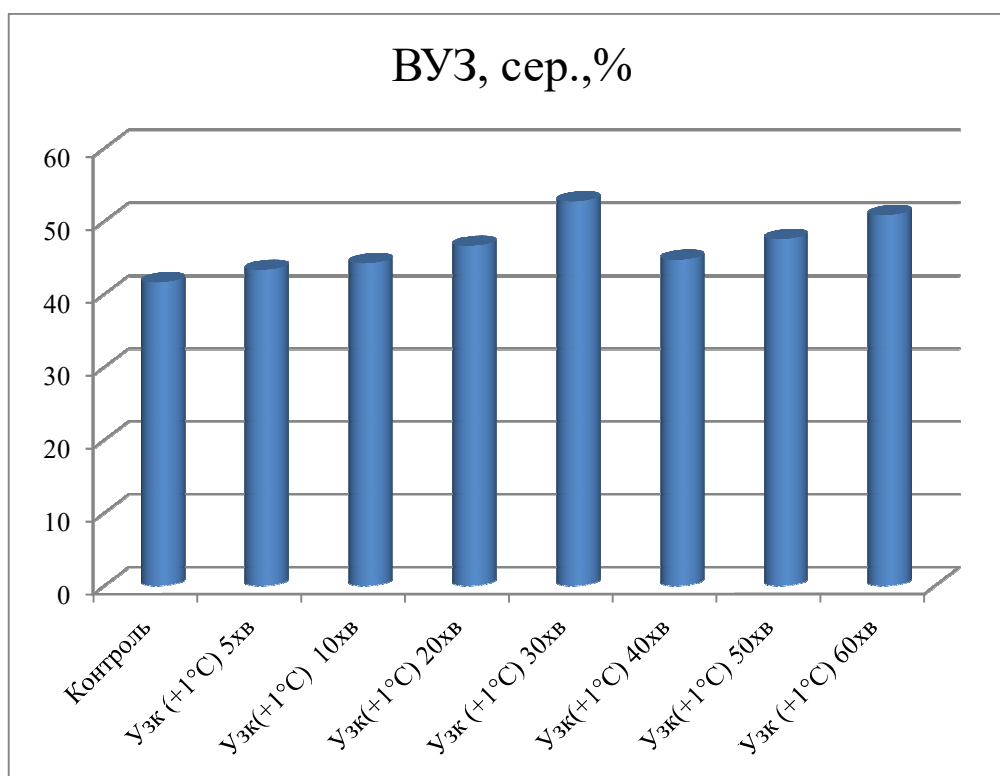
Обрахункові дані після УЗК

№ дослідження	Зразок	Ph, сер.	ВУЗ, сер.,%	Волога,сер.,%
1	Контроль	5,11	41,6	73,3
2	УЗК (+1°C) 5хв	5,14	43,3	73,3
3	УЗК(+1°C) 10хв	5,19	44,2	73,3
4	УЗК (+1°C) 20хв	5,25	46,6	74,9
5	УЗК (+1°C) 30хв	5,27	52,7	74,3
6	УЗК (+1°C) 40хв	5,28	44,7	72,9
7	УЗК (+1°C) 50хв	5,34	47,5	74
8	УЗК (+1°C) 60хв	5,45	50,8	73,3

Динаміка зміни рН та ВУЗ у дослідних зразках, після різних режимів обробки, викладені у діаграмах 3.1. та 3.2.



Діаграма 3.1. Динаміка зміни Ph



Діаграма 3.2. Динаміка зміни ВУЗ

Таким чином, з даних наведених вище, знайдено підтвердження позитивного впливу ультразвукової кавітації на досліджувальні показники. Отже, для подальших досліджень обираються дві часові експозиції – 30 хв та 60 хв. Наступним етапом досліджень було порівняння визначених оптимальних етапів обробки з засоленим м'ясом. М'ясо солилося сухим способом, з додаванням різної кількості нітритно-засолювальної суміші, а саме – 2% та 2,5%. Ультразвукову обробку, було вирішено для більшої об'єктивності досліджень, проводити за різної температури води (+1°C та +5°C).

Складаємо матрицю ПФЕ 2<sup>3</sup>. Для даного дослідження використовувалась яловичина з початковим Ph 5,48. Наводимо матрицю ПФЕ 2<sup>3</sup> у таблиці 3.1.2.

**Таблиця 3.2.**

**Матриця ПФЕ 2<sup>3</sup>**

№ п	x <sub>0</sub>	x <sub>1</sub> (Темп.)	x <sub>2</sub> (Час)	x <sub>3</sub> (Нітритна сіль)	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	Температура, °C	Час, хв	Концентрація нітритної солі, %	$\bar{y}_1$ (рН,сер.)	$\bar{y}_2$ (ВУЗ, сер.)
1	+	-	-	-	+	+	+	-	1	30	2,00	5,56	58,5
2	+	-	-	+	+	-	-	+	1	30	2,50	5,57	61,8
3	+	-	+	-	-	+	-	+	1	60	2,00	5,64	60,2
4	+	-	+	+	-	-	+	-	1	60	2,50	5,66	63,5
5	+	+	-	-	-	-	+	+	5	30	2,00	5,51	53,2
6	+	+	-	+	-	+	-	-	5	30	2,50	5,52	56,5
7	+	+	+	-	+	-	-	-	5	60	2,00	5,54	54,8
8	+	+	+	+	+	+	+	+	5	60	2,50	5,55	58,1

Стовпці x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, x<sub>3</sub> - це закодовані значення факторів, необхідні для розрахунків.

Стовпці x<sub>1</sub>x<sub>2</sub>, x<sub>1</sub>x<sub>3</sub>, x<sub>2</sub>x<sub>3</sub>, x<sub>1</sub>x<sub>2</sub>x<sub>3</sub> - Стовпці для оцінки ефектів взаємодії між факторами. Знак у цих стовпцях отриманий множенням знаків відповідних основних факторів. Стовпці "Температура", "Час", "Концентрація нітритної солі" - натуральні значення факторів для зручності проведення експерименту стовпцях " $\bar{y}$  (рН)" та " $\bar{y}$  (ВУЗ)" – наведені середні дослідні значення.

### 3.2 Статистична обробка даних рН та ВУЗ .

На основі результатів повного факторного експерименту (ПФЕ 2<sup>3</sup>), наведеного у 3.1, побудуємо рівняння регресії для показника рН, перевіримо значущість коефіцієнтів за критерієм Стьюдента та оцінимо адекватність отриманої моделі за критерієм Фішера. Для визначення однорідності дисперсій розраховуємо дисперсії по рядках матриці планування за паралельними дослідженнями, за формулою 3.2.1. У таблиці 3.2.1 наводимо дані по 3 паралельним вимірюванням для кожного досліду.

$$S_u^2 = \sum_{k=1}^m (y_{uk} - \bar{y}_u)^2 / (m - 1). \quad (3.3.)$$

Де:

$y_{uk}$ — вимірювання (3 значення рН для і-го зразка)

$m$  — кількість повторів

$\bar{y}_u$  — середнє значення для цього рядка

**Таблиця 3.3.**

Дані паралельних вимірювань Ph

№ досліду	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub>	pH <sub>3</sub>	S <sub>u</sub> <sup>2</sup>
1	5.556	5.563	5.563	0.000015
2	5.568	5.570	5.569	0.000002
3	5.642	5.643	5.636	0.000014
4	5.655	5.663	5.659	0.000016
5	5.513	5.505	5.509	0.000015
6	5.522	5.517	5.524	0.000013
7	5.544	5.535	5.535	0.000025
8	5.550	5.554	5.549	0.000008

Середня дисперсія досліду S<sub>0</sub><sup>2</sup> визначається усередненням рядкових дисперсій за формулою 3.2.2.

$$S_0^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2 = \frac{1}{N(m-1)} \sum_{u=1}^N \sum_{k=1}^m (y_{uk} - \bar{y}_u)^2. \quad (3.4.)$$

Для зручності обчислень, її можна переписати, як  $S_0^2 = \Sigma S_u^2 / N$ ,

Де:  $S_u^2$  - рядкова дисперсія;

$N$  - кількість рядків.

У таблиці 3.2.2 наведені середні значення рН ( $\bar{y}_i$ ) для 8 дослідних точок ПФЕ 2<sup>3</sup>. Кожне значення є середнім із трьох паралельних вимірювань.

**Таблиця 3.4.**

Дані середніх Ph

№ досліду	$\bar{y}$ (рН, середнє з 3 вимірювань)
1	5.560
2	5.570
3	5.640
4	5.660
5	5.510
6	5.520
7	5.540
8	5.550

Провівши обрахунки за формулою 3.4, отримали  $S_0^2 = 0.000014$ .

Розраховуємо коефіцієнти рівняння регресії. Матриця планування містить стовпці  $x_1, x_2, x_3$  та їх парні і потрійні взаємодії  $x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3, x_1x_2x_3$ . Для зручності розрахунків додається фіктивний фактор  $x_0 = +$  для обчислення вільного члена  $b_0$ . Коефіцієнти  $b_i$  для ПФЕ розраховуємо за формулою 3.2.3, що базуються на ортогональності матриці планування. Рівняння регресії обраховується за формулою 3.5.

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u; \quad i = \overline{0, n}; \quad (3.5.)$$

Де:  $N$  — кількість дослідів;

$\bar{y}_u$  — середня відгуку в  $u$ -ому досліді;

$x_{iu}$  — рівень фактора  $i$  у досліді  $u$  ( $\pm 1$ );

$x_{iu} x_{ju}$  — стовпець взаємодії;

Результати обрахунків коефіцієнтів  $b_i$  наведені у таблиці 3.5.

