

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми «Галузеве
машинобудування»

_____ Цвіркун Л.О.

« ____ » _____ 2021__ року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Галузеве машинобудування»
на тему:

**«РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА
СОЛОНОЇ ТА КОПЧЕНОЇ РИБИ В ПОЛІ УЛЬТРАЗВУКУ»**

Виконав здобувач
вищої освіти

4 курсу групи ГМБ18с
Новіков Владислав Віталійович

(підпис)

Керівник

д.т.н., професор Хорольський В.П.

(підпис)

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

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг

2021 рік

РЕФЕРАТ

пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра містить сторінок 69, 16 рис, 5 табл

На тему: « Розробка технологічного обладнання для виробництва солоної та копченої риби в полі ультразвуку»

Метою дослідження проведених у кваліфікаційній роботі бакалавра є підвищення ефективності процесу виробництва рибних продуктів виробів в полі ультразвуку і поліпшення їх нутрієнтної адекватності та показників вітамінної відповідальності шляхом застосування робототехнологічного обладнання та сучасних мікропроцесорних систем керування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1 Розробити технологічне обладнання соління і копчення риби з використанням робототехнологічних інтенсифікаторів ;
- 2 Побудувати математичні моделі взаємодії ультразвукових імпульсних впливів на продукт та визначити коефіцієнт дифузії;
- 3 Оцінити якість готової продукції за органолептичними, фізико-хімічними показниками якості та автоматизованого керування процесом соління та копчення.
- 4.Визначити робототизовану значимість автоматизованого виробництва рибних продуктів

Об`єкт дослідження - технології, обладнання та процеси інтенсифікації виробництва рибних виробів за допомогою робототехнічних комплексів.

Предмет дослідження - комп`ютерні технології керування складними робототехнологічними процесами виробництва інноваційної продукції харчування.

Ключові слова: технології, смарт- продукти, обладнання, ідентифікація, робототехнологічні комплекси, ультразвук,

Зміст

Вступ	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА РИБОПРОДУКТІВ	
1.1 Основні напрямки досліджень щодо розробки обладнання для виробництва рибопродуктів	7
1.2 Обладнання для соління та копчення рибної продукції	11
1.3 Існуючі способи та обладнання керування процесами соління та копчення риби	16
РОЗДІЛ 2 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ІМПУЛЬСНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ ЩОДО ВИРОБНИЦТВА РИБОПРОДУКТІВ	24
2.1 Сучасне ультразвукове технологічне обладнання для соління і копчення рибопродуктів.	24
2.2 Математичне моделювання впливу ультразвукової обробки на процес внутрішнього масо переносу	32
2.3 Розрахунок тривалості соління та копчення риби в ультразвуковому полі	34
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З УЛЬТРАЗВУКОВИМИ РОБОТОТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ	40
3.1 Обладнання та система робототехнологічного управління виробництвом рибопродуктів в полі ультразвукових коливань	40
3.2 Результати дослідження якісних показників соленої та копченої риби за допомогою ультразвукових робототехнологічних комплексів	50
ВИСНОВКИ	53
Список використаної літератури	57
Додатки	62

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

1. Вступ.
2. Аналітична частина. Теоретичні основи проектування обладнання для виробництва рибопродуктів
3. Розробка системи робототизованого і автоматизованого комплексу керування підготовки та виробництва рибних продуктів.
4. Експертні дослідження якості рибопродуктів.
5. Висновки.
6. Список використаних джерел
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 1. Лінія виробництва копченої риби.
 2. Лінія з виробництва солоної риби.
 3. Схема інтелектуальної системи керування робототехнологічними комплексами з виробництва риби.
 4. Ультразвукова система контролю та мікропроцесорного керування процесом виробництва рибної продукції .
6. Дата видачі завдання « 2 лютого » _____ 20 21 __ р.
7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	15.03.21
2	Аналітична частина. Існуючі системи виробництва та обладнання для виробництва рибних продуктів у полі УЗК.	До 15.03.21
3	Розробка системи робототизованого і автоматизованого проектування процесами керування підготовки та виробництва рибних продуктів.	До 15.04.21
4	Оцінка якості рибної продукції.	До 15.05.21
5	Висновки по роботі	До 1.06.21
6	Оформлення роботи і подання до захисту	До 8.06.21

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Новіков В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Хорольський В.П.

_____ (прізвище та ініціали)

ВСТУП

Постачання населення регіонів з техногенними територіями рибопродуктами високої якості і за доступними цінами залишається головним стратегічним напрямком розвитку рибопереробної промисловості України до 2030 року. .. Проблему харчування населення криворізького мегаполісу необхідно розглядати з екологічними факторами з врахуванням їх впливу на здоров'я дітей, студентів, робітників підприємств гірничо-металургійного комплексу, які працюють та мешкають на забруднених територіях, а отже продукти здорового харчування повинні бути забезпечені лікувальними добавками.

Питанню розробки технологій виробництва здорового харчування з риби та вивчення впливу ультразвукових коливань на технологічне середовище рибних продуктів присвятили праці вітчизняні та закордонні вчені ГМ. Постнов, Н. Г. Гринченко, О. П. Тищенко, В.А. Гніцевіч, І.Е.Ельпінер, Й.О. Рогов, В.М. Горбатов, Ю.Ф. Заяс, В.М. Хмелєв, Б.Г. Новицький, О.А. Литвиненко, О.І. Некоз, П.М. Немирович, HaoFeng, GustavoV. BarbosaCánovas, JochenWeiss. Великий внесок у розвиток моделювання процесів харчових виробництв і показників якості харчових продуктів внесли І.М. Федоткін, Н.В. Остапчук, Є.Л. Алексеєв, Г.В. Дейниченко, Г.М. Постнов, М.А. Чеканов, В.М. Червоний, Д.А. Нечипоренко, Р. Ю. Павлюк, Яковлев та багато інших..

Успішне впровадження сучасних, цифрових методів виробництва продукції із застосуванням робототехнологічних комплексів особливо ефективно при виробленні рибних продуктів. Саме рибні продукти дуже корисні для смарт-харчування гірників, дітей та воїнів ЗСУ за рахунок вітаміну Д (риб'ячий жир, печінка тріски, горбуша, мінтай тощо) та захисту населення забруднених територій у бородьбі з хворобами серцево-судинних

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Новіков				Розробка технологічного обладнання для виробництва солоні та копченої риби в полі ультразвуку	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Хорольський						68	6
Н. Контр.	Омельченко					ДонНУЕТ		
Затверд.	Омельченко					Кафедра ЗІДО		

захворювань. Експерти з питань харчування рекомендують вживати вітамін Д кожного дня робітникам підземних професій в дозах від 42 до 100 нмоль/л.

Виробництво рибних продуктів в полі імпульсних ультразвукових коливань із застосуванням робототехнічних комплексів дозволяє значно підвищити нутрієнтну адекватність та якість продукції.

У зв'язку з розвитком робототехніки з інтелектуальним рівнем взаємодії виконавчих механізмів з гетерогенним середовищем і автоматизації технології, з'явилася можливість використовувати морські рибні продукти, корегуючи якість таких виробів за допомогою технологій соління та копчення в полі імпульсних ультразвукових коливань.

Таким чином, дослідження і впровадження технологічного обладнання для виробництва рибних продуктів зі збагачувальними добавками із застосуванням робототехнологічних інтенсифікаторів є актуальною і практично важливим завданням для науковців харчової галузі.

Метою роботи та проведених досліджень у кваліфікаційній роботі бакалавра є:

- удосконалення обладнання та технології процесів соління-копчення з використанням імпульсного ультразвукового впливу на продукт, виконаного у вигляді робототехнологічного комплексу продуктів смарт- харчування для регіону з техногенними забрудненнями

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1 Розробити технологічне обладнання соління і копчення риби з використанням робототехнологічних інтенсифікаторів ;
- 2 Побудувати математичні моделі взаємодії ультразвукових імпульсних впливів на продукт та визначити коефіцієнт дифузії;
- 3 Оцінити якість готової продукції за органолептичними, фізико-хімічними показниками якості та автоматизованого керування процесом соління та копчення.
4. Визначити соціально-економічну значимість автоматизованого виробництва.

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Об`єкт дослідження- технології, обладнання та процеси інтенсифікації виробництва рибних виробів за допомогою робототехнічних комплексів.

Предмет дослідження-комп'ютерні технології керування складними робототехнологічними процесами виробництва інноваційної продукції харчування.

Наукова новизна роботи:

- побудовано модель рецептури смарт- продукції та визначено оптимальні параметри процесу виробництва рибної продукції з підвищеним рівнем вітаміну Д за рахунок використання робототехнологічних комплексів і автоматизованого керування;

Практична і теоретична значущість роботи:

- розроблено робототехнологічні інтенсифікатори та системи керування виробництвом рибопродуктів за критерієм нутрієнтної адекватності з вбудованим ультразвуковим випромінювачем, що дозволяє збільшити якість продукції та кількісні параметри вітаміну Д;

-визначено раціональні режими обробки імпульсними сигналами ультразвуку рибних виробів: ультразвукове значення тиску 140 дБ при частоті 22 + 1,65 кГц, які збільшують продуктивність стадії соління відповідно на 24-26% копчення на 20- 25%.

Достовірність і обґрунтованість наукових положень підтверджується використанням сучасних методів комп'ютерного моделювання та фізико-хімічного аналізу, застосуванням математико-статистичної обробки експериментальних даних із застосуванням комп'ютерних програм МАТЛАБ, МАТНСАД і ЕХСЕЛ, проведенням експерименту і високою збіжністю результатів з багатофакторним стандартними критеріями.

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА РИБОПРОДУКТІВ

1.1 Основні напрямки досліджень щодо розробки обладнання для виробництва рибопродуктів

. У процесі розробки харчування рибними продуктами робітників підземних професій, металургів, школярів важливим є створення такої рецептури, яка відповідає критерію нутрієнтної адекватності. В період короно вірусної пандемії-19

харчування людей в таких умовах має повністю покривати витрачені нутрієнти і забезпечувати організм вітамінами Д, А, В необхідними для профілактики захворювань. «До теперішнього часу питання харчування гірників, школярів та воїнів ЗСУ й людей, що проживають на забруднених територіях не вирішене до кінця.[1,2,3] В цих наукових процах українських вчених наведено взаємозв'язок умов праці гірників та воїнів ЗСУ в екстремальних ситуаціях, а продукти харчування з підвищеним вмістом нутрієнтів повинні відповідати вимогам споживачів.» До них віднесимо :властивості рибних продуктів здорового харчування забезпечувати людину корисними вітамінами В12, селеном, ніацином. Їх екологічна безпека ; висока харчова якість та біологічна цінність при мінімальній вазі в обсязі; тривалі терміни зберігання; не велика вартість і часу приготування рибних виробів, які повинні мати вигляд кулінарного напівфабрикату, одержали широке застосування в раціоні [4,5,6,7,8,9,10] харчування населення України.

«Експертні дослідження показали, що у більшості раціонів харчування жителів техногенних територій міститься надлишок продуктів хлібної групи і картоплі. Таке харчування призводить до невідповідності з раціональним співвідношенням в пайках білків, жирів і вуглеводів, а також до нестачі

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Новіков				Розробка технологічного обладнання для виробництва солоні та копченої риби в полі ультразвуку	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Хорольський					69	9	
Н. Контр.	Омельченко				ДонНУЕТ			
Затверд.	Омельченко				Кафедра ЗІДО			

необхідних нутрієнтів, вітамінів Д.» Дефіцит білкових, мінеральних речовин, поліненасичених жирних кислот в раціонах харчування населення техногенних територій змушує науковців шукати джерела їх поповнення. До числа таких джерел відносяться не тільки м'ясо, риба і тваринні жири, але і комбіновані, збагачені білком і іншими нутрієнтами, продукти харчування. Виключно придатними для вживання в умовах високої забрудненості та фізичних навантажень можуть стати продукти харчування зі вітамінізованими добавками. На основі цих добавок з основної й нетрадиційної сировини, можна в потрібному напрямку корегувати харчову цінність будь-якого раціону харчування.