**Таблиця 3.5.**

Результати обрахунків коефіцієнтів  $b_i$

Коефіцієнт	Значення $b_i$	Фактор/взаємодія
$b_0$	5.56875	Вільний член
$b_1$	-0.03875	Ефект температури ( $x_1$ )
$b_2$	0.02875	Ефект часу ( $x_2$ )
$b_3$	0.00625	Ефект концентрації нітритної солі ( $x_3$ )
$b_{12}$	-0.01375	Взаємодія $x_1x_2$
$b_{13}$	-0.00125	Взаємодія $x_1x_3$
$b_{23}$	0.00125	Взаємодія $x_2x_3$
$b_{123}$	-0.00125	Потрійна взаємодія $x_1x_2x_3$

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n b_{ij} x_i x_j, \quad (3.6.)$$

для зручності обчислень її можна переписати як:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3.$$

Дисперсія коефіцієнтів для ПФЕ, згідно формули 3.2.5., однакова для всіх  $b_i$ .

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_0^2}{Nm}. \quad (3.7.)$$

Після обрахунків маємо -  $S_{b_i}^2 = 0.00000056$ .

Розрахункове значення критерію Стьюдента для кожного коефіцієнта визначається за формулою 3.2.5.

$$t_p = |b_i| / \sqrt{S_{b_i}^2} \quad (3.8.)$$

Розрахунковий критерій Стьюдента наведений у таблиці 3.6.

**Таблиця 3.6.**

Результати обрахунків критерію Стьюдента

Коефіцієнт	$b_i$	$t_p$	Висновок
$b_0$	5.56875	7412.51	значущий
$b_1$	-0.03875	51.58	значущий
$b_2$	0.02875	38.27	значущий
$b_3$	0.00625	8.32	значущий
$b_{12}$	-0.01375	18.30	значущий
$b_{13}$	-0.00125	1.66	не значущий
$b_{23}$	0.00125	1.66	не значущий
$b_{123}$	-0.00125	1.66	не значущий

Число ступенів свободи для оцінки дисперсії  $S_0^2$  розраховується за формулою 3.9.

$$f_0 = N(m - 1) \quad (3.9)$$

$$f_0 = N(m - 1) = 8 \cdot 2 = 16$$

За таблицею критерію Стьюдента при  $q = 0,05$  та  $f_0 = 16$  отримуємо  $t_{\text{табл}} \approx 2.12$ . Якщо  $t_p > t_{\text{табл}}$ , коефіцієнт вважається значущим та залишається у рівнянні регресії, якщо  $t_p < t_{\text{табл}}$  — коефіцієнт вважається незначущим і може бути виключений.

Із таблиці видно, що коефіцієнти  $b_{13}$ ,  $b_{23}$  та  $b_{123}$  мають  $t_p < t_{\text{табл}}$  і, отже, є статистично незначущими. Тому їх виключаємо з подальшого аналізу.

З урахуванням виключення незначущих коефіцієнтів ( $b_{13}$ ,  $b_{23}$ ,  $b_{123}$ ) остаточне рівняння регресії для рН у закодованих змінних має вигляд:

$$\bar{y} = 5.56875 - 0.03875 \cdot x_1 + 0.02875 \cdot x_2 + 0.00625 \cdot x_3 - 0.01375 \cdot x_1 x_2.$$

Де  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  – закодовані значення температури, часу та концентрації нітритної солі відповідно.

Для перевірки адекватності моделі розраховують дисперсію адекватності  $S_{ад}^2$  за формулою 3.9.

$$S_{ад}^2 = m \cdot \Sigma (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2 / (N - L), \quad (3.10.)$$

Де:  $m$  – кількість паралельних дослідів,  $N$  – кількість дослідних точок,  $L$  – кількість значущих коефіцієнтів рівняння регресії,  $\bar{y}_u$  – експериментальне середнє значення,  $\hat{y}_u$  – розрахункове значення за рівнянням регресії. Розрахункові дані представлені у таблиці 3.7.

**Таблиця 3.7.**

Результати обчислень  $(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2$

№ дослідів	$\bar{y}_u$ (експериментальне)	$\hat{y}_u$ (розрахункове)	$(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2$
1	5.56000	5.55875	0.00000156
2	5.57000	5.57125	0.00000156
3	5.64000	5.64375	0.00001406
4	5.66000	5.65625	0.00001406
5	5.51000	5.50875	0.00000156
6	5.52000	5.52125	0.00000156
7	5.54000	5.53875	0.00000156
8	5.55000	5.55125	0.00000156

Сума квадратів відхилень  $\Sigma (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2 = 0.00003750$ .

Кількість значущих коефіцієнтів  $L = 5$ , отже число ступенів свободи для перевірки адекватності:  $f_{ад} = N - L = 8 - 5 = 3$ .

Підставляючи числові значення у формулу 3.2.7., одержуємо:

$$S_{ад}^2 = m \cdot \Sigma (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2 / (N - L) = 0.00003750.$$

Розрахункове значення критерію Фішера визначаємо як відношення дисперсії адекватності до дисперсії дослідів за формулою 3.2.8.

$$F_p = S_{ад}^2 / S_o^2 \quad (3.11.)$$

Підставляючи дані отримуємо  $F_p = S_{ад}^2 / S_o^2 = 2.768$ .

За статистичними таблицями критерію Фішера при рівні значущості

$q = 0,05$ ,  $f_{ад} = 3$  та  $f_0 = 16$  табличне значення становить приблизно  $F_{табл} \approx 3.24$ .

Оскільки  $F_p = 2.768 < F_{табл} = 3.24$ , гіпотеза щодо адекватності отриманого рівняння регресії не відкидається. Рівняння регресії для рН адекватно описує результати повного факторного експерименту в межах прийнятої довірчої ймовірності.

За аналогічною методикою та аналогічними формулами, обраховуємо адекватність рівняння регресії для ВУЗ. Обрахунки наводимо у таблицях 3.8., 3.9., 3.10., 3.11.

**Таблиця 3.8.**

Дані паралельних вимірювань ВУЗ

№	y1	y2	y3
1	60.32	60.29	56.73
2	60.14	63.14	62.74
3	60.88	59.43	60.62
4	63.93	63.82	62.13
5	52.92	52.77	54.09
6	58.48	58.30	56.68
7	54.58	53.87	52.94
8	56.21	57.96	57.37
$S_0^2 = 1.439811$			
$S_u^2 = 0.059992$			

**Таблиця 3.9.**

. Дані середніх ВУЗ

№	ВУЗ (середнє)
1	58.50
2	61.80
3	60.20
4	63.50
5	53.20
6	56.50
7	54.80
8	58.10

**Таблиця 3.10.**Результати обчислень коефіцієнтів  $b_i$  та обчислень критерію Стюдента, ВУЗ.

Коефіцієнт	$b_i$	$t_p$
b0	58.32500	238.13
b1	-2.67500	10.92
b2	0.82500	3.37
b3	1.65000	6.74
b12	-0.02500	0.10
b13	-0.00000	0.00
b23	-0.00000	0.00
b123	0.00000	0.00

**Таблиця 3.11.**Результати обчислень  $(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2$ , ВУЗ

№ досліду	$\bar{y}_u$ (експериментальне)	$\hat{y}_u$ (розрахункове)	$(\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2$
1	58.50	58.52	0.0006
2	61.80	61.83	0.0006
3	60.20	60.18	0.0006
4	63.50	63.48	0.0006
5	53.20	53.17	0.0006
6	56.50	56.48	0.0006
7	54.80	54.83	0.0006
8	58.10	58.13	0.0006

$$S_{ад}^2 = 0.003750$$

$$F_p = 0.003, F_{табл} = 3.24$$

Оскільки  $F_p = 0.003 < F_{табл} = 3.24$ , гіпотеза щодо адекватності отриманого рівняння регресії не відкидається. Рівняння регресії для ВУЗ адекватно описує результати повного факторного експерименту в межах прийнятої довірчої ймовірності.

### 3.3 Інноваційний підхід у виробництві солених виробів з яловичини.

Зараз, у сучасному світі існує дуже малий асортимент цільном'язевих виробів з яловичини. До них входять: італійська «Брезаола», «Бастурма», «Білтонг». У нас є, лише, загальна технологія виготовлення Балика яловичого сирокоченого, за ДСТУ 4671:2006 Продукти з яловичини, баранини варені, копчено-варені, сирокочені. Загальні технічні умови [30]. Проте, за українськими стандартами не регламентується, у готових виробках ні кількість вологи, ні активність води. Розроблена рецептура та технологія орієнтується на ці показники. Крім того, розроблена технологія в рамках цієї кваліфікаційної роботи, орієнтована на посилення шинкового смаку в готових сирокочених виробках з яловичини. Це забезпечується поєднанням класичних етапів з ультразвуковою кавітацією.

Далі наводиться порівняння між «Класичною» технологією та новим способом. «Класична» технологія виробництва сирокоченої яловичини включає в себе наведені нижче етапи.

Частини яловичини жилуються, потім ін'єктуються концентрованим розсолем (густиною 24° за Боме). При ін'єктуванні вводиться до 10% розсолу від маси сировини. Після ін'єктування яловичина засолюється вологим або змішаним способом. Після 7-9 діб перебування у розсолі яловичина виймається та промивається теплою водою і викладається на штабелі на 3-5 діб для стікання та підсушування поверхні. Потім проводиться холодне копчення при температурі 18-22 °С на протязі 48-72 годин. Після вистигання яловичина може йти в реалізацію. Якщо вона призначена для тривалого перевезення або зберігання, то її необхідно попередньо просушити на протязі 5-7 діб. Вихід готової копченої яловичини до маси відрубів становить 80%. Продукт, отриманий за даним способом, має низькі смакові якості, піддається дуже тривалому копченню, що збільшує ризик вживання канцерогенів, має короткий термін зберігання за рахунок того, що не контролюються важливі фізико-хімічні показники кінцевого продукту – волога, рН, активність води.