«Збагачення продуктів харчування недостатніми макро- і мікроелементами - це серйозне втручання в традиційну існуючу структуру харчування людини. Тому воно виконується тільки з врахуванням чітко сформульованих, науково обґрунтованих і перевірених практикою принципів. Деякі з цих принципів необхідно враховувати при проведенні заходів щодо соління і копчення рибних продуктів в полі ультразвукових коливань. «Вчені Доннует імені Михайла Туган- Барановського рекомендують виробникам розумної продукції харчування наступну формулу: співвідношення між полінасиченими (ПНЖК) ліпіднонасиченими (МНЖК) та насиченими жирними кислотами (НЖК) ліпідної фракції розумних продуктів повинно відповідати співвідношенню- (10-20):(50-60): (30-40)% або у вузькому варіанті 1:6:3»

Вітчизняними дослідниками накопичено багато проектних рішень щодо покращення якості виробів з риби технологіями соління та копчення продукції в полі ультразвукових коливань. [7,8,.9,10,15,16,17,21,25,26,29,31,34]

Рибні вироби є найбільш зручним продуктом, за допомогою якого можна в потрібному напрямку корегувати харчову цінність будь-якого раціону харчування. «Досліди і дослідження з розробки продуктів харчування підвищеної харчової цінності (ПХЦ) проводилися українськими вченими на

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

протязі останніх 10 років [3,4, 5]. Проте рибні вироби мають ряд переваг перед найбільш поширеними продуктами харчування.

Рибні вироби за харчовою цінністю перевершують деякі м'ясні вироби, тому що виготовляють їх із екологічно чистої океанської продукції з максимальним вмістом білкових речовин і, які є також джерелом омега-3 жирних кислот, а головне низького вмісту ртуті (риба мінтай).

Таким чином, огляд асортименту продовольства для організації харчування жителів техногенних територій й воїнів ЗСУ, гірників, металургів, хіміків, школярів показав необхідність розробки інноваційного продукту харчування, що відповідає вимогам техногенного регіону, з великим вмістом нутрієнтів і особливо вітамінів, зокрема вітаміну Д. Серед смарт- продуктів харчування виокремимо в окрему групу копчених рибних продуктів.

« Рибопродукти- це продукція тривалого зберігання, вони не бояться низьких температур і можуть зберігатися взимку в сухих неопалюваних складах»

Сучасна тенденція розвитку рибної промисловості характеризується високим ступенем концентрації виробництва, комплексною автоматизацією процесів на основі впровадження безперервно діючих поточних ліній з автоматичним контролем і регулюванням технологічних режимів і поліпшенням якості продукції. Технологічна схема виробництва виробів із риби включає основні етапи її підготовки та очищення , стадія пресування , стадія соління (копчення) оцінка якості готової продукції

Особливістю виробництва рибних продуктів в Україні в останні роки є використання багатьох сортів океанської риби, що сильно позначається на зниженні якості готових виробів, через значне скорочення вітаміну Р., а тому потрібно звернути увагу дослідників та проектантів на необхідність удосконалення обладнання для виробництва як солоної, так і копченої риби.

1.2 Обладнання для соління та копчення рибної продукції

Розглянемо більш детально роботу технологічного обладнання для

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

процесів виробництва солоної та копченої риби. Соління та копчення таких продуктів харчування як рибні вироби раціонально через відносну дешевизну і їх масового споживання. У наукових працях українських вчених [3,7] проведено експериментальні дослідження з соління та копчення риби в полі ультразвукових коливань з застосуванням УЗК- перетворювачів. Результати експериментальних досліджень підтвердили спосіб виробництва про підвищення ефективності соління із застосуванням ультразвукових коливань визначеної потужності. При цьому рибні і напівфабрикати з морських сортів риби стають більш якісними, при скороченні витрат на електроенергію з підвищенням якості і терміну зберігання готових виробів.

Для підвищення харчової цінності копченої риби авторами наукових праць розглянуто різного типу методи копчення [6, 7, 8, 9,10,11,12,15,16,], які значно впливають на показники нутрієнтної адекватності. В літературних джерелах [7,8] наведене обладнання для соління рибопродуктів, а на [9] наведено промислову установку для копчення риби. Загальною ознакою таких технологічних процесів є:

- високоавтоматизоване виробництво рибопродуктів за критерієм мінімізації екологічного впливу виробничих процесів на навколишнє середовище.

Цей технологічний процес необхідно виконувати в полі імпульсних ультразвукових коливань за допомогою робототехнічних диспергаторів з мікропроцесорними системами керування.

В кваліфікаційній роботі бакалавра ми пропонуємо свої системи керування робототехнологічними кавітаційними ультразвуковими технологіями, які дозволять одержати рибні вироби високої споживчої якості.

Модель дослідження та розробки рибної продукції наведена на рис.1.1 Вона дозволяє спроектувати інноваційну продукцію харчування, яка відповідає критерію нутрієнтної адекватності.

Проект розпочинається з першого етапу дослідження, а саме її мети..

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступний етап 2 -оцінка та оптимізація рецептури продукту із риби та моделювання смарт- продукту харчування.

Етап 3- виконується формалізація та вибір еталонів. В якості еталону в нашій роботі виберемо за еталон-харчування гірника(воїна ЗСУ) їх фізіологічні потреби в одержанні здорового харчування. При цьому важливим фактором є врахування таких компонентів як амінокислоти, жирні кислоти, моно та полісахариди, вітаміни, мікроелементи.

У процесі комп'ютерного моделювання розумного харчування на етапі 4 виконується: 4.1 розрахунок кількості нутрієнтів у складі рибного продукту;

4.2 проводиться аналіз інформаційної бази даних(БД), бази прецедентів (БП),бази знань (БЗ) та бази операційних даних(БОД).

На етапі 5 виконується:5.1- розрахунок критеріїв збалансованості; 5.2 розробляється комплекс умов до складу і властивості сировини; 5.3 визначаються критерії нутрієнтної адекватності.5.4 виконується вибір оптимальних рецептурних інгредієнтів.

На етапі 6 досліджень проекту:виконується оцінка розрахункових значень функціонально-технологічних властивостей(ФТВ) та собівартості рибної сировини.

Етап 7 проекту : комплектується комп'ютерна система моделювання параметрів смарт- продукту харчування. 7.1 оцінюється нутрієнтна збалансованість; 7.2 Оцінка якості ФТВ та собівартості продукції.

Етап 8 проекту : будується фрейм (аналіз результатів, вибір рецептури., показники якості , безпечності напівфабрикатів, комплексно оцінюють ефективність упровадження розробленого робототехнологічного комплексу виробництва рибних продуктів харчування шляхом визначення наукового, науково-технічного, соціально- економічного та екологічного ефектів дослідження). Під фреймом будемо розуміти структуру даних призначених для представлення деякої ситуації щодо розробки рецептури інноваційного

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

продукту технології та обладнання і системи керування робототехнологічними комплексами[25,37].

«Отже за допомогою комп'ютерної програми в процесі імітаційного моделювання одержано: результати аналізу експериментальних досліджень і отримано експертну модель інноваційного продукту із океанської риби.

Вченими Доннует імені Михайла Туган- Барановського розроблено цифрову платформу «Їжа», яка побудована з використанням бази знань (БЗ) і наукових експертних оцінок рецептури інноваційних продуктів харчування та бази даних і прецедентів, математичних моделей в сфері біо-, нано-, інформаційно-комунікаційних, когнітивних технологій для розробки «розумних» продуктів харчування гірників, школярів, воїнів ЗСУ та населення, що мешкає на забруднених територіях. В процесі розробки цифрової платформи «Їжа» з метою розрахунків та оптимізації рецептур здорового харчування автори[1,2] запропонували інформаційну модель виробництва продукції. Остання пропонує споживачам інноваційні рибні продукти харчування, а саме: солоні вироби з риби: виробництво копчених рибних виробів і виробів з додатками гарнірів.

Комп'ютерне моделювання рецептур на основі комбінування риби та рослинної сировини дозволило спроектувати інноваційні продукти зі збалансованим нутрієнтним складом високої якості та біологічної цінності

Теоретичний розрахунок харчової цінності, за допомогою розробленої нами комп'ютерної програми, що працює в діалоговому режимі, показав, що в запропонованих нами рибних виробках з добавками з'явилися необхідні вітаміни А,В,Д, групи РР та інші. «Їх кількісні параметри повністю задовольняють споживачів у калорійності і тому не вимагають їх компенсації з допомогою прийому у вигляді медичних препаратів, які неможливо проконтролювати реально в період короно-вірусної пандемії.»

Крім цього поліпшуються органолептичні властивості рибних виробів для гірників, школярів та воїнів ЗСУ[1,17]