В основу інноваційного підходу, була поставлена задача вдосконалення

способу виробництва сирокопченої яловичини таким чином, щоб збільшити термін сушіння, що призводить до виникнення характерного шинкового смаку та аромату м'ясних делікатесів, притаманних для виробів з різних європейських країн за рахунок подовженого терміну протеолізу та ліполізу у сировині. Скоротити час копчення для мінімізації потрапляння канцерогенів в організм кінцевого споживача. Підвищити та контролювати бар'єрні властивості продукту, що в свою чергу позитивно впливає на зберігання та транспортування продукції. Зменшення ризику перехресного забруднення та контамінації на етапі соління м'яса.

Поставлені задачі вирішуються тим, що у способі виготовлення сирокопчених цільном'язевих виробів з яловичини, що включає послідовне приймання сировини, обвалювання, жилювання, соління з додаванням соєвого соусу 2.0% , нітритно-засолювальної суміші 2.5%, цукру 1.0%, чорного меленого перцю 1,0%, кожний шматок у індивідуальній вакуумній упаковці, протягом 10-15 діб. Потім, перед копченням, сировина піддається дії ультразвукової кавітації, протягом 60хв при температурі 1°C, з потужністю ультразвукових коливань 60 Вт, частотою ультразвукових коливань 40 кГц. Далі сировина виймається з вакуумних пакетів та підсушуються на решітках при температурі 2-4°C та відносній вологості середовища 65-75%, протягом 12-18 год, і піддаються холодному копченню протягом 100-120 хв при температурі 18-22°C. Далі сировина досушується у кліматичній камері, до втрати вологи 30-40% та досягнення активності води  $< 0,88 a_w$ . Також, контролюється вихідний  $Ph < 5.0$  Далі готові вироби охолоджуються (частина передається до лабораторії), фасуються у вакуумні пакети, маркуються та йдуть у реалізацію. На рисунку 3.3.1. наводиться технологічна схема виробництва сирокопченої яловичини з використанням ультразвукової кавітації.



Рис. 3.7 Технологічна схема виробництва сирокопченої яловичини використанням ультразвукової кавітації.

Для досягнення більшої об'єктивності дослідження нового способу виробництва сирокоченої яловичини, результат порівнювався між технологією з використанням УЗК та аналогічною технологією без використання УЗК. У таблиці 3.1.1. наведено ключові відмінності між «Класичною» та інноваційною.

**Таблиця 3.12**

**Відмінності між технологіями**

№	Показник/метод обробки	Відомий спосіб	Змінена технологія	Змінена технологія + ультразвукова кавітація
1	Наявність індивідуального вакуумного пакування під час соління	-	+	+
2	Тривалість холодного копчення	48-72 години	100-120 хв	100-120 хв
3	Тривалість сушіння	Або 0 діб, або 5-7 діб	18-25 діб	18-25 діб
4	Ph готового продукту	не нормується	4,56	4.75
5	Кількість залишкової вологи у %	не нормується	42.6	50.2
6	Активність води, $a_w$	не нормується	0,851	0,872
7	Вихід готового продукту, у % до несоленої сировини	80	59	62.1
8	Кількість солі при засолюванні, у %	3-3.5	2.5	2.5
9	Наявність ультразвукової обробки	-	-	+
10	Інтенсивність «шинкового» смаку та аромату	Слабо виражений, переважає смак та аромат копченого продукту	більш виражений з приємним, легким присмаком копчення	самий яскравий з усіх трьох зразків, з приємним, легким присмаком диму

З даних наведених у таблиці належить зробити висновок, що корисна модель має ряд переваг над «класичною» технологією та зміненою технологією, яка реалізувалася без використання ультразвукової кавітації.

Результати комплексу досліджень наведені нижче у таблицях 3.13 та 3.14.

Таблиця 3.13

Дані отримані з науково дослідної лабораторії ННІХТ

Параметр, зразок	Шифр	З УЗК	Без УЗК
Температура	$t$	16,6	17,3
Точка роси/інею	$Dp$	14,66	14,75
Температура по вологому термометру	$T_w$	15,48	15,72
Ентальпія	$H$	43,57	44,23
Концентрація пари	$D_v$	12,45	12,51
Питома вологість	$Q$	10,44	10,5
Співвідношення концентрацій компонентів суміші	$R$	10,55	10,61
Концентрація пари при насиченні	$D_s$	14,28	14,7
Парціальний тиск водяної пари	$E$	16,67	16,77
Тиск насиченої пари води	$E_w$	19,11	19,71
$A_w$	$a_w$	0,872	0,851

Таблиця 3.14

Дані отримані під час досліджень

Показник	Зразок з ультразвуком	Без ультразвуку (контроль)
Жир у сухій речовині, %	44,88	44,7
Пластичність, см <sup>2</sup> /г	5,77	5,47
Волога, %	50,2	42,6
Активність води ( $a_w$ )	0,872	0,851
Вихід, %	63	59
pH	4,75	4,56
Органолептична оцінка, бал.	4,8	4,66
Буферна ємність (луги), ммоль/(г·рН)	0.06565	0.06838
Буферна ємність (кислота), ммоль/(г·рН)	0.08288	0.06621

Далі наводяться графіки та рисунки, які ілюструють дослідження. А саме: Рис.3.8, Рис.3.9, Рис.3.10, Рис.3.11.

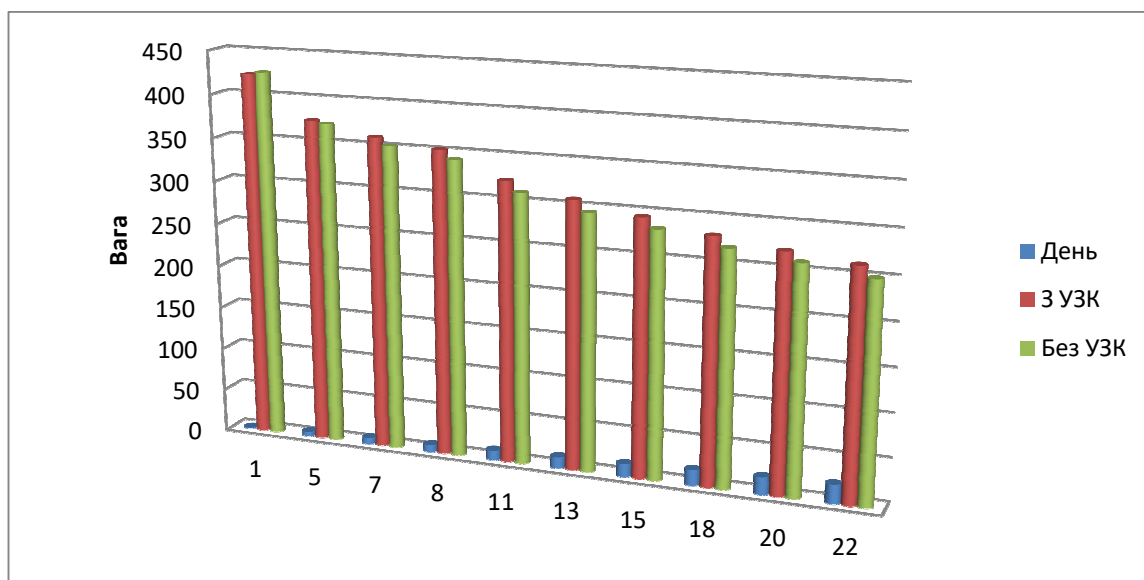


Рис. 3.8 Динаміка зміни ваги, в грамах.

Рисунок 3.8 наглядно демонструє різницю втрати маси під час сушіння зразка з ультразвуковою обробкою та зразка без ультразвукової обробки, що підтверджує корисний вплив УЗК на ВУЗ солених виробів з яловичини.

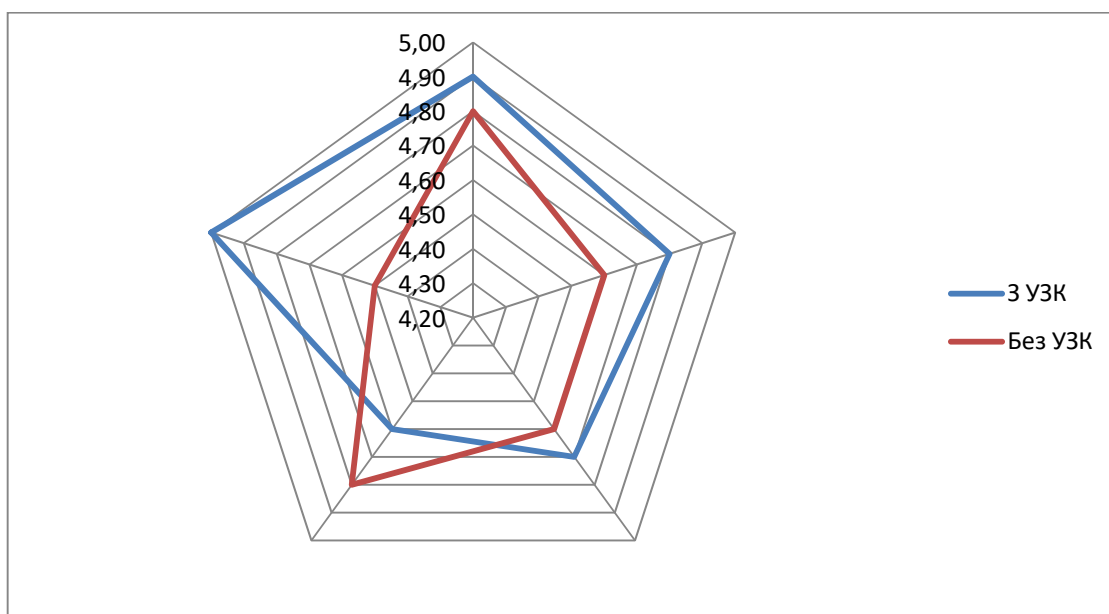


Рис. 3.9 Органолептичне порівняння.

Органолептичне дослідження проводилося за п'ятибальною шкалою.