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

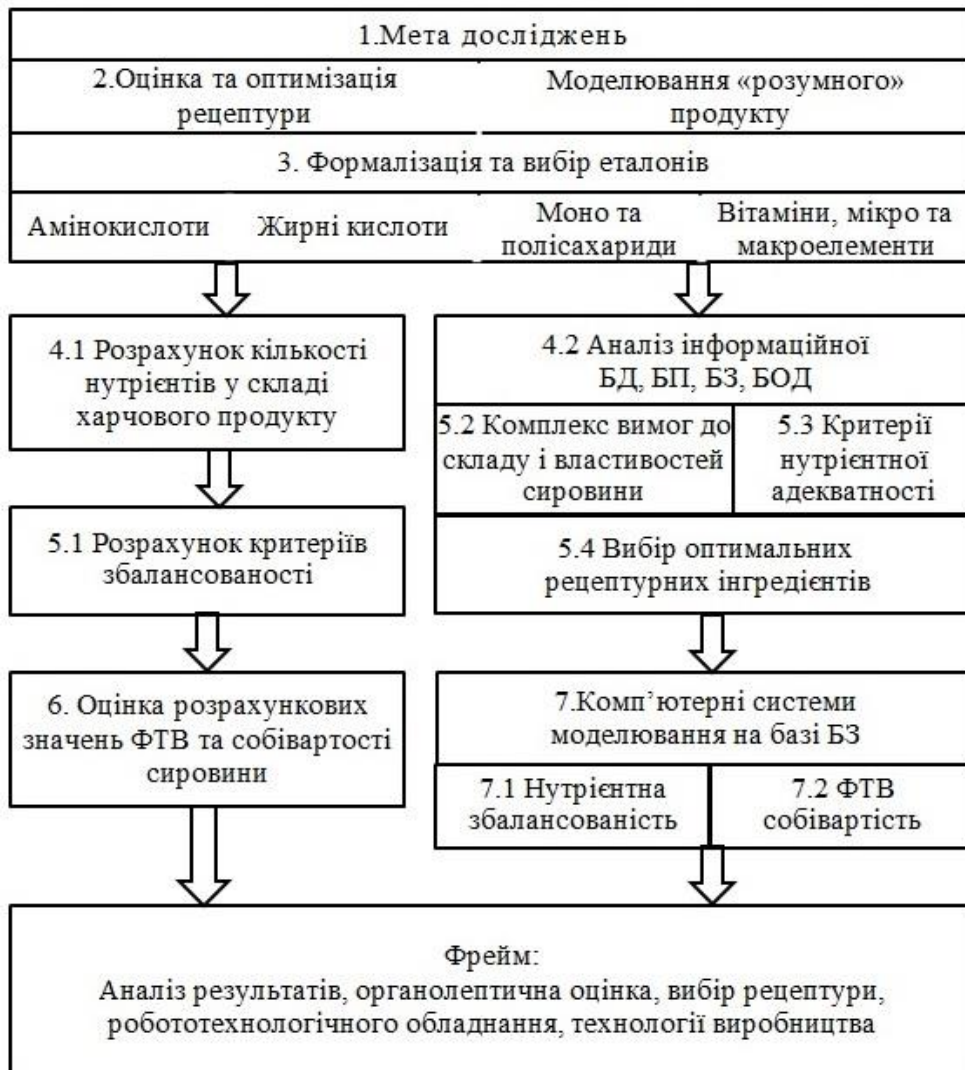


Рисунок 1.1 Модель дослідження інноваційного продукту

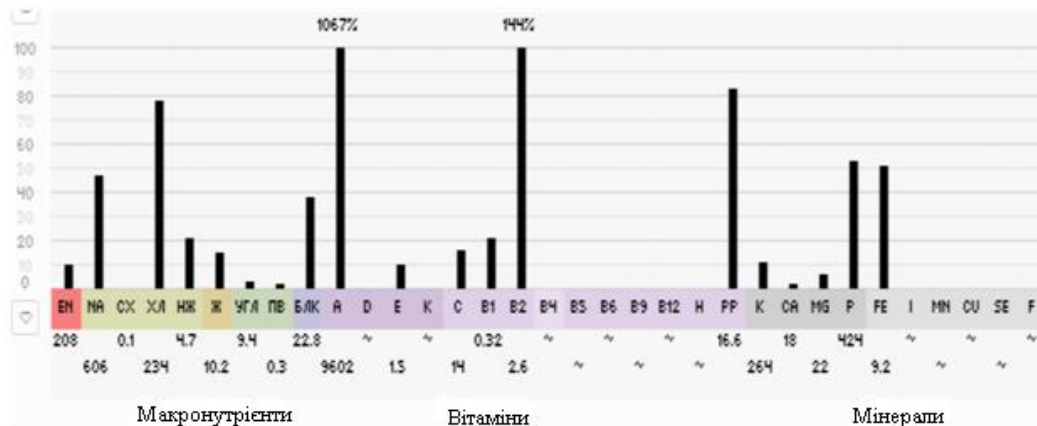


Рисунок 1.2 - Харчова цінність рибних продуктів

В таблиці 1.1 наведено харчову цінність рибних виробів для гірників , школярів та воїнів ЗСУ

Таблиця 1.1 Харчова цінність рибних продуктів

№ п/п	Речовина	Океанська риба	Річкова риба
1	Вода, г	11	13
2	Білок, г	12,93	10,8
3	Жири, г	2,02	1,3
4	Насищені жирні кислоти, г	0,53	0,2
5	Калій, мг	168,5	122
6	Натрій, мг	33,3	3
7	Фосфор, мг	154,4	86
8	Аскорбінова кислота мг	9,9	0
9	Ретинол, мг	2,46	0
10	Каротин мкг	0,3	0
11	Вітамін Е	3	0
12	Вітамін В12, мг	18	0
13	Ніацин, мг	3,54	1,2
14	Енергетична цінність, ккал	271,9	334

Таким чином, запропоновано розумний продукт харчування, із риби, наприклад риба мінтай, що дозволяє підвищити харчову цінність продовольчого пайка, ввести в продукт важливу для гірників , школярів ,воїнів ЗСУ потребу у забезпеченні організму у вітамінах Д і калію , та забезпечити населення, що проживає на забруднених територіях оптимальним показником нутрієнтної збалансованості.

1.3 Існуючі способи та обладнання соління та копчення риб

Соління та копчення – це технологічний процес консервування риби, який сповільнює псування рибних продуктів харчування. [30, 41]. З метою вивчення цих технологічних процесів, як об'єктів керування звернемо увагу на необхідність контролю параметрів солоного розчину та параметрів коптильного диму.

Українськими вченими встановлена наступна закономірність: «половину маси м'яса риби становить вода (55...83%), що знаходиться у вільному і зв'язаному стані. Розчинником солей екстрактивних речовин, що входять до складу м'яса риби, є вільна вода, і під час соління саме вільна вода в рибі частково або повністю насичується NaCl.» З реферуємих робіт відомо ,

що засіл риби та її копчення являє собою дифузійний процес [18, 20]. «Оболонки клітин м'язової тканини риби добре пропускають вологу разом з розчиненими в ній речовинами (NaCl). При контакті двох водних розчинів різної концентрації виникає процес переміщення розчиненої речовини і розчинника в протилежних напрямках до остаточного вирівнювання концентрації обох розчинів. Таким чином, під час соління відбувається пересування вологи з тканини риби в навколишній тузлук і розподілення NaCl в тканині риби».

Ефект консервування риби солінням значною мірою залежить від тривалості, протягом якої концентрація NaCl в рибі досягає певної межі, при якому призупиняється розвиток мікроорганізмів [34].

З точки зору керування процесом соління на параметри швидкості соління впливають якість і помел NaCl, концентрація тузлуку, температура соління, стан і хімічний склад тканин риби, розмір риби і вид її оброблення, спосіб соління тощо [16, 36].

У процесі соління або копчення з риби виділяється волога.. Відповідно NaCl проникає в рибу до нормованих показників.. Дослідниками доведено, що в процесі соління основний масообмін протікає за рахунок води і NaCl

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

соління, а отже втрати маси риби залежать від вмісту в ній води..

На рис 1.4 наведений апарат для соління рибних продуктів. На рис.1.5 наведено промислове обладнання для копчення рибопродуктів.

При проектуванні робототехнологічних комплексів необхідно одержати раціональні режими копчення: 1- температура коптильного диму- 373,...,403К; 2. швидкість коптильного диму-0,1...,0,5 м/с; 3. –волога – 40-60%;4. характерний розмір риби-3,0-5,0.

Існують кілька способів інтенсифікації соління та копчення,наприклад накладення ультразвукових хвиль, механічної обробки тощо., [18, 37,38,].

В системі приготування риба при класичних методах соління засільних речовини та процесів копчення за допомогою суміші коптильного диму будемо використовувати математичні моделі для опису процесів ,що переміщуються дифузійним шляхом і описуються другим законом дифузії Фіка [15,21]:

$$\frac{dc}{d\tau} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad (1.1)$$

де c – концентрація речовин які дифундують в рибу, %;

τ – тривалість процесу дифузії (соління або копчення), с;

D – коефіцієнт дифузії речовини у воді,та диму;

dx^2 – градієнт концентрації в напрямку дифузії, м/с⁻¹.

Управлінськими параметрами в системі процесу соління є різниця концентрацій NaCl в системі тузлук-риба від заданих нормативних параметрів.. Дослідженнями вченими ДонНУЕТ м. Кривий Ріг встановлено наступну закономірність:

- швидкість накопичення NaCl в м'ясі риби різко знижується в процесі соління внаслідок зменшення різниці концентрацій в системі;

- фактори, впливу яких призводить до підвищення концентрації NaCl на

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

поверхні продукту, викликають прискорення процесу соління. Управлінськими параметрами в процесах копчення риби є компоненти коптильного диму. Тому нами розроблено математичну модель програмного складу диму в коптильній камері, яка є складовою ПЗ цифрової програми «Їжа» , що дозволяє оптимізувати цей процес за параметрами CO₂.

Важливими параметрами керування процесу соління та копчення є:

-Температура системи тузлук-розсіл (копчення) є чинником, яка найбільш істотно впливає на величину коефіцієнта проникнення [16, 30, 33].. Додаткове прискорення соління можна отримати при використанні явища ультразвукової дифузії, а саме:

- Використання ультразвукових коливань в технологічному середовищі риба- розсіл (копчення) є найбільш перспективним методом інтенсифікації процесу. За рахунок кавітаційних процесів в середовищі виникають

в кавітаційних бульбашках, розриви температури в незначних обсягах досліджуваних речовин, ударні хвилі тощо.).

Під ультразвуковою кавітацією будемо розуміти утворення і активацію газових або парових порожнин (бульбашок) в середовищі, які піддаються ультразвуковому впливу. Сучасні технології впливу ультразвукових коливань розроблені вченими кафедри ЗІДО ДонНУЕТ м. Кривий Ріг найчастіше ґрунтуються на реалізації гетерогенних процесів, які протікають між двома або кількома неоднорідними середовищами в системах «рідина-рідина» і «рідина-тверде тіло».[15,21] Кавітація і потужні мікропотоки, які її супроводжують, ультразвуковий тиск і ультразвуковий вітер впливають на середовище, зменшуючи опір перенесенню реагуючих речовин, і інтенсифікують технологічний процес.

Оптимальний вплив імпульсних керованих ультразвукових коливань на процеси масообміну в системі «тверде тіло-рідина». дозволяє збільшити швидкість процесу соління(копчення)

в 3...5 разів.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До відомих технологічних ліній віднесемо серійне обладнання типу: Н10-ИЛП-2, Н10-ИЛП-4, машиний комплекс РНА-3 тощо.

Технологічний апарат для соління риби, що наведений на рис.1.3 складається із наступних складових:

1 – корпус; 2 – штатив; 3, 5 – відповідно вхідний та вихідний патрубки для води; 4 – трансформатор із водяним охолодженням; 6 – концентратор; 7 – випромінювач; 8 – камера робоча; 9 – генератор; 10 – регулятор потужності ультразвукових коливань; 11 – регулятор частоти ультразвукових коливань; 12 – вимикач ультразвукових коливань (імпульсний); 13 - мікропроцесор-регулятор інтенсивності кавітаційного процесу; керовані дверцята.

Недоліком наведеного вище обладнання за критерієм мінімізації енергоресурсів та впливу технології соління на навколишнє середовище є:

- відсутність сучасних систем автоматизованого керування та інформаційних систем контролю якості та керування процесом соління риби в реальному масштабі часу;

- контролю параметрів вихідних хвостів процесу соління та мінімізації впливу обладнання на навколишнє середовище.

Тому в нашому проекті необхідно не лише модернізувати існуюче обладнання для соління риби, запропонувати робототехнологічне керування процесом соління рибної сировини, а також необхідно передбачити автоматизовані системи контролю і мікропроцесорного керування температурними режимами, процесом соління, температурного контролю параметрів охолодження магніострікторів, часу процесу соління, контролю параметрів навколишнього середовища.