Зразок, який був виготовлений за допомогою УЗК, мав більш яскраво виражений шинковий смак та аромат, мав м'якшу текстуру та легкий, але помітний, аромат копчення.



Рис. 3.10 Дослідження кількості ліпідів

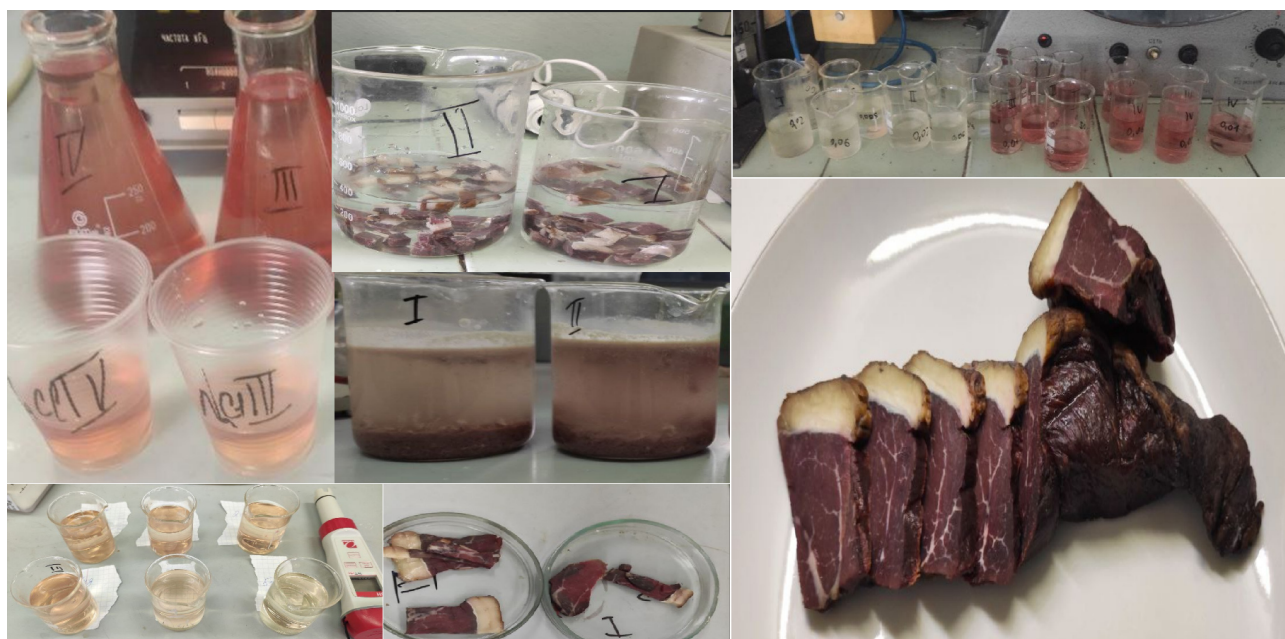


Рис. 3.11 Дослідження БС, Ph, вологи

### Висновок за розділом 3

У результаті виконаних експериментальних, розрахункових та аналітичних досліджень, наведених у розділі 3, отримано комплекс взаємопов'язаних даних, які дозволяють зробити науково обґрунтовані висновки щодо впливу ультразвукової кавітації на фізико-хімічні, технологічні та органолептичні показники яловичини, а також оцінити доцільність її застосування в інноваційній технології виробництва сиров'язаних цільном'язевих виробів.

Перш за все встановлено, що застосована в дослідженнях ультразвукова ванна з потужністю 60 Вт, частотою 40 кГц та розрахованою інтенсивністю ультразвукового випромінювання  $6,25 \text{ Вт/см}^2$  відноситься до високої інтенсивності ультразвукової обробки. Самостійне визначення цього параметра було необхідним у зв'язку з відсутністю відповідних даних у супровідній документації, а отримане значення дозволило коректно інтерпретувати ступінь впливу ультразвукової кавітації на м'ясну сировину. Таким чином, експериментальні дослідження проводилися в умовах, за яких очікується суттєвий фізичний та структурний вплив ультразвукових коливань на тканини яловичини.

Розрахунок довжини ультразвукової хвилі при різних температурах води ( $+1 \text{ }^\circ\text{C}$  та  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) показав, що зі зниженням температури середовища зменшується швидкість поширення звуку та, відповідно, довжина хвилі. При температурі  $+1 \text{ }^\circ\text{C}$  довжина хвилі становила 35,05 мм, тоді як при  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$  — 35,65 мм. Зафіксована різниця у швидкості звуку між цими температурами (24 м/с) свідчить про зміну акустичних властивостей середовища. На основі наведених розрахунків і фізичних передумов встановлено, що за нижчої температури води створюються умови для більш вираженого кавітаційного ефекту, що обґрунтовує вибір температури  $+1 \text{ }^\circ\text{C}$  як пріоритетної для подальших експериментальних досліджень.

Емпіричні дослідження впливу ультразвукової кавітації на яловичину, проведені за різної тривалості обробки (від 5 до 60 хв) при температурі  $+1 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

показали чітку залежність змін фізико-хімічних показників від часу ультразвукової дії. Встановлено поступове зростання значень рН у дослідних зразках порівняно з контролем, що свідчить про структурні та фізико-хімічні зміни у м'язовій тканині під дією ультразвуку. Максимальне значення рН (5,45) було зафіксовано після 60 хв обробки, тоді як у контрольному зразку цей показник становив 5,11.

Аналіз вологоутримуючої здатності (ВУЗ) показав, що ультразвукова кавітація чинить позитивний вплив на здатність м'ясної сировини утримувати вологу. Зі збільшенням часу обробки до 30 хв ВУЗ зростала з 41,6 % (контроль) до 52,7 %, що є максимальним значенням у серії дослідів. Подальше збільшення тривалості ультразвукової обробки призводило до коливань значень ВУЗ, однак у всіх дослідних зразках цей показник залишався вищим за контрольний. Отримані результати підтверджують, що ультразвукова кавітація сприяє підвищенню гідратаційних властивостей білкових структур яловичини.

На основі узагальнення динаміки змін рН та ВУЗ було обґрунтовано вибір двох часових режимів ультразвукової обробки — 30 та 60 хв — як найбільш доцільних для подальших досліджень. Саме ці режими забезпечували найбільш виражений позитивний ефект без різкого погіршення інших показників.

Подальший етап досліджень був спрямований на оцінку впливу ультразвукової кавітації у поєднанні з процесом соління яловичини із застосуванням різної концентрації нітритно-засолювальної суміші (2,0 % та 2,5 %) та за різної температури води (+1 °С і +5 °С). Проведення повного факторного експерименту 2<sup>3</sup> дозволило кількісно оцінити вплив основних факторів та їх взаємодій на показники рН та ВУЗ.

Статистична обробка результатів ПФЕ для показника рН показала, що найбільш значущими факторами є температура ультразвукової обробки, її тривалість та концентрація нітритної солі, а також взаємодія температури і часу обробки. Коефіцієнти регресійного рівняння для рН були перевірені за критерієм Стьюдента, в результаті чого встановлено, що коефіцієнти, які

відповідають взаємодіям  $X_1X_3$ ,  $X_2X_3$  та  $X_1X_2X_3$ , є статистично незначущими і можуть бути виключені з моделі. Остаточне рівняння регресії адекватно описує експериментальні дані, що підтверджено перевіркою за критерієм Фішера ( $F_p < F_{табл}$ ).

Аналогічна статистична обробка даних для показника ВУЗ показала, що основний вплив на цей показник мають температура, час ультразвукової обробки та концентрація нітритної солі, тоді як взаємодії факторів не проявляють статистичної значущості. Отримане рівняння регресії для ВУЗ також визнано адекватним, що підтверджується значенням критерію Фішера, істотно меншим за табличне.

Отримані результати статистичного аналізу дозволяють зробити висновок, що застосування ультразвукової кавітації у поєднанні з контрольованими параметрами соління є ефективним інструментом цілеспрямованого регулювання рН та вологоутримуючої здатності яловичини.

У межах підрозділу 3.3 обґрунтовано інноваційний підхід до виробництва сирокочених цільном'язевих виробів з яловичини. Проведене порівняння класичної технології, зміненої технології без ультразвукової обробки та зміненої технології з використанням ультразвукової кавітації показало суттєві переваги останньої. Застосування індивідуального вакуумного пакування під час соління, скорочення тривалості холодного копчення до 100–120 хв та контрольоване тривале сушіння дозволили отримати продукт із прогнозованими фізико-хімічними показниками.

Встановлено, що зразки, виготовлені з використанням ультразвукової кавітації, характеризуються вищим виходом готового продукту (62,1 %), підвищеним вмістом води (50,2 %), контрольованою активністю води ( $a_w = 0,872$ ) та більш високими органолептичними показниками порівняно із зразками, виготовленими без ультразвукової обробки. При цьому скорочення часу копчення потенційно знижує ризик накопичення небажаних компонентів, що утворюються під час тривалого впливу диму.

Дані лабораторних досліджень підтвердили, що застосування

ультразвукової кавітації не призводить до негативних змін показників жиру в сухій речовині, буферної ємності чи інших важливих характеристик, а навпаки — сприяє формуванню більш пластичної структури та вираженого шинкового смаку й аромату.

Таким чином, результати, отримані у розділі 3, у сукупності свідчать про доцільність і ефективність використання ультразвукової кавітації як інструменту інтенсифікації технологічних процесів у виробництві сирокочених цільном'язевих виробів з яловичини. Отримані експериментальні та статистично підтвержені дані є достатньою науковою основою для впровадження запропонованої технології в умовах м'ясопереробних підприємств.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ЗАДАНОГО ВИРОБНИЦТВА

Згідно з Кодексом законів про працю України, основним завданням керівництва підприємства є забезпечення таких умов праці, які гарантують збереження життя та здоров'я персоналу під час трудової діяльності. Персональна відповідальність за дотримання законодавства в цій сфері покладається на керівника організації. Інженери, які працюють у цеху, несуть пряму відповідальність за безпеку підлеглих їм працівників. Вони повинні чітко усвідомлювати існуючі виробничі ризики та шкідливі фактори, а також володіти знаннями про методи та засоби забезпечення безпеки технологічних процесів. Для контролю за виконанням вимог охорони праці в ковбасному цеху діє багатовимірна система нагляду, що включає державний нагляд, адміністративний та громадський контроль. Безпосереднє керування та організація безпеки на виробництві здійснюється інженером з охорони праці. Відповідно до чинних нормативних вимог, цю посаду займає головний технолог за сумісництвом [31].

**1. Захист від шуму.** Нуково доведено, що виробничий шум має найшкідливіший вплив на слух людини у діапазоні частот від 3000 до 6000 Гц, тоді як розбірливість мови найбільш значно знижується під впливом частот 1000–2000 Гц. Найбільші втрати слуху, як правило, виникають протягом перших десяти років роботи в умовах підвищеного шуму. Крім слухового сприйняття, шум негативно впливає на загальний стан працівника: викликає стомлюваність, знижує продуктивність праці в середньому на 10–15%, а також може призводити до звуження поля зору та порушення рівноваги, підвищуючи ризик травматизму.

Боротьба з шумом, згідно з вимогами ДСТУ ISO 9612:2019, ведеться у двох напрямках. До індивідуальних засобів захисту (ЗІЗ) належать протишумові навушники, вкладиші, шоломи та каски. Колективні заходи є пріоритетними і включають зниження рівня шуму в самому джерелі його виникнення через застосування малошумного обладнання, ізоляцію джерел

шуму за допомогою звукоізолюючих кожухів та екранів, а також акустичну обробку приміщень звукопоглинальними матеріалами та раціональне планування виробничих зон [32].

**2. Захист від вібрації.** Джерелом виробничої вібрації, згідно з ДСТУ ISO 2631-1:2006 та ДСН 3.3.6.042-99, є обладнання з обертовими або ударними механізмами, таке як вентилятори, насоси та компресори. Вібрація не лише погіршує умови праці, але й передається на будівельні конструкції, створюючи структурний шум у суміжних приміщеннях. Основним методом боротьби з вібрацією є віброізоляція, яка полягає у монтажі обладнання на спеціальні фундаменти з акустичним розривом та використанні гнучких вставок у комунікаціях. Важливе значення має регулярне технічне обслуговування, спрямоване на балансування та центрування обертових частин, а також усунення люфтів і перекосів. До організаційних заходів входять періодичний контроль вібрації (щорічно для загальної та двічі на рік для локальної вібрації) та обмеження тривалості контакту працівників з вібруючими поверхнями [33, 34].

**3. Виробниче освітлення.** Вимоги до виробничого освітлення регламентуються ДБН В.2.5-28:2018. Воно поділяється на природне (бокове, верхнє, комбіноване) та штучне. Штучне освітлення, у свою чергу, буває загальним, локалізованим або комбінованим. Слід зазначити, що використання лише місцевого освітлення без загального категорично заборонено. За своїм призначенням штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, евакуаційне та охоронне. Нормована освітленість для основних робочих зон у виробничих цехах становить 200 лк. Для її забезпечення переважно застосовуються люмінесцентні лампи, тоді як на складах та для аварійного освітлення часто використовуються лампи розжарювання [35].

**4. Електробезпека.** Питання електробезпеки, що регулюються ПУЕ та ДСТУ EN 61140:2016, мають критичне значення, оскільки близько 18% тяжких травм у галузі пов'язані саме з ураженням електричним струмом. Відповідно до нормативів, усі виробничі приміщення класифікуються за ступенем небезпеки:

без підвищеної небезпеки, з підвищеною небезпекою та особливо небезпечні. Ключовим заходом захисту є бездоганне функціонування системи захисного заземлення, опір якого не повинен перевищувати 4 Ом, з обов'язковою щорічною перевіркою. Для персоналу передбачено використання діелектричних засобів захисту (килимків, рукавиць, взуття), а для сирих приміщень – обов'язкове застосування вологостійкої ізоляції. Небезпечним для життя вважається струм силою вже понад 0,02 А (змінний) та 0,05 А (постійний) [36, 37].

**5. Пожежна безпека.** Пожежна безпека на підприємстві регулюється значним масивом нормативних документів, серед яких ключові: Закон України «Про пожежну безпеку», ДБН В.1.1-7:2016, ДБН В.2.5-56:2014 та ПУЕ. Фундаментальною вимогою є обов'язкова класифікація всіх приміщень та зон за категоріями вибухо- та пожежної небезпеки згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Для підтримки безпечного середовища всі приміщення обладнуються приточно-витяжною вентиляцією. Об'єкт у обов'язковому порядку забезпечується первинними засобами пожежогасіння (вогнегасниками, піском, покривалами), які розміщуються на спеціальних пожежних щитах, а місця їх розташування позначаються знаками безпеки відповідно до ДСТУ EN ISO 7010:2019 [36, 38, 39, 40, 41, 42].

## РОЗДІЛ 5

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ НАУКОВОЇ РОЗРОБКИ

Метою даної магістерської роботи було розроблення інноваційного способу виробництва сирокоченої яловичини із застосуванням ультразвукової кавітації. У цьому розділі розглянуто техніко-економічні показники ефективності наукової розробки за загальноприйнятою методикою розрахунків. Спочатку здійснено розрахунок собівартості та повну собівартість, а далі - визначено рентабельність розробки. У таблиці 5.1 наведені ціни на сировину, яка необхідна для даної розробки.

**Таблиця 5.1.**

Актуальні ціни на сировину

Позиція	Ціна (грн/кг)
Яловичина	360.00
Нітритна сіль	23.00
Цукор	24.00
Соевий соус	80.00
Чорний перець	470.00

Для масштабування виробництва даного продукту необхідно придбати ультразвукову ванну, об'ємом 30 л. Вона дозволить одночасно обробляти 10 кг яловичини. Коштує така ультразвукова ванна – 15000 гривень. Також, для виробництва цього інноваційного продукту необхідна така допоміжна сировина: вакуумні пакети — 554 грн за 200 шт (2,77 грн/шт), букові тріски 80 грн за 5 л - 1,60 грн/кг. Для виготовлення 1 кг кінцевого продукту необхідно використовувати 1,5873 кг яловичини. Кількість додаткових інгредієнтів розраховується у тих самих пропорціях, що й у вихідній рецептурі:

- сіль — 2,0% від ваги сировини;
- цукор — 0,3% від ваги сировини;
- соєвий соус — 1,5% від ваги сировини;

- перець — 0,3% від ваги сировини.

Іншими словами, маса кожного інгредієнта визначається пропорційно до основної сировини (1,5873 кг яловичини).

Далі розраховуємо суми прямих та допоміжних витрат та наводимо у таблицях 5.2. та 5.3..

**Таблиця 5.2.**

Сума прямих витрат

Інгредієнт	Витрати (кг)	Ціна (грн/кг)	Вартість (грн)
Яловичина	1.587	360.00	571,43
Нітритна сіль (2,0%)	0.0317	23.00	0,73
Цукор (0,3%)	0.0048	24.00	0,12
Соевий соус (1,5%)	0.0238	80.00	1,90
Чорний перець (0,3%)	0.0048	470.00	2,26
Сума вартості сировини 576.44 гривень			

**Таблиця 5.3.**

Сума допоміжних витрат

Витрата	Розрахунок	Вартість (грн/кг)
Вакуумний пакет	554 грн/200 шт.	2,77
Букові тріски	80 грн/50кг	1,60
Вода	2л/0.03 грн	0,06
Зарплатня	7.5грн/кг	7,50
Амортизація ванни	15,000 грн/5000 кг	3,00
Електроенергія	6,7 кВт/4,32	28,94
Сума 43,87 гривень		

Розраховуємо собівартість. Собівартість розраховується шляхом додавання основних та допоміжних витрат. В даній роботі це дорівнює 620,31

гривень.

Далі розраховуємо повну собівартість. Оскільки ця продукція буде реалізовуватись в межах готельно-ресторанного комплексу, то витрати на реалізацію та логістику, не включаємо до розрахунків, тому, розрахунок повної собівартості полягає у додаванні собівартості та адміністративних витрат. Для данного виробу це дорівнює - 639 гривень. Ціну реалізації формуємо шляхом множення повної собівартості на 2. Тоді отримуємо ціну реалізації, яка дорівнює 1280 гривень.

Далі розраховуємо чистий прибуток. Для цього потрібно від ціни реалізації відняти ПДВ. Віднявши ПДВ, ми отримуємо ціну, яка дорівнює 1066,67 гривень.

Розраховуємо прибуток. Він розраховується шляхом віднімання собівартості від ціни без ПДВ. Після обчислень отримано прибуток у розмірі 426,67 гривень.

Потім розраховуємо чистий прибуток, віднявши від прибутку 18% податку на дохід. Таким чином отримано чистий прибуток у розмірі 349,87 грн/кг. Далі розраховуємо рентабельність. Рентабельність розраховується за формулою 5.1.

$$\text{Рентабельність} = \left( \frac{\text{Чистий прибуток}}{\text{Ціна без ПДВ}} \right) \times 100\% \quad (5.1.)$$

Зробивши обрахунки, отримано рентабельність яка дорівнює 32,8 %.