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

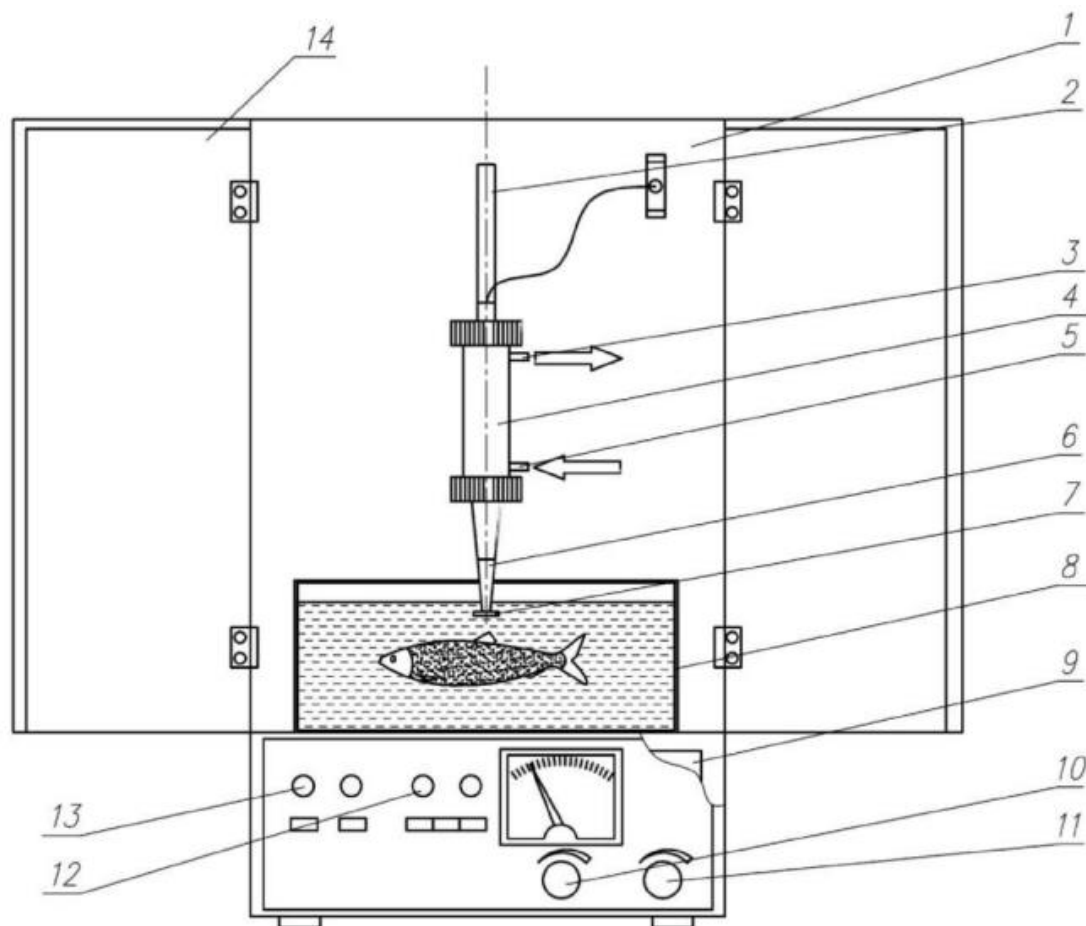


Рисунок 1.3 Технологічний апарат для напівпромислових досліджень соління рибних продуктів в полі ультразвукових коливань.

На рис.1.4 наведено схему технологічної лінії з виробництва копченої риби.

До складу лінії віднесено наступне обладнання:

1 – корпус технологічної лінії; 2, 3, 4 – камери для підсушування, проварювання та копчення; 5 – направляючі; 6 – перевантажувальна камера; 7 – завантажувальні двері; 8 – розвантажувальні двері; 9 – візки; 10 – УЗ-випромінювач

Важливим компонентом лінії з виробництва копченої риби є багатостадійність процесу виробництва: підсушення гарячим повітрям, проварка риби насиченим паром за температури $T=383-443K$ зі швидкістю $0,1-0,5m/s$ на протязі 25-45хв.

Важливим компонентом процесу копчення є також концентрація коптильного диму. При цьому коптильний дим одержують при спаленні суміші опилок бука,

						ДонНУЕТ.133.зГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			21

липи, ольхи, дуба, груші, бер. Експертами також встановлено, що важливими чиниками при проектуванні коптильного обладнання, які впливають на протікання процесу горячого копчення є швидкість руху коптильного диму на вході в коптильну камеру і характеристичний розмір риби.

ези без кори у відношенні 20:20:25:15:10:10.

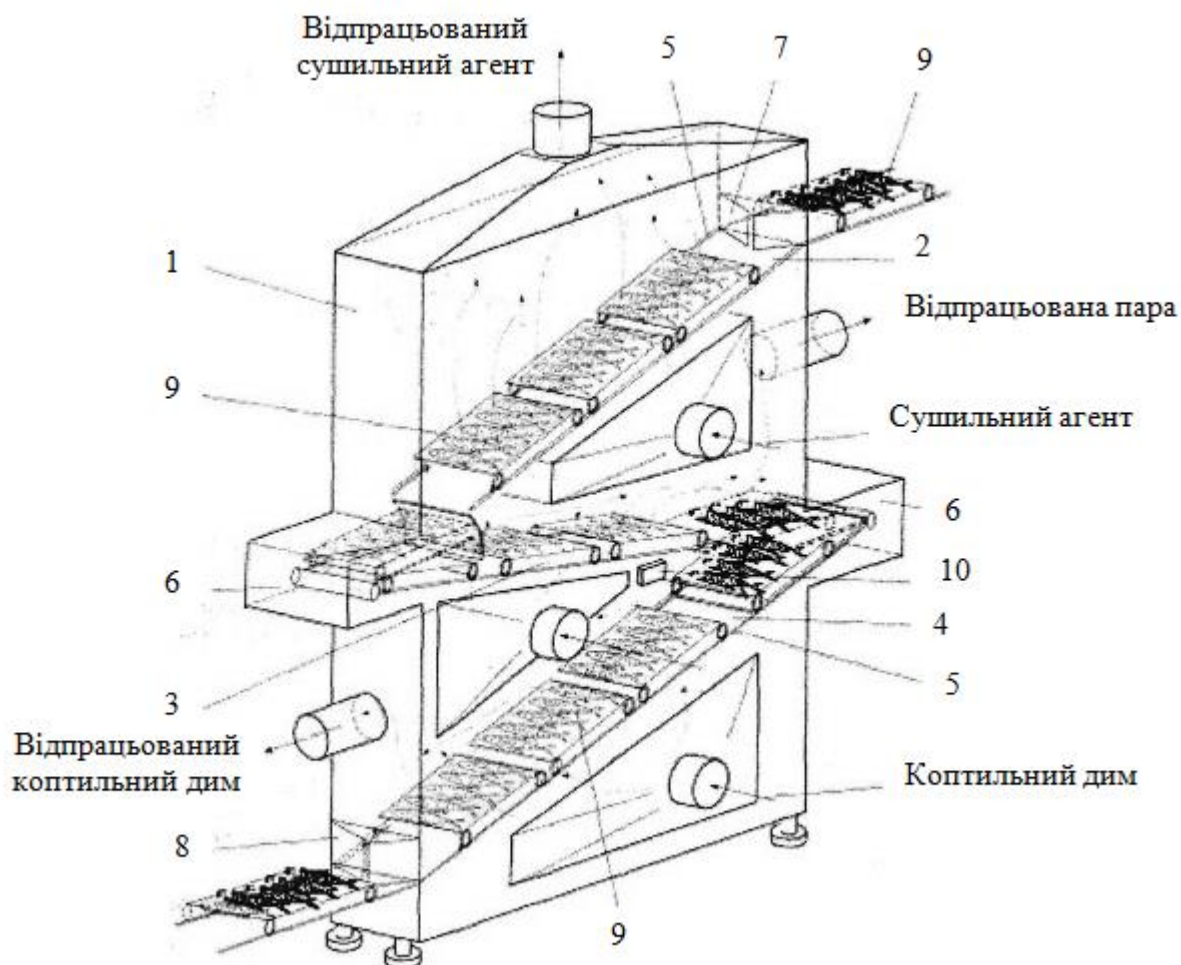


Рисунок.1.4 Обладнання для копчення рибних продуктів

Експертами також встановлено, що важливими чиниками при проектуванні коптильного обладнання, які впливають на протікання процесу горячого копчення є швидкість руху коптильного диму на вході в коптильну камеру і характеристичний розмір риби.

Загальним характерним пристроєм цих установок є:

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- імпульсні ультразвукові магніострикційні випромінювачі (робототехнологічні інтенсифікатори) з системами імпульсного керування потужністю і скважністю ультразвуковим коливань та їх впливу на рибні продукти;

-компютерні системи моделювання та експертні оцінки процесів соління та копчення рибних продуктів.

Таким чином , в процесі виконання проектних рішень, щодо покращання існуючого технологічного обладнання виробництва рибних продуктів та їх якості нами запропоновано: 1-використати технології та обладнання імпульсної ультразвукової обробки рибної сировини.2- розробити високоавтоматизоване роботизоване технологічне обладнання.

За проектним завданням встановлені наступні перспективні параметри покращення існуючих показників, а саме:

- знизити енергозатрати на 10-15% від існуючих за рахунок керованого прискорення процесу дифузії компонентів коптільного диму в глибини риби;

- покращати якість готової рибної продукції за рахунок рівномірного розподілу коптільного диму в товщину(глибину) риби;

-підвищити продуктивність технологічних ліній на 15-20% за рахунок суттєвого скорочення часу горячого копчення .

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

РОЗДІЛ 2 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ІМПУЛЬСНИХ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ ЩОДО ВИРОБНИЦТВА РИБОПРОДУКТІВ

2.1 Сучасне ультразвукове технологічне обладнання для соління і копчення рибопродуктів.

Дослідження цього питання розпочнемо з вивчення впливу технології ультразвукової обробки на процес соління та копчення риби за допомогою розробленої методики комп'ютерного моделювання таких нелінійних, біфуркаційних процесів. В результаті досліджень в умовах обмеженої інформації про об'єкт (сировину- рибу)на основі методики евристичного опитування спеціалістів та експериментів впливу імпульсних ультразвукових коливань на об'єкт буде побудована база даних та база знань цифрової платформи «Іжа» .

Крім цього в процесі виконання наукової роботи студента і написання наукової статті нами проведено аналіз наукових праць вчених, які працюють в сфері соління та копчення риби.

Серед реферованих праць виокремимо роботи професора Г.М. Постнова та його аспірантів, щодо впливу ультразвукових коливань на процес(соління-копчення) риби в його полі [39], наукові праці вчених Дон НУЕТ м. Кривий Ріг [15,16,17,21] та наукові праці закордонних вчених [4,5,6,11,14,24,32].

На рис 2.1 наведено експериментальну установку кафедри ЗІДО Дон НУЕТ, за допомогою якої можливо провести експериментальні дослідження та одержати базу даних та базу знань та побудувати інформаційну систему проектування робототехнологічного комплексу виробництва рибопродуктів.

Нами проведений аналіз математичних моделей і залежностей, одержаних цими авторами з метою одержання експертної інформації про

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Новіков				Розробка технологічного обладнання для виробництва солоні та копченої риби в полі ультразвуку	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Хорольський						69	24
Н. Контр.	Омельченко				ДонНУЕТ			
Затверд.	Омельченко				Кафедра ЗІДО			

технологічне обладнання. Ось деякі критичні зауваження, щодо математичних моделей процесів соління та копчення прореферовані автором кваліфікованої роботи бакалавра, в яких не враховані параметри впливу вихідних показників на якість продукції та довкілля. Наприклад, кінцевий продукт- хвости соління після відпрацювання повинні бути утилізованими, відпрацьований коптільний газ необхідно контролювати с точки зору параметрів CO₂ та їх впливу на екологію території підприємства. Тому до існуючих конструкцій коптільних апаратів та апаратів соління в процесі виконання проектних робіт нами розроблено спосіб робото технічного керування цими процесами, які дозволяють одержати високоякісну рибну продукцію. Загальним синергетичним чиником цих конструкцій є виконання процесів соління- копчення в полі імпульсних ультразвукових коливань.. Іншим важливим теоретичним синергетичним чиником є використання нечітких моделей в системах мікропроцесорного керування складними нелінійними технологічними процесами.