Отже, таким чином було доведено, що розробка сирової яловичини з використанням УЗК – має економічну доцільність.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

### Висновки

1. Проведене дослідження засвідчує що вдосконалення технологій виробництва цільном'язевих яловичих продуктів є надзвичайно важливим. Це обумовлено необхідністю підвищення харчової якості, раціонального використання туші, поліпшення зберігання та підвищення конкурентоспроможності м'ясних виробів. Застосування інноваційних підходів, зокрема ультразвукової кавітації (УЗК), створює передумови для модернізації існуючих технологій.
2. Хімічний склад яловичини відрізняється високою поживною цінністю, що зумовлено значною кількістю білків, невеликим вмістом жиру та збалансованим складом амінокислот і мінералів. Структурні особливості різних відрубів визначають їх технологічні характеристики, такі як здатність утримувати вологу, текстуру та якість кінцевого продукту.
3. Дані літератури підтверджують, що ультразвукова обробка є ефективним методом поліпшення функціональних властивостей м'яса. Низькочастотний ультразвук сприяє розщепленню м'язових волокон, покращує проникнення розсолів, активує ферменти, підвищує вологоутримуючу здатність і прискорює пом'якшення. Кавітаційний ефект забезпечує інтенсифікацію масо- та теплообміну, стабілізує забарвлення і покращує органолептичні показники готових виробів.
4. Методологія, представлена в роботі, дозволила чітко сформулювати мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, що забезпечило наукову обґрунтованість експериментів. Стандартизація умов, застосування комплексу методів аналізу та статистична обробка результатів гарантували їх достовірність і відтворюваність.
5. В ході експериментальних досліджень встановлено закономірності впливу УЗК на рН та вологоутримуючу здатність яловичини. На підставі пошукових експериментів визначено оптимальні умови

обробки, розроблено план ПФЕ та отримано математичні моделі, що підтвердили адекватність і статистичну значущість результатів.

6. Розроблена технологія виробництва сирокоченої яловичини з використанням ультразвукової кавітації виявила суттєві переваги: поліпшення фізико-хімічних показників, збільшення виходу готової продукції, подовження термінів зберігання, покращення текстури, кольору та смаку, а також більш рівномірне просочування сіллю та спеціями. Це свідчить про перспективність використання УЗК у галузі та потребу подальших досліджень.
7. Розділи, присвячені охороні праці та економічній ефективності, довели, що впровадження УЗК є безпечним та економічно доцільним. Підвищення виходу продукції та подовження її термінів зберігання забезпечують фінансову вигоду і обґрунтовують практичне застосування технології.

#### Рекомендації

1. Доцільно впроваджувати ультразвукову кавітацію в технологічний процес виробництва цільном'язевих яловичих виробів для оптимізації їх структурно-механічних і функціональних характеристик.
2. Параметри ультразвукової обробки слід коригувати відповідно до типу сировини та її морфології, використовуючи отримані моделі як основу для вибору найефективніших режимів.
3. Найбільш ефективним є використання УЗК на стадіях посолу чи соління, оскільки це істотно підвищує проникність тканин, прискорює дифузійні процеси та сприяє стабілізації якості.
4. Рекомендується впровадити УЗК в систему операційного контролю, що забезпечить сталість параметрів готового виробу та знизить відхилення між партіями.
5. Подальші дослідження рекомендується сконцентрувати на вивченні впливу ультразвуку на мікробіологічні, колагенові та окисні зміни, а

також на прогнозування активності води та термінів зберігання.

6. Для промислового впровадження необхідно розробити енергоощадні конструкції ультразвукових установок та адаптувати режими обробки до потокових ліній переробки.
7. УЗК доцільно використовувати для підвищення доданої вартості менш цінних відрубів туші, що дає змогу розширити асортимент якісних цільном'язевих продуктів.

## Список використаних джерел

- 1** Методичні рекомендації до виконання випускової кваліфікаційної роботи [Електронний ресурс]: на здобуття освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 181 Харчові технології» освітньо-професійної програми «Технології зберігання, консервування та переробки м'яса» денної та заочної форм навчання / Уклад.: В.М. Пасічний, О.І. Гащук, О.А. Топчій,. – К.: НУХТ, 2020.- 42 с.
- 2** Ультразвукові фізіотерапевтичні апарати та пристрої: монографія / М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, М. В. Чухраєв та ін. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 180 с.
- 3** Сегеда С. А. Статистичний аналіз споживання м'яса та м'ясопродуктів в Україні. Економіка АПК. [Електронний ресурс] 2020. № 3. С. 36 — 46. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202003036>
- 4** Споживчі ціни на яловичину в Україні [Електронний ресурс] // Мінфін. Index.minfin.com.ua. URL:<https://index.minfin.com.ua/ua/markets/product-prices/beef/> дата звернення: 18.11.2025.
- 5** Виробництво екологічно безпечної яловичини: навчальний посібник / А.М. Угнівенко, Н.В. Кос. – К.: «ЦП Компрінт». – 2018. – 278 с.
- 6** Grogan S.P., Mount C.A. Ultrasound Physics and Instrumentation. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Mar 27. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK570593/>
- 7** Пивоваренко В. Г. Механізми органічних реакцій у розчинах : навч. посіб. / В. Г. Пивоваренко. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2019. – 303 с.
- 8** Ільїн, С. В., Іванісова, А. П. (2019) [Електронний ресурс]. До питання про вплив ультразвуку на теплообмін. Альманах науки, 6/1 (27), 36–38. [oj.tsatu.edu.ua](http://oj.tsatu.edu.ua)
- 9** Varekat S., Soltanizadeh N. [Електронний ресурс]:Effects of ultrasound on microstructure and enzyme penetration in beef Longissimus lumborum *muscle*. Food and Bioprocess Technology, 11(3), 680–693, 2018.

- 10 Яремчук О. С., Новгородська Н. В. [Електронний ресурс]: Використання ультразвуку у виробництві ферментованих кисломолочних продуктів. Вібрації в техніці та технологіях, 4(103), 90–98, 2021
- 11 Alarcón-Rojo A. D., Carrillo-López L. M., Reyes-Villagrana R., Huerta-Jiménez M., García-Galicia I. A. [Електронний ресурс]: Ultrasound and meat quality: a review. *Ultrasonics – Sonochemistry*, 55, 369–382, 2019.
- 12 Alarcón-Rojo A. D., et al. [Електронний ресурс]: Advances in application of ultrasound in meat tenderization: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, Article 969503, 2022. DOI: 10.3389/fsufs.2022.969503.
- 13 Wang X., et al. [Електронний ресурс]: The effect of ultrasound treatment on structural & functional properties. *Foods*, 13(17), 2817, 2024.
- 14 Kuimov D., Minkin M., Yurov A., Lukyanov A. [Електронний ресурс] Current State of Research on the Mechanism of Cavitation Effects in the Treatment of Liquid Petroleum Products. *Fluids*, 8(6), 172, 2023.
- 15 High intensity ultrasound processing to improve the quality of meat. [Електронний ресурс] *RSC Food & Bioproducts Processing*, 2025.
- 16 ДСТУ 6030:2008 М'ясо. Яловичина та телятина в тушах, півтушах і четвертинах. Технічні умови
- 17 ТУ У 10.8-3474701915-001:2023 — «Сіль нітритна» (ТМ «Банка Спецій»)
- 18 ДСТУ 4623:2023 «Цукор. Технічні умови»
- 19 ДСТУ ISO 959-1:2008 Перець (*Piper nigrum* L.) горошком чи змелений. Технічні умови. Частина 1. Чорний перець.
- 20 ТУ У 10.8-39833415-001:2015 – Соус соєвий (ТОВ«Компанія Сантера»)
- 21 ДСТУ 7275:2012 «Пакети з полімерних та комбінованих матеріалів. Загальні технічні умови»
- 22 ДСТУ ISO 1442:2005 М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення вмісту вологи
- 23 ДСТУ ISO 936:2008 М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення масової частки загальної золи (ISO 936:1998, IDT)

- 24 ДСТУ EN 45501:2007 Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань (EN 45501:1992, IDT)
- 25 ДСТУ ISO 1443:2005 М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення загального вмісту жиру (ISO 1443:1973, IDT). З поправкою
- 26 ДСТУ ISO 21807:2007 «Мікробіологія харчової продукції і кормів для тварин. Метод визначення активності води»
- 27 ДСТУ ISO 2917-2001 М'ясо та м'ясні продукти. Визначення рН (контрольний метод) (ISO 2917:1974, IDT)
- 28 Sánchez-Muniz, F. J., et al. (2021). "Methods for Determining the Buffering Capacity of Meat and Meat Products: A Review and Application" in Food Analytical Methods, Volume 14, pages 123–135.
- 29 ДСТУ 4823.2:2007 Продукти м'ясні. Органолептичне оцінювання показників якості. Частина 2. Загальні вимоги. З поправкою
- 30 ДСТУ 4671:2006 Продукти з яловичини, баранини варені, копчено-варені, сирокочені. Загальні технічні умови
- 31 Трудовий кодекс України [Електронний ресурс] : Закон України від 25 березня 2024 р. № 1001-IX // Офіційний веб-портал Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1001-20#Text>. – [Чинний з 01.01.2025]
- 32 ДСТУ EN ISO 9612:2022 Акустика. Визначення впливу професійного шуму. Інженерний метод (EN ISO 9612:2009, IDT; ISO 9612:2009, IDT)
- 33 ДСТУ ISO 2631-1:2004 Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину. Частина 1. Загальні вимоги
- 34 ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
- 35 ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення
- 36 ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання)
- 37 ДСТУ EN 61140:2019 Захист від ураження електричним струмом. Загальні