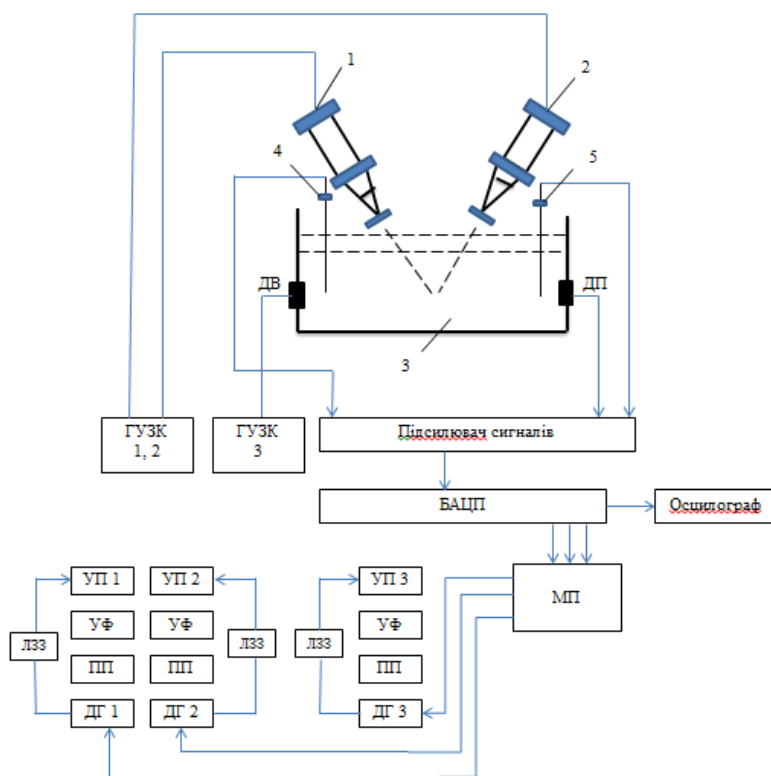


Рисунок 2.1. Система імпульсного ультразвукового контролю та керованого впливу високочастотних коливань на рибний продукт.

В системі використані наступні елементи та вимірювальні пристрої: 1 – перетворювач магнітно-стрикційний УЗК коливань 20 кГц; 2 – перетворювач магнітно-стрикційний УЗК коливань 30 кГц; 3 – коптильна ванна; 4 – датчик контролю температури; 5 – датчик контролю процесу диспергування; ДВ – датчик потужності імпульсних УЗК випромінювання; ДП – датчик високочастотних УЗК сигналів -приймач; БАЦП – багатоканальний аналого-цифровий перетворювач; МЦ – мікропроцесор; ГУЗК 1,2 – генератори ультразвукових коливань: 1 - на частоту 20 кГц, 2 - на частоту 30 кГц; ГУЗК 3 – генератор ультразвукових коливань на частоту 200 кГц; ПП – підсилювач потужності; УФ – узгоджений фільтр; ЛЗЗ – ланцюг зворотного зв'язку; УП 1,2 – ультразвуковий перетворювач: 1 - на частоту 20 кГц, 2 - на частоту 30 кГц; УП 3 – ультразвуковий перетворювач 3 датчика випромінювання ДВ 3 частотою 200 кГц; ДГ 1,2,3 – давальний генератор 1,2,3, який дозволяє змінювати ширину та амплітуду УЗК-імпульса.

У процесі аналізу впливу імпульсних ультразвукових коливань на об'єкт, нами вивчався процес руйнування бульбашок та їх схлопування. При цьому аналізували канали, пульсації, які пов'язані з турбулентністю та процеси керованої кавітації. Що дозволило зменшити негативний вплив вихідних відпрацьованих хвостів на навколишнє середовище та врахувати в математичних моделях чинник- екологічну складову.

Машина модель, яка буде побудована в роботі на основі узагальненого математичного опису, є дуже складною задачею. Вченим ХДУХТ, . наприклад встановлено наступне: «З термодинамічної точки зору процес соління

(копчення) риби є типовим масообмінним процесом в гетерогенній системі. Внаслідок наявності капілярно-пористої структури риби крім дифузійного перенесення молекул NaCl в тканини риби здійснюється дифузійно-осмотичне перенесення води з тканин в сольовий розчин або назад

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

в залежності від співвідношення концентрацій в рибі». «Як і всі процеси масообміну, інтенсивність соління (копчення) залежить від співвідношення швидкості зовнішнього масообміну і впливу

ультразвукових коливань[35,39,40].» Ось тому точність такої моделі не дозволяє побудувати робастні системи керування. Тому в нашій роботі ми будемо критично аналізувати існуючі моделі, а також будемо спрощувати моделі з метою одержання бази знань та бази прецедентів. Перший етап буде наших досліджень пов'язаний з виокремленням фізико-хімічних процесів. Наприклад, необхідно звернути увагу експертів зі знань,що

у процесі соління та копчення вода, що виділилася з риби, розбавляє м'ясо риби в граничному шарі на поверхні риби, що призводить до зниження його концентрації,а отже, до зменшення рушійної сили градієнту концентрації солі або коптильного диму. У результаті такого явища процес соління (копчення) сповільнюється. Таким чином, ми визначили важливий керувальний чинник при проектуванні робототехнологічних систем керування процесом соління або копчення риби.

«Спроби інтенсифікувати процес зовнішнього масообміну шляхом збільшення швидкості циркуляції тузлуку не дали очікуваних результатів. Згідно з даними [35,39] при збільшенні швидкості циркуляції тузлуку в декілька разів швидкість соління зростає всього лише на 10%.

Це будемо пояснювати наявністю вузького підшару на поверхні риби, де масообмін здійснюється виключно молекулярної дифузії, що має низьку інтенсивність під час впливу на технологічний процес.»

Наступним етапом є оцінка різних факторів, які впливають на фізико-хімічні процеси виробництва рибних продуктів в полі ультразвукових імпульсних коливань в середовищі -1 коптильного диму 2 солоного розчину рідини. При цьому будемо використовувати кількісні дані та якісні апріорні знання оперативного персоналу про технологічний процес. Такі знання одержують в результаті експериментальних вимірювань на діючих апаратах

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

соління (копчення), лабораторних дослідженнях і за рахунок комп'ютерного моделювання. Для наших цілей інтерес представляють дифузійні процеси

«Вирішити проблему інтенсифікації зовнішнього масообміну в цьому випадку можливо з використанням ультразвукових коливань, які здатні зрушувати граничний шар. У класичній літературі з ультразвуку теоретично описаний і експериментально підтверджений ефект гідродинамічного збурення вузького граничного шару за рахунок так званих акустичних (шліхтінських) течій [17,32].»

«Течії ультразвукових коливань являють собою постійно циркулюючі коливання, що паралельні твердій поверхні з розмірами $\lambda/4$ (чверть довжини акустичної хвилі) та висотою $\Delta_{уз}$. Ці вихори на відстані у півхвилі змінюють напрямок свого обертання. У цьому випадку граничний шар зі зниженою солоністю буде постійно оновлюватися, що призведе до збільшення інтенсивності зовнішнього масообміну.»

Розробимо математичну модель такого процесу, використовуючи теоретичні положення наукових праць вчених ДонНУЕТ м. Кривий Ріг [15,16,17,21], така модель нам необхідна для побудови нечітких експертних моделей керування складними нелінійними технологічними процесами соління(копчення) риби.

Дослідження ультразвукових потоків імпульсних високочастотних коливань будемо визначати наступними залежностями

$$\lambda = c_0/f, \quad (2.1)$$

$$\Delta_{уз} \approx 1,9\delta_{уз}, \quad (2.2)$$

$$\delta_{уз} = \sqrt{\frac{v}{\pi f}}, \quad (2.3)$$

де c_0 – швидкість ультразвуку в середовищі риби, м/с; f – частота

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

звукових коливань, Гц; Δ_{yz} – товщина граничного вихору, м; δ_{yz} – товщина звукового граничного шару, м; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості середовища, м²/с.

Розрахуємо характерні розміри акустичного вихору. Вважаючи, що $c_0 = 1500$ м/с; $f = 22$ кГц; $\nu = 10^{-6}$ м/с, одержуємо такі значення $\lambda/4 = 1,7$ см; $\Delta_{yz} = 7,2 \cdot 10^{-6}$ м.

Таким чином, довжина хвилі ультразвукових коливань порівнянна з розмірами риби, «а його товщина з товщиною в'язкого гідродинамічного шару (товщина гідродинамічного шару при вимушеній конвекції зі швидкістю $v = 1$ м/с дорівнює $\Delta_{\text{конв}} = \nu / v = 10^{-6}$ м)».

. Ці оцінки підтверджують перспективність використання ультразвукової обробки об'єкта керування щодо інтенсифікації процесу соління (копчення) риби.

. Ці дослідження представляють інтерес для побудови роботизованих комплексів. У оптимальній постановці така задача зводиться до системи рівнянь Нав'є-Стокса і конвективної дифузії. Таке завдання, як відомо, є нелінійним і може бути вирішене тільки чисельно. «Наближене рішення цієї задачі можливо за наступних припущень:

- 1) розглядається плоска стаціонарна течія в граничному шарі (швидкість змінюється тільки по осі y);
- 2) відомий розподіл швидкості $v_x(y)$ по осі y ;
- 3) фізичні характеристики середовища – коефіцієнт дифузії, коефіцієнт в'язкості не змінюються».

У нашому випадку рівняння конвективної дифузії представимо наступним чином:

$$v_x(y) \frac{dc}{dy} - D \frac{d^2c}{dy^2} = 0, \quad (2.4)$$

де C – концентрація тузлуку, %;

$v_x(y)$ – швидкість течії вздовж вісі x , м/с;

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$.

З метою побудови алгоритму використання ультразвукової обробки риби скористаємося рішенням задачі в [24,34] для оцінки швидкості коливань ультразвукової хвилі в рибі

$$v_x(x, y) = -\frac{v_0^2}{4c_0} \left[\frac{y}{\delta_{yz}} - \left(\frac{y}{\delta_{yz}} \right)^2 \right] \sin(2kx), \quad (2.5)$$

де $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – хвильове число для ультразвукової хвилі, м^{-1} ;

v_0 – амплітуда коливальної швидкості ультразвукової хвилі, $\text{м}/\text{с}$.

Нами використане рівняння, в якому швидкість ультразвукових коливань в середовищі риби періодично змінюється вздовж поверхні продукту, тому використаємо середнє значення на відстані $\lambda/4$ з метою побудови бази знань про процес соління(копчення)

$$v_x(y) = -\frac{v_0^2}{4c_0} \left[\frac{y}{\delta_{yz}} - \left(\frac{y}{\delta_{yz}} \right)^2 \right] \frac{4}{\lambda} \int_0^{\lambda/4} \sin(2kx) dx. \quad (2.6)$$

Цю обставину потрібно врахувати для коректного обчислення коефіцієнта масовіддачі в даному випадку, а саме інтеграл у виразі (2.6) слід розбити на два інтервали без урахування зміни знака швидкості ультразвукового імпульса.

$$\beta_{\text{копч}} = \frac{1}{\Delta_{yz}} \left[\int_0^{\delta_{yz}} |v_x(y)| dy + \int_{\delta_{yz}}^{\Delta_{yz}} |v_x(y)| dy \right]. \quad (2.7)$$

$$\beta_{yz} = 0,068 \frac{v_0^2}{c_0}. \quad (2.8)$$

. Амплітуда коливальної швидкості пов'язана з такими технічними характеристиками ультразвукових коливань, як частота і густина потоку акустичної енергії [24]

$$v_0 = 2\pi \cdot A \cdot f, \quad (2.9)$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2E}{\rho c_0}}, \quad (2.10)$$

де A – амплітуда ультразвукових коливань, м;

E – густина потоку акустичної енергії, Вт/м².