- аспекти щодо установок та обладнання (EN 61140:2016, IDT; IEC 61140:2016, IDT)
- 38 Закон України про пожежну безпеку [Електронний ресурс] : Закон України від 17 грудня 1992 р. № 3745-ХІІ // Офіційний веб-портал Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3745-12#Text>. – [Чинний зі змінами, внесеними згідно із Законами від 19.06.2020 № 738-ІХ, від 16.10.2020 № 1006-ІХ та ін.]
  - 39 ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги
  - 40 ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. Зі Зміною № 1
  - 41 ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою
  - 42 ДСТУ EN ISO 7010:2019 Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Зареєстровані знаки безпеки (EN ISO 7010:2012; A1:2014; A2:2014; A3:2014; A4:2014; A5:2015; A6:2016; A7:2017, IDT; ISO 7010:2011; Amd 1:2012; Amd 2:2012; Amd 3:2012; Amd 4:2013; Amd 5:2014; Amd 6:2014; Amd 7:2016, IDT)
  - 43 Кутас, О. О. Особливості розвитку м'ясного скотарства України / О. О. Кутас // Наукові праці НУХТ. – К. : НУХТ, 2016. – Т. 22, № 1. – С. 33-41
  - 44 Механізми органічних реакцій у розчинах : навч. посіб./ В. Г. Пивоваренко. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2019. – 303 с.
  - 45 Виробництво екологічно безпечної яловичини: навчальний посібник / А.М. Угнівенко, Н.В. Кос. – К.: «ЦП Компринт». – 2018. – 278 с.
  - 46 [Електронний ресурс] Ivanitsky, G.K. Numerical modeling of bubble cluster behavior in hydrodynamic cavitation processes. Collect. Sci. Artic. Mod. Sci. 2017, 2, 52–58. [Google Scholar] [CrossRef]
  - 47 Кочубей-Литвиненко, О. В. Використання ультразвукових технологій для інтенсифікації відновлення сухих молочних продуктів / О. В. Кочубей-Литвиненко, А. І. Маринін, М. В. Лазаренко // Наукові здобутки молоді - вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті : матеріали 81

- Міжнар. наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, 23-24 квітня 2015 р. - К. : НУХТ, 2015. - Ч. 1. - С. 304
- 48** Батраченко, О. В. Дослідження гідродинаміки м'ясної сировини в бункері емульсатору з горизонтальним живлячим патрубком / О. В. Батраченко, І. М. Литовченко // Вісник Хмельницького національного університету. - 2017. - №2. - С. 7-11.
- 49** [Електронний ресурс] Dular, M.; Griessler-Bulc, T.; Gutierrez-Aguirre, I.; Heath, E.; Kosjek, T.; Klemenčič, A.K.; Oder, M.; Petkovšek, M.; Rački, N.; Ravnikar, M. Use of hydrodynamic cavitation in (waste) water treatment. Ultrasonic. Sonochem. 2018, 29, 577–588. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- 50** Біохімія м'яса і м'ясних продуктів : курс лекцій / Л. О. Стріха. –Миколаїв : МНАУ, 2015. – 84 с.
- 51** Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва / О.А. Півоваров, О.С. Ковальова, В.С. Кошулько. – Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. – 407 с.
- 52** Берник І. М., Новгородська Н. В., Соломон А. М., Овсієнко С. М., Бондар М. М. Інноваційні технології харчових виробництв: монографія. Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю. В., 2022. 300 с.
- 53** Целень Б., Гоженко Л., Радченко Н., Іваницький Г. (2020). Використання кавітаційних ефектів в процесах екстрагування. Scientific Works. 2020. № 84 (1). С. 92–97.
- 54** Берник І. М., Кутняк М. М., Коц І. В. Віброекстрактори з гідроімпульсним приводом для застосування в робочих процесах систем «тверде тіло – рідина». Продовольчі ресурси. 2019. № 12 С. 16–24.
- 55** Nazarenko I., Bernyk I. Dedov O., Bondarenko, Zapryvoda A., Nazarenko M. Research of the processes of acoustic cavitation technology for processing dispersed media. Dynamic processes in technological technical

- systems : monograph. Kharkiv : PC Technology Center, 2021. P. 94–109.
- 56** Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення : монографія. / за ред. О. І. Черевка, М. І. Пересічного. Харків : Харк. держ. ун-т харчув. і торгівлі, 2017. 940 с
- 57** Шевченко І.І. Науково-практичні аспекти виробництва солених м'ясних виробів з використанням багатофункціональних розсільних колоїдних систем: Монографія. / І.І. Шевченко, С.В. Страценко-К.: НУХТ, 2018.-172 с. Скочко О.І, Кишенько І.І. Оцінка впливу речовин кріопротекторної дії на показники якості посічених напівфабрикатів. / Харчова промисловість (2017), № 21, с. 89-94.)
- 58** Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Здобутки і перспективи впровадження інновацій у харчовій промисловості України. Міжнародний науковий журнал «Грааль науки». 2021. № 5. С. 109–115
- 59** Сімахіна Г. О., Стеценко П. О., Науменко Н. В. Біологічноактивні речовини в харчових технологіях : підручник. Київ : НУХТ, 2016. 455 с.
- 60** Коляновська Л. М. Розробка виробництва сиркопчених ковбас функціонального спрямування. Праці Таврійський державний агротехнологічний університет. 2016. Т. 1. Вип. 16. С. 83–88.





Міністерство освіти і науки України  
Національний університет харчових технологій

# Сертифікат

Даним сертифікатом засвідчується, що

## Семен Шеховцов

з 01 квітня до 15 травня 2025 року  
пройшов навчання за програмою  
**«М'ясні делікатеси: крафтові традиції та  
промислові інновації»**

**Склав іспит з оцінкою  
90 балів (А)  
за такими модулями:**

**Модуль 1**  
На рентабельності до готового продукту: науково-практичні основи обробки сировини та управління якістю

1. Інновації як ключ до ефективності промислових і крафтових підприємств.
2. Сучасні тренди та особливості виробництва м'ясних продуктів із соєного м'яса. Термини та нomenклатура.
3. Сировина та її технологічна підготовка до виробництва м'ясних продуктів із соєного м'яса.
4. Рецепти для різних м'ясних продуктів: підготовка, технологія за вироби.
5. Особливості технології промислового та крафтового виробництва сироватчених та сирих колбас м'ясних продуктів.
6. Інноваційні технології промислового та крафтового виробництва сироватчених та сирих колбас м'ясних продуктів.
7. Сучасні рішення пакування та продовження життя м'ясних продуктів.
8. Менеджмент якості та безпеки у виробництві м'ясних продуктів.

**Модуль 2**  
Особливості технологій виробів з соєного м'яса: поєднання традицій та технологій Sous-vide, особливості та інноваційні підходи

1. Аналіз сучасних методів підготовки сировини та технологій Sous-vide, особливості та інноваційні підходи.
2. Технологія виробництва м'ясних продуктів з традиційними та інноваційними процесами.
3. Технологія м'ясних традицій та сучасність.
4. Нові методи цільової ферментації сировини для делікатесних виробів.



Ректор НУХТ проф. Олександр ШЕХОВЦОВ

Рішення екзаменаційної комісії від 15.05.2025р.




Регістраційний № 946/25  
Обсяг 3 кредити ЄКТС

Адреса: Україна 01601, м. Київ-33, вул. Володимирська 68  
Тел.: (044) 289-95-55  
www.nuft.edu.ua

Матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішення проблем харчування людства у XXI столітті", 7–11 квітня 2025 р. – Київ: НУХТ. – Ч.1.

### 5. Ультразвукова кавітація як метод інтенсифікації дифузійних процесів у м'ясній промисловості

Семен Шеховцов, Оксана Топчій

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

**Вступ.** Ультразвукова кавітація є перспективним методом для інтенсифікації дифузійних процесів у м'ясній промисловості. Вона сприяє швидкому проникненню розчинених речовин у структуру м'яса, покращує рівномірність розподілу компонентів та зменшує втрати вологи під час термічної обробки [1].

Останні дослідження вказують на можливість заміни традиційних ультразвукових гомогенізаторів на ультразвукові ванни. Основна перевага такого підходу полягає в економічній доцільності: ультразвукові ванни є менш витратними у виробництві та експлуатації. Крім того, вони забезпечують більш рівномірну обробку сировини, особливо при роботі з великими обсягами м'яса, що є важливим фактором для промислових підприємств. [2,3].

**Матеріали та методи.** У дослідженні використовували яловичину другої категорії вгодованості, зокрема м'яз тазостегнової частини. Для посолу використовували суху засоловальну суміш, що складалася з 99,4% хлориду натрію (NaCl) та 0,6% нітриту натрію (NaNO<sub>2</sub>).

**Результати.** Об'єктом дослідження була яловичина другої категорії (м'яз тазостегнової частини). Два ідентичні зразки масою 200 г кожен були рівномірно оброблені посолою сумішшю в кількості 2,5% від маси продукту. Для мінімізації зовнішнього впливу зразки були герметично запаковані у вакуумні пакети та вакуумовані до повного видалення повітря.

Дослідний зразок обробляли ультразвуковою кавітацією протягом 180 хв при температурі +5°C за допомогою ультразвукової ванни потужністю 60 Вт із частотою випромінювання 40 кГц. Контрольний зразок солили за аналогічних умов, але без впливу ультразвукової кавітації. Після засолювання обидва зразки піддавалися термічній обробці у пароконвектоматі за температури +140°C до досягнення в центрі продукту температури +70°C, після чого вони були повністю охолоджені.

**Висновки.** Ультразвукова кавітація інтенсифікує дифузійні процеси в м'ясних продуктах, забезпечуючи рівномірне проникнення солі, спецій та інших добавок, що скорочує час маринування. Використання ультразвукових ванн є економічно вигідною альтернативою гомогенізаторам, що забезпечує рівномірну обробку великих обсягів сировини. Таким чином, впровадження ультразвукової кавітації, зокрема через використання ультразвукових ванн, відкриває нові можливості для підвищення ефективності та якості технологічних процесів у м'ясній промисловості, що робить цю технологію актуальною для подальших досліджень та практичного застосування.