Враховуючи останні вирази, коефіцієнт масовіддачі в умовах використання ультразвукової обробки запишемо у вигляді, зручному для технічних розрахунків

$$\beta_{yz} = 2,7 \frac{f^2 A^2}{c_0}, \quad (2.11)$$

$$\beta_{yz} = 0,14 \frac{E}{\rho c_0^2}. \quad (2.12)$$

На основі математичних моделей (2.5-2.12) для графічного одержання нових знань низче побудовані залежності ефективності масовіддачі в полі ультразвукових коливань.

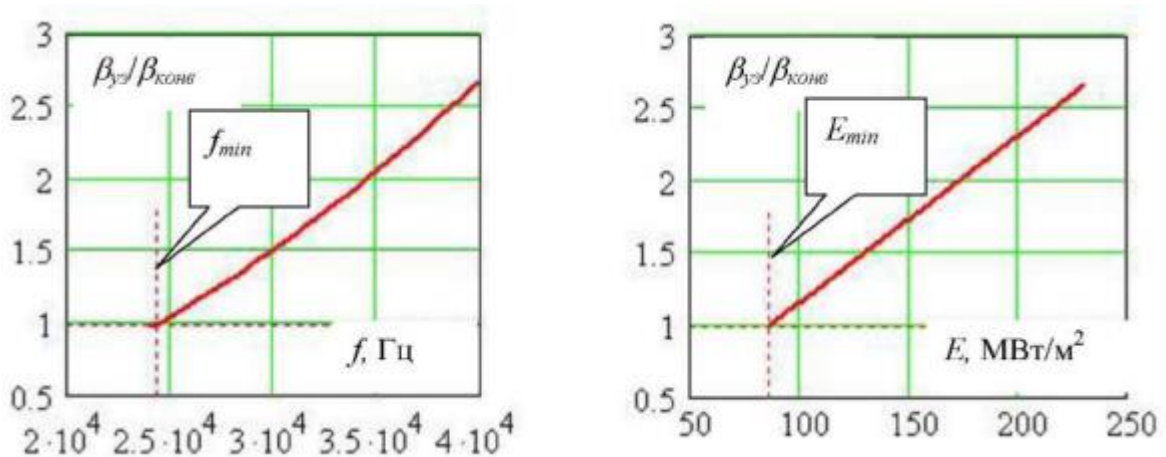


Рисунок. 2.2. Критерій ефективності масовіддачі в ультразвуковому полі

$\beta_{yz}/\beta_{конв}$ залежно від характеристик випромінювача

На основі аналізу наукових праць і з метою створення бази даних , бази

правил, бази знань зробимо наступне зауваження: «Згідно з наведеними розрахунками межа ефективного застосування ультразвуку з метою інтенсифікації зовнішнього масообміну при солінні відповідає мінімальним значенням густини потоку акустичної енергії $E_{min} = 87 \text{ МВт/м}^2$ або частоти коливань $f_{min} = 24 \text{ кГц}$ (при постійному значенні $A = 70 \cdot 10^{-6} \text{ м}$) [19]. При збільшенні частоти акустичних коливань від 24 до 40 кГц коефіцієнт масовіддачі збільшується в 3 рази, що потребує подальшого експериментального обґрунтування з метою визначення раціональних параметрів процесу соління океанічної риби за допомогою ультразвуку».

2.2 Математичне моделювання впливу ультразвукової обробки на процес внутрішнього масопереносу

«Харчові продукти із риби належить до колоїдних капілярно пористих тіл, а тому процеси масопереносу залежить від характеру пористої структури рибного продукту. Збільшення інтенсивності внутрішнього масопереносу при солінні риби визначається можливістю виникнення мікроконвективних течій в капілярах, які збільшують градієнт концентрації, а відповідно інтенсивність соління. Проведемо таку оцінку виходячи з таких уявлень [30, 41].»

Важливим параметром є потужність потоку ультразвукової енергії E , яка дорівнює потужності конвективного потоку маси: $E = E_{конв}$. Тоді оцінимо ультразвукову енергію за формулою

$$E = \frac{1}{2} \rho v_0^2 c_0. \quad (2.13)$$

Визначемо значення середньої швидкості ультразвукового сигналу в тілі риби

$$v_x = \frac{v_0^2}{c_0} \quad (2.14)$$

Якщо прикласти імпульсні ультразвукові коливання, то в

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

макрокапілярах риби виникає дифузійний потік, тому

$$j_{уз} = D \frac{\Delta C}{r_{мікро}} \xi_{зв'яз} + \frac{v_0^2}{2c_0} \Delta C \xi_{віл}. \quad (2.15)$$

Керування цим процесом приведе до оцінки інтенсивності внутрішнього масопереносу

$$\frac{j_{уз}}{j_{диф}} = \frac{D \frac{1}{r_{мікро}} \xi_{зв'яз} + \frac{v_0^2}{2c_0} \xi_{віл}}{D \frac{1}{r_{мікро}} \xi_{зв'яз} + D \frac{1}{r_{макро}} \xi_{віл}}. \quad (2.16)$$

«Для розрахунку за формулою прийемо наступні значення $D = 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ [39]; $c_0 = 1500 \text{ м/с}$; $f = 24000 \text{ Гц}$; $A = 70 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Частку мікро і макро капілярів приймаємо рівною відносному вмісту пов'язаної вільної вологи в сирій рибі [8, 9] $\xi_{мікро} = 0,19$; $\xi_{макро} = 0,81$, а характерні розміри капілярів $r_{мікро} = 10^{-9} \text{ м}$; $r_{макро} = 10^{-5} \text{ м}$. В результаті отримуємо величину збільшення інтенсивності внутрішнього масопереносу при використанні ультразвуку»

$$\frac{j_{уз}}{j_{диф}} = 1.14. \quad (2.17)$$

З урахуванням вищевикладеного для розрахунку внутрішнього масопереносу при солінні (копчення) в ультразвуковому полі введено ефективний коефіцієнт дифузії

$$j = D_{уз} \nabla C, \quad (2.18)$$

$$D_{уз} = \frac{D \frac{1}{r_{мікро}} \xi_{зв'яз} + \frac{v_0^2}{2c_0} \xi_{віл}}{\frac{1}{r_{мікро}} \xi_{зв'яз} + \frac{1}{r_{макро}} \xi_{віл}}. \quad (2.19)$$

Величину ефективного коефіцієнта дифузії $D_{уз}$, при солінні(копчення) необхідно визначати на основі експертних оцінок, що дозволить використовувати цей важливий параметр в системі керування процесом

соління.

2.3 Розрахунок тривалості соління та копчення риби в ультразвуковому полі

Основним технологічним параметром соління є тривалість процесу.

В існуючих наукових працях українських вчених рекомендуються кілька рівнянь для визначення тривалості соління [17,21, 24].

$$\tau = \frac{H^2}{\pi^2 K_c} \ln \left(\frac{C_\infty}{C_\infty - C} \right), \quad (2.20)$$

$$\tau = \frac{l^2}{K_c} \ln \left(\frac{C_\infty}{C_\infty - C} \right), \quad (2.21)$$

де C_∞ , C – концентрація NaCl в риби відповідно, %; H – повна товщина риби, см; l – довжина риби, см; K_c – коефіцієнт просолоювання. см²/год; τ – тривалість соління, год.

Недоліком цих формул є наявність коефіцієнта просолоювання K_c , який кожного разу необхідно визначати експериментально, причому не тільки для певного виду риби, але й певного розміру риби. В роботі [18] авторами запропоновано використовувати наступну формулу, яка придатна для моделювання часу імпульсної обробки Узк об'єкту.

$$\tau = \frac{wB^2}{8D} \ln \left(\frac{aC_\infty}{aC_\infty - C} \right), \quad (2.22)$$

де w – початковий вміст води в частках одиниці;

B – приведена товщина риби $B = x \cdot H$. Тут H – товщина риби, м; x – коефіцієнт

Експертну оцінку кінетики соління (2.22) будемо використовувати для визначення оптимальних характеристик роботи робототехнологічних комплексів.

З метою обґрунтування вибору частоти випромінювання, використовуємо

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

серійний магнітострикційний перетворювач з резонансною частотою випромінювання 22 кГц (експериментальна установка наведена на рис 2.1) для визначення їхнього впливу на процес соління(копчення) риби за допомогою ультразвуку.

З метою виявлення впливу ультразвукової обробки на процес соління риби та перевірки результатів теоретичних розрахунків наведених вище ,їх експериментального обґрунтування для визначення раціональних параметрів процесу соління, резонансні частоти випромінювача змінювали у діапазоні від 22 кГц до 30 кГц, шляхом моделювання і зміни резонансних параметрів коливальної системи ультразвуковий генератор - ультразвуковий перетворювач [15,21]

Результати розрахунків та досліджень основних енергетичних параметрів магнітострикційного перетворювача наведені на рис. 2.3. Комп'ютерне моделювання проводили за алгоритмами, наведеними в роботах [16, 17,21].

Експерименти проводилися за методиками вказаними у [16], тривалість експерименту складала 20 хв., зміна резонансних параметрів коливальної системи ультразвуковий генератор – ультразвуковий перетворювач відбувалося шагом 2 кГц. Випромінюванню підлягала риба густиною $1,20 \text{ г/см}^3$, акустичний імпеданс якого наближений до імпедансу риби. Розрахунки проводилися для випромінювачів з діаметром $15 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, та площею $1,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Значення корисної акустичної потужності джерела звуку та амплітуди зсуву часток визначалися експериментально за методикою МЕК [17.21]. Коефіцієнти пропускання k_D , відбиття k_Γ , акустичний опір середовища R_A , не залежать від частоти випромінювання, а лише від швидкості звуку та густини середовища [21, 23], $k_D = 0,93$, $k_\Gamma = 0,06$, $R_A = 1,61 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

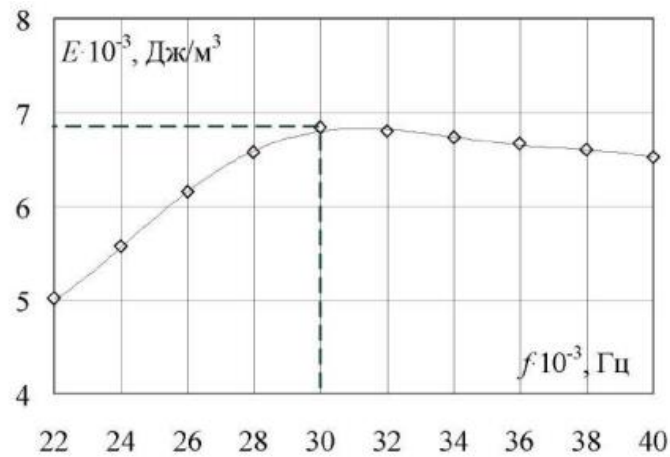
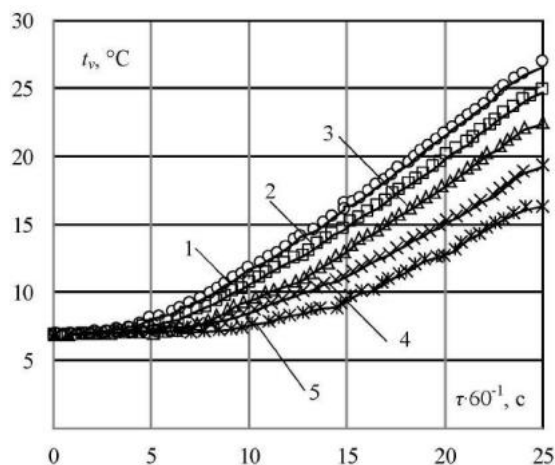
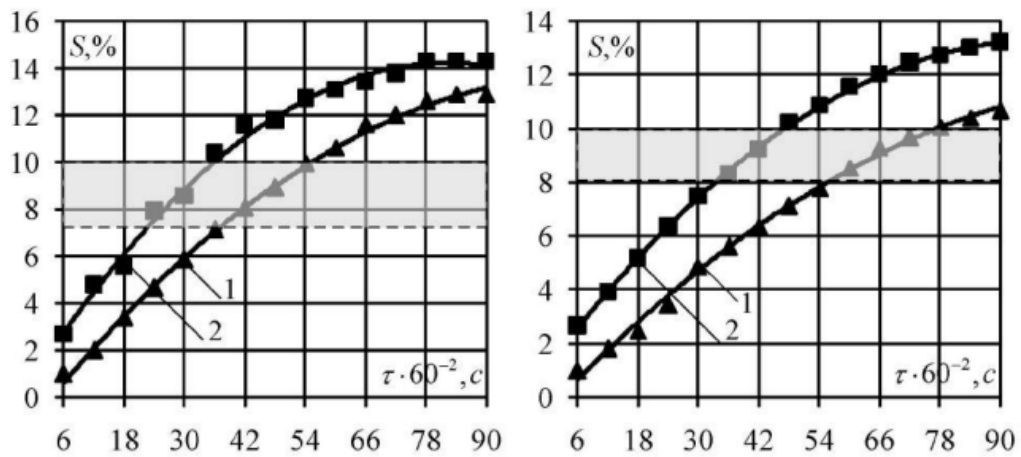


Рисунок 2.3. Зміна розсіяння ультразвукової енергії E магнітострикційного перетворювача від частоти випромінювання

Інженерний розрахунок магнітострикційного перетворювача (рис.2.1) з коливальною системою на встановлену оптимальну частоту наведено авторами монографій та учбових посібників у [4,5,6,11,12,13,14,15,16,17,21,24,30,32,34].

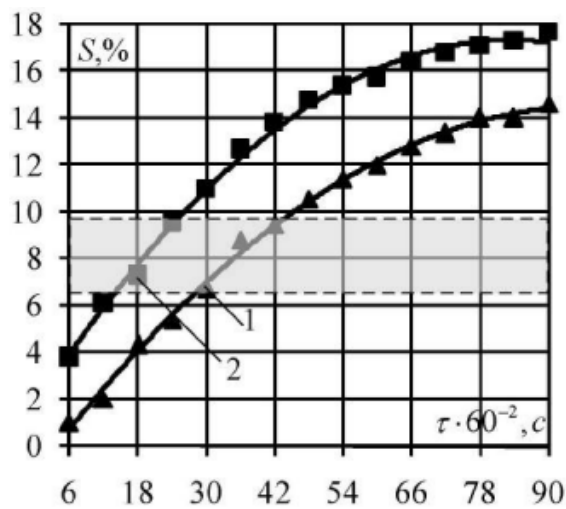
Наступним етапом досліджень було визначення кількості УЗ енергії, яка розсіялася під час обробки та визначення розподілу УЗ енергії усередині робочої камери УЗ апарата. Для визначення розподілення енергії у рибі під час соління та копчення за допомогою ультразвуку були проведені експерименти, результати яких наведені на рис. 2.4 При цьому нами використана методика терморозподілу температури за об'ємом зразка риби [39,40].





а

б



в

Рисунок 2.6 Кінетика середньої солоності риби: а – оселедець атлантичний; б – скумбрія атлантична; в – сардина тихоокеанська; 1 – без обробки ультразвуком; 2 – обробка за допомогою ультразвуку частотою 30 кГц (густина розчину NaCl становить $1,20 \text{ г/см}^3$, температура розчину NaCl 7°C)

У процесі досліджень виявлено, що вплив ультразвукових хвиль інтенсифікує процес соління(копчення) на 28...34% для всіх видів рибної продукції..

На рис.2.7 наведена залежність якості рибних продуктів після впливу ультразвукової обробки на зміну коефіцієнту дифузії під час копчення риби.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З УЛЬТРАЗВУКОВИМИ РОБОТОТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

3.1 Обладнання та система робототехнологічного управління виробництвом рибопродуктів в полі ультразвукових коливань

Дослідження впливу ультразвукових коливань на рибні продукти та визначення робочих характеристик якості вхідної сировини, продуктивності ультразвукових випромінювачів, частотних характеристик ультразвукових коливань, часу перебування рибного продукту в робочій камері соління або копчення дозволило спроектувати більш ефективніші проекти обладнання для:

1. Робототехнологічного комплексу для виробництва копчених продуктів харчування;
2. Робототехнологічного комплексу для виробництва соління рибних продуктів.

Загальною ознакою цих розроблених робототехнологічних комплексів є високий рівень автоматизованого керування і оптимізації часу перебування сировини в робочій камері, використання багатомірних цифрових систем керування тепловими процесами коптільного диму, пару, параметрів соління та якості продукції.

На рис 3.1 наведений робототехнологічний комплекс для виробництва копчених рибопродуктів. Основним елементом РТК є мікропроцесорна система керування: транспортування сирової риби, подачі гарячого повітря, пару, коптільного диму, регулювання швидкості транспортування риби за допомогою САР АД-ТП. Детально розглянемо типовий алгоритм керування процесом дозування сирової риби процесом завантаження комплексу копчення рибного продукту.

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка технологічного обладнання для виробництва солоні та копченої риби в полі ультразвуку	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Новіков					69	40
Перевір.		Хорольський				ДонНУЕТ		
Н. Контр.		Омельченко				Кафедра ЗІДО		
Затверд.		Омельченко						

На рис. 3.2 наведена схема трьохрівневого управління стадіями завантаження , підготовки теплого повітря, температури і параметрів копченого диму, потужності і частоти імпульсних коливань ультразвукового керованого впливу на продукт.

В системі об'єкт керування (ОК), якого вхідні параметри $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, вихідні параметри $\{\Delta_1, \Delta_2, \Delta\varphi_p, \Delta_3, \dots, \Delta_{кл}\}$, і керування впливами $\{\Delta_{u1}, \Delta_{u2}, \Delta_{u\varphi_p^{доз}}, \dots, \dots, \Delta_{uk}\}$.

Контроль φ_p – об'ємного заповнення рибою копильної камери виконує інтелектуальний датчик, який працює з робототехнічним пристроєм дозування.

Головним елементом системи є пристрій оцінки параметрів впливу процесу копчення на навколишнє середовище (датчики Д1, Д2), а також канали нечіткого керування: Т(t)-процесом копчення (соління) риби; М(t)- процесом підготовки риби в полі імпульсних ультразвукових коливань та процесами проварювання (просолювання) риби; G(t)- продуктивністю технологічною лінію копчення(соління). В розробленій автоматизованій системі РТК використані багатоканальні нечіткі регулятори (НР), інтелектуальні виконавчі механізми (ІВМ), які виконані на елементній базі SCADA-систем. Розроблена автоматизована багатоканальна система –універсальна вона може працювати , як у виробничій системі копчення риби з контролем параметрів CO2 і параметрів відпрацьованого пару (датчики Д1, Д2), а також в системі автоматизованого виробництва процесом соління риби. При цьому в якості інтелектуальних датчиків використані (датчики Д1, Д2 контролю параметрів рН) та витрати розсолу, температури тощо. Розроблена система РТК відрізняється від відомих пристроєм оцінки стану зовнішнього середовища і впливу на нього вихідних факторів : відпрацьованого копильного диму І/АБО відпрацьованого розсолу.

На рис. 3.1 наведена частина схеми робототехнологічного пристрою дозування вхідної сировини і копченого диму в роботу технологічній системі копчення риби.

Система працює наступним чином.

Регульована подача сировини з бункера вхідного матеріалу здійснюється шляхом зміни кута нахилу вибропитателя виконавчим механізмом в залежності від сигналу регулятора – продуктивності коптильної лінії.

Вхідний матеріал (риба) подається в лоток вібродозатора, проходячи по якому, потрапляє в коптильну камеру.. Продуктивність дозатора визначається як відношення ваги матеріалу на лотку дозатора до часу руху матеріалу по лотку:

$$Q = 3,6 \frac{GV}{L} = 3,6 \frac{G}{t} (m/ч), \quad (3.1)$$

де Q - витрата сировини, т / год; G - вага матеріалу на лотку, кг; V - лінійна швидкість сирової риби (матеріалу), м / с; L - довжина лотка, м; t - час руху риби по лотку, с.

Таким чином, оцінка продуктивності зводиться до одночасного виміру ваги матеріала на лотку дозатора і часу руху матеріалу по лотку.

Поточне значення ваги матеріалу на лотку визначається за амплітудою вібрації лотка, яка пропорційна вазі матеріалу на лотку і вимірюється за допомогою датчика вібрації.

У вигляді технічного зору оцінки ступеня рівномірного укладання риби , що визначає час руху сировинного матеріалу по лотку дозатора, використовуються телевізійні камери.,

Таким чином, досить нечітка інформація про геометрію заповнення камери копчення, що надходить в мікро-ЕОМ РТК формує алгоритм управління завантаженням рибою коптильної технологічної лінії.

Такий підхід дозволяє скоригувати роботу імпульсного ультразвукового регулятора в залежності від форми, ваги риби.

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

По вихідним і вхідним параметрам температури коптильного диму (локальної контур регулювання подачі теплого повітря в коптильну камеру і локальний контур регулювання подачі повітря в камеру проварювання) оцінюють якість готової продукції..

У таблиці 3.1 представлені результати логічного висновку-змінної продуктивності комплекс.

Таблиця 3.1

Тип	Середня	Середня	Низька	Низька	Низька
Тип	Висока	Висока	Середня	Середня	Середня
Тип	Висока	Висока	Висока	Середня	Середня
Тип	Середня	Низка	Низька	Низька	Низька

Таблиця нечіткого логічного висновку нечіткої змінної максимальна питома продуктивність по певному експертному класу оцінки якості риби, де тип та вага риби, що надходить на копчення.

Таблиця 3.2 Результати нечіткого висновку про якість

загальна якість у копченій рибі	Сумарний вміст коптильного диму та впливи узк-апарату						
	Н	Н	Н	С	С	С	ДН-дуже низька Н-низька. С-середня. П-підвищена. В-висока. ДВ-дуже висока.
	С	Н	Н	С	С	П	
	П	Н	Н	С	П	П	
	В	Н	С	С	П	В	

контроля та інтенсифікації процесу копчення за параметрами температури повітря, пару, коптильного диму (система датчиків 2). Контроль параметрів якості виконує мікропроцесорна система, яка пов'язана з системою контролю параметрів CO₂, параметрів відпрацьованих повітря, пару та коптильного диму.

В РТК- з технологічним обладнанням-1 є: робоча камера з системою контролю датчики 2; 3 – транспортер з ультразвуковою системою впливу коливань на рибне середовище; 4 – решетчасті піддони з системою контролю параметрів рибної продукції; 5 – секція підсушування зі системою контролю температурних параметрів; 6 – секція проварювання з системою автоматизованого контролю і регулювання часу проварювання; 7 – секція коптіння з системою автоматизованого контролю та керування процесу коптіння з параметрами температури коптильного диму; 8 – робот камери розвантажування рибопродукту; 9 – вимірювання ваги; 10, 11 – направляючі; 12 – виконуючі механізми з АД-ТПЧ; 13 – трубний вал із системою контролю швидкості руху рибопродуктів у системі РТК.