#### Література.

1. Ільїн С. В., Іванісова А. П. До питання про вплив ультразвуку на теплообмін. Альманах науки. № 6/1 (27) червень 2019 р. С. 36–38.
2. Barekat S., Soltanizadeh N. Effects of ultrasound on microstructure and enzyme penetration in beef longissimus lumborum muscle Food Bioprocess Technol. 11 (3). 2018. Pp. 680–693.
3. Яремчук О. С., Новгородська Н. В. Використання ультразвуку у виробництві ферментованих кисломолочних продуктів // Вісник в техніці та технологіях. 2021. № 4 (103). С. 90–98.

664.8:613.2:641.3

**СТАБІЛІЗАЦІЯ ГЕЛЕВОЇ СТРУКТУРИ М'ЯСНИХ ЖЕЛЕЙНИХ ВИРОБІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНОВАНИХ ГІДРОКОЛОЇДІВ**

**Семен ШЕХОВЦОВ** магістрант, **Дар'я МАНДРА** здобувачка, **Оксана ТОПЧІЙ** к.т.н.  
*Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна*

У сучасному виробництві м'ясних желейних продуктів однією з ключових проблем залишається збереження стабільності гелевої структури після заморожування та розморожування. Синерезис, тобто виділення вологи з гелевої матриці, призводить до втрати рідини, зміни форми виробу та погіршення його споживчих характеристик. Оптимізація рецептури шляхом використання комбінованих гідролоїдів рослинного та тваринного походження відкриває нові можливості для покращення текстурних властивостей і термостабільності таких продуктів.

Для вирішення цієї проблеми перспективним є використання комбінованих гідролоїдів, зокрема желатину та агар-агару. Желатин формує еластичні, м'які гелі з низькими температурами плавлення та застигання, але схильний до синерезису. Натомість агар-агар утворює твердіші гелі з вищими температурами плавлення та застигання і меншою схильністю до синерезису. Комбінація цих гідролоїдів дозволяє отримати гелі з покращеними текстурними властивостями та зниженою схильністю до виділення вологи.

З метою експериментальної перевірки ефективності такої комбінації гідролоїдів було проведено дослідження, з використанням бульйону, який отримували варінням дичини (тушка зайця вагою 2,5 кг). Тушку вимочували 24 години в соленій воді (0,5% NaCl), після чого варили 10 годин на індукційній плиті потужністю 3,5 кВт з додаванням овочів та спецій при температурі 91 °C. Отриманий бульйон після проціджування використовували для приготування заливної основи. До складу рідини для желювання додавали: желатин (220 Блум) - 4%, агар-агар - 0,003%, кухонну сіль - 2%, свіжий часник - 1%. Холодець мав двошарову структуру: верхню третину сфери займало вершково-хрінове желе, приготовлене з пастеризованих вершків, тертого хрону та агар-агару. Включення агар-агару до складу верхнього шару не лише сприяло формуванню стабільної гелевої структури, але й забезпечило термостійкість та зменшення синерезису, що є важливими характеристиками для збереження якості продукту під час зберігання та розморожування.

Дослідження показали, що застосування комбінованої системи гідролоїдів (желатин та агар-агар) знижує синерезис під час розморожування порівняно з зразками, що містять лише желатин. Це підтверджує ефективність використання агар-агару як стабілізатора гелевої структури у м'ясних желейних виробках, що узгоджується з його відомими властивостями

формувані міцні гелі з високою термостійкістю. Після проведення шокової заморозки та подальшого розморожування за різних температурних режимів (у холодильній камері при +5 °С, при +1 °С та при кімнатній температурі) було встановлено, що холодець, виготовлений виключно з желатином, втратив 8% своєї маси. Натомість зразок, до складу якого входила комбінація агар-агару та желатину, продемонстрував значно менший рівень втрати - 1,5%.

Ці результати свідчать про те, що додавання агар-агару до желатинової основи сприяє зменшенню синерезису - процесу виділення вологи з гелевої структури під час заморожування та розморожування. Агар-агар, як полісахарид, утворює жорсткіші гелі з вищими температурами плавлення та застигання, що забезпечує кращу стабільність гелевої матриці та зменшує втрату вологи. Крім того, холодець з комбінованою системою гідроколоїдів зберігав свою форму після розморожування, не зазнаючи значних деформацій, і мав майже ідеальну сферичну форму. У той час як контрольний зразок, що містив лише желатин, суттєво змінив форму за тих самих умов розморожування.


Органолептична оцінка холодцю, виготовленого з використанням комбінованої системи гідроколоїдів (желатин та агар-агар), засвідчила його однорідну текстурку, виразний смак і аромат. Продукт зберігав свою форму навіть при температурі до +20 °С, що робить його придатним для сервірування на банкетах. Це узгоджується з даними досліджень, які демонструють, що поєднання гідроколоїдів може покращувати текстурні властивості та зменшувати синерезис у гелевих продуктах.

**Висновок.** Застосування комбінації желатину та агар-агару ефективно знижує синерезис у м'ясних желейних виробках після розморожування, зменшуючи втрату маси до 1,5% порівняно з 8% у зразках, що містять лише желатин. Це покращує стабільність гелевої структури та зберігає форму виробу при підвищених температурах, що є важливим для сервірування на заходах.

#### **Література.**

1. Glicksman M., Seib P. A. (Eds.). *Hydrocolloids in Food Processing*. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2021. 688 p.
2. Phillips G. O., Williams P. A. (Eds.). *Gums and Stabilizers for the Food Industry 19*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2020. 480 p.
3. Toldrá S., Toldrá-Reig F. J., Esteve E. Hydrocolloids as functional ingredients in meat products // *Journal of Food Science*. 2022. Vol. 87, Issue 1. Pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15925>.


Шеховцов С., Мандра Д., Топчій О.А. НУХТ, м. Київ, Україна. Стабілізація гелевої структури м'ясних желейних виробів за допомогою комбінованих гідроколоїдів.



## Ультразвукова кавітація як метод інтенсифікації дифузійних процесів у м'ясній промисловості

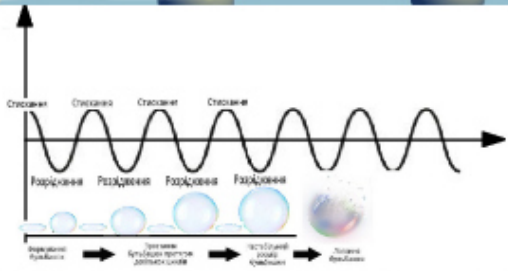
Семен Шеховцов, Оксана Топчій

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна



### ВСТУП.

Ультразвукова кавітація є перспективним методом інтенсифікації дифузійних процесів у м'ясній промисловості, оскільки сприяє швидкому та рівномірному проникненню розчинених речовин у м'язову тканину. Заміна традиційних гомогенізаторів на ультразвукові ванни є економічно доцільною, оскільки останні дешевші у виробництві та експлуатації, а також забезпечують рівномірнішу обробку, що особливо важливо при роботі з великими обсягами сировини.





### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ.

У дослідженні використовували яловичину другої категорії (м'яз тазостегнової частини) та суху засоловальну суміш, що містила 99,4% NaCl і 0,6% NaNO<sub>2</sub>. Обробку проводили в ультразвуковій ванні (60 Вт, 40 кГц, нагрів – 100 Вт), термічну обробку — в пароконвектоматі Улох (11 кВт), а вакуумування — вакууматором (1 кВт) з термостабільними пакетами. Також використовували рафіновану соняшникову олію та свіжу м'яту для дослідження впливу ультразвукової кавітації на екстракцію ароматичних сполук.

### РЕЗУЛЬТАТИ.


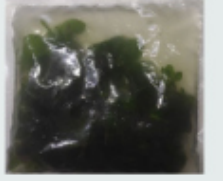
У дослідженні оцінено вплив ультразвукової кавітації (40 кГц, 60 Вт) на дифузійні процеси в м'язовій тканині яловичини та під час екстракції біоактивних сполук з м'яты у рослинну олію. Ультразвукова обробка м'яса протягом 180 хв при +5°C сприяла більш рівномірному проникненню посолочної суміші, що підтверджено зменшенням централізованої сірої, непросолоної ділянки в м'язовій тканині після термічної обробки. При екстракції м'яты ультразвук (180 хв, +20°C) забезпечив інтенсифіковану міграцію хлорофілів, каротиноїдів та летких сполук, що проявилось у насиченішому кольорі та ароматичному профілі олії. Контрольні зразки в обох експериментах показали суттєво нижчий рівень масопереносу, що підтверджує ефективність ультразвукової кавітації як методу інтенсифікації технологічних процесів.

БЕЗ ОБРОБКИ УЛЬТРАЗВУКОМ
З ОБРОБКОЮ УЛЬТРАЗВУКОМ

### ВИСНОВКИ.

Ультразвукова кавітація інтенсифікує дифузійні процеси в м'ясних продуктах, забезпечуючи рівномірне проникнення солі, спецій та інших добавок, що скорочує час маринування. Вона також покращує екстракцію ефірних олій, сприяючи більш ефективному виділенню ароматичних компонентів. Використання ультразвукових ванн є економічно вигідною альтернативою гомогенізаторам, що забезпечує рівномірну обробку великих обсягів сировини. Таким чином, впровадження ультразвукової кавітації, зокрема через використання ультразвукових ванн, відкриває нові можливості для підвищення ефективності та якості технологічних процесів у м'ясній промисловості, що робить цю технологію актуальною для подальших досліджень та практичного застосування.

### ЛІТЕРАТУРА.

1. Ільїн С. В., Іванісова А. П. До питання про вплив ультразвуку на теплообмін. Альманах науки. № 6/1 (27) червень 2019 р. С. 36–38.
2. Varekat S., Soltanizadeh N. Effects of ultrasound on microstructure and enzyme penetration in beef longissimus lumborum muscle Food Bioprocess Technol. 11 (3). 2018. Pp. 680–693.
3. Яремчук О. С., Новгородська Н. В. Використання ультразвуку у виробництві ферментованих кисломолочних продуктів //Вібрації в техніці та технологіях. 2021. № 4 (103). С. 90–98.