Головними управлінськими параметрами є: температура коптильного диму, швидкість коптильного диму, вологість та розмір риби, а також швидкість руху рибопродуктів.

На рис.3.3 наведено робототехнологічний апарат для соління рибопродуктів з системою мікропроцесорного керування технологічним процесом.

В апараті використані наступні елементи керування продуктивністю соління та процесом контролю якості, а саме:

1 – корпус апарата; 2 – генератор ультразвукових коливань з мікропроцесорною системою керування впливу на рибопродукцію; 3 – випромінювачі магнітострикційні; 4 – пристрій з системою контролю параметрів якості риби; 5 – перетворювач з системою керування потужністю ультразвукових коливань; 6 – конічний концентратор; 7 – випромінювач з

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

експоненційним переходом; 8 – кошик сітчастий; 9 – камера робоча з системою візуалізації продукту; 10 – система охолодження магнітострикційних перетворювачів та контролю за температурою робочої камери.

Автором випускової роботи бакалавра розроблена система мікропроцесорного керування процесом копчення та соління.

При цьому при проектуванні систем автоматики і робототехніки були використані основні теоретичні положення авторів наукових праць[8,9,10,11,12,19,20,22,25,26,29,31,34]. та побудовані БД, БП, БЗ. , алгоритми нечіткого керування управлінської системи інформаційного забезпечення РТК.

Як відмічено в другому розділі процес соління – складний нелінійний технологічний процес, в якому результуюче значення величини керованого впливу при реалізації системи регулювання солонності в апараті (рис 3.4) визначається множиною параметрів, які одержані в процесі експертного аналізу математичних моделей і бази правил соління риби.

Тому розроблена нами багатоканальна система керування(рис.3.2) технологічною лінією соління риби , яка враховує критерій мінімізації впливу процесу соління на навколишнє середовище є найбільш перспективною щодо впровадження на перших етапах розвитку робототехнологічного керування складними технологічними процесами соління.

Слід відмітити, що еквівалентний результат можливо одержати за допомогою правила Мамдані [9].

Результуючу нечітку множину керованого впливу на основі експертних знань та моделей та впливу імпульсних ультразвукових коливань на рибу в камері соління знаходимо для кожного із правил, які побудовані шляхом вивчення ОК та створення на основі математичних моделей процесу соління (розділ2) бази знань та бази правил.

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Цей спосіб є більш раціональним, оскільки скорочується кількість обчислень в процесі функціонування алгоритма регулювання.

Якщо порівняти результати роботи нечіткого способу керування процесом соління в роботу технологічному комплексі виробництва рибної продукції, то експертні дослідження довели, що нечіткий регулятор краще відпрацьовує програму соління риби ніж система прямого цифрового керування. Наступним прикладом використання підходу нечітких множин може слугувати система нечіткого регулювання операцією підготовки риби і спроектована для імпульсного ультразвукового впливу на рибу в процесі відпрацювання вихідних параметрів процесу соління.

Метою функціонування цієї системи є стабілізація якості соління шляхом зменшення часу цього складного нелінійного процесу. в камері соління.

Таке нечітке керування технологічним процесом повинно бути виконано в реальному масштабі часу за критерієм мінімізації часу операції соління. В роботу технологічному комплексі технологічної лінії соління риби використані:

-стандартні датчики контролю витрат води, параметрів розсолу, датчики вимірювання рівня рідини, ДТМ-2 датчики температури, АЦП- перетворювачі, ЦАП- перетворювачі тощо;

-- мікропроцесорні системи керування оптимального об'єму риби в камері соління та керування продуктивністю процесом соління(виконані на AMD K8 Opteron. Ці мікропроцесори мають сумісну мікроархітектуру з центральним процесором, що дозволяє в реальному масштабі часу корегувати роботу технологічної лінії з виробництва солоної риби, час виконання операцій та контролювати працездатність обладнання і захищати обладнання від аварійних ситуацій.

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

продукту за рахунок врахування параметрів масо переносу та дифузійних процесів під час імпульсного ультразвукового впливу на рибу в камері підготовки та соління риби. Таким чином, в нашій роботі для двох технологічних процесів розроблені РТК, в яких важливим управлінським впливом є керовані ультразвукові високочастотні пристрої з нелінійними нечіткими багатоканальними регуляторами та мікропроцесорними системами керування нижнього рівня управління РТК..

Робототехнологічні комплекси для виробництва солоної та копченої риби визначаються значною гнучкістю тому, що вони можуть виконувати замовлення на виробництва смарт-продукції з океанських (морських) порід риби. Ознаками гнучкості є також наявність технічної, математичної, інформаційної підтримки обладнання РТК. Можливість роботи РТК з лініями копчення риби та технологічними лініями соління при переході на новий вид продукції встановленої номенклатури. Можливість автоматичного самоконтроля за виконанням операцій соління- копчення риби в полі ультразвукових коливань дозволяє зменшити негативний вплив вихідного коптильного диму та злива відпрацьованого солоного розчину. Можливість обміну даних в межах мережі інформаційного контролю вихідних чинників екологічного середовища та впливу CO₂ на навколишнє середовища, оцінки солонності вихідних відпрацьованих матеріалів..

Показники якості РТК: продуктивність, гнучкість, ефективність показників надійності, склад технологічних операцій та їх показники якості, експлуатаційні показники (час роботи без участі людини, чисельність персоналу, мінімальна площа, час регламентованого простою(коефіцієнт технічного використання), вимоги до кваліфікації операторів і персоналу і персоналу для регламентних робіт. Питомі затрати матеріальних енергетичних і трудових ресурсів, ергонометричні показники, естетичні показники, соціальні показники, ступінь конкурентоспроможності, ступінь стандартизації та уніфікації , ступінь патентної частоти, екологічні показники,

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

показники безпеки для персоналу значно перевищують показники підприємства до впровадження РТК..

Перейдемо до оцінки якості роботи РТК для технологічних ліній з виробництва смарт-продукції з системами керування імпульсними ультразвуковими пристроями, а також систем завантаження ліній свіжою рибою з атлантики. При цьому впровадження РТК в рибну промисловість дозволяє автоматизувати ці процеси без участі технолога- оператора. Відмітимо, що при цьому вартість робототехнологічного обслуговування може перевищувати вартість обслуговування комплексом людиною, але при цьому мінімізуються аварії і аварійні ситуації, а головне стабілізуються показники якості продукції.

3.2 Результати дослідження якісних показників соленої та копченої риби за допомогою ультразвукових робототехнологічних комплексів

Дослідження якості копченої та соленої рибної продукції виконано за органолептичними, фізико-хімічними і мікробіологічними показниками безпеки.. Ці експертні дослідження наведені в таблицях 3.3,3.4..

Спочатку були отримані органолептичні показники якості копченої та соленої риби за допомогою ультразвукової обробки, які наведені в табл. 3.3.

. Оцінювання якості соленої риби за органолептичними показниками проводилося експертним методом за наступною методикою розробленою спеціалістами ХДУХТ [2,3,14,18,35,39,40]

Критерії експертної оцінки рівня якості соленої риби:

4,8 і вище – відмінна якість;

4,0 - 4,79 – добра якість;

3,0 - 3.99 – задовільна якість;

2,99 і нижче – незадовільна якість

За умови виробництва риби - соленої або копченої з обробкою імпульсними високочастотними сигналами ультразвукових коливань. В

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

роботі одержані наступні результати (табл.3.1,3.2), рис.3.4.

Таблиця 3.3 Розрахунок комплексного показника якості сардини тихоокеанської за умови копчення з попередньою обробкою ультразвуком

Експерт	Смак і запах	Консистенція	Колір	Зовнішні пошкодження	Загальна оцінка
№1	4	3	4	5	16
№2	4	4	5	5	18
№3	4	4	5	5	18
№4	5	4	4	4	17
№5	5	3	5	5	18
Сума балів	22	18	23	24	87
Середнє значення	4,4	3,6	4,6	4,9	-
Коефіцієнт вагомості	0,29	0,34	0,23	0,14	1
Комплексний показник	$4,4 \cdot 0,29 = 1,28$	$3,6 \cdot 0,34 = 1,22$	$4,6 \cdot 0,23 = 1,06$	$4,9 \cdot 0,14 = 0,68$	4,24

Загальні результати комплексного показника соління різних видів риб наведено на рис. 3.4.

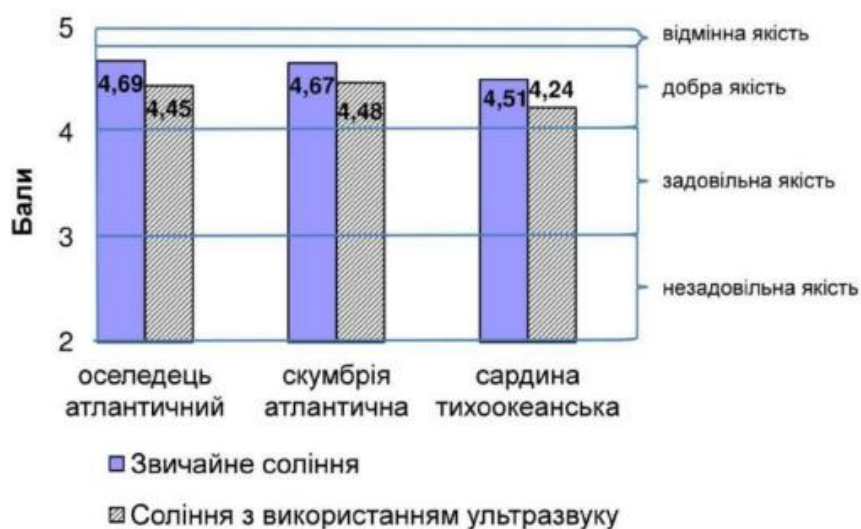


Рис. 3.4. Визначення комплексного показника якості риби за звичайного соління та за умови соління з використанням ультразвуку

За результатами експериментальних досліджень було виявлено, що показники якості соленої риби з використанням ультразвукової обробки відповідають відповідним ДСТУ за мікробіологічними показниками (табл. 3.4).

Мікробіологічні показники соленої та копченої риби

Назва показника	Допустимий рівень	Вид риби океанічного промислу		
		оселедець атлантичний	скупбрія атлантична	сардина тихоокеанська
КМАФАнМ, КУО у 1 г	$1,0 \cdot 10^5$	$5,4 \cdot 10^3$	$5,8 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^3$
Бактерії групи кишкових паличок у 0,1 г	не дозволено	не виявлено		
Патогенні мікроорганізми, в т.ч. роду <i>Salmonella</i> , у 25 г	не дозволено	не виявлено		

Комплексний показник якості для всіх зразків відповідає безпечним показникам рибної продукції. Дещо менші значення для риби, копченої з використанням ультразвуку, зумовлені незначним погіршенням консистенції м'яса риби внаслідок руйнівної дії на структуру м'язової тканини ультразвукових коливань.

В цілому якість всіх зразків відповідає вимогам нормативно-технічної документації, безпечність соленої та копченої риби за допомогою

ультразвукової обробки відповідає стандартним нормативам..

Експертно оцінено економічну ефективність від впровадження робототехнологічного комплексу 1 для солоної риби, 2 для копченої риби .

Економічна ефективність процесу виробництва рибопродуктів в полі імпульсних ультразвукових коливань оцінена експертами на основі зменшення часу виготовлення рибного продукту, підвищення продуктивності технологічної лінії та зменшення затрат електроенергії на 10% .

1 Прибуток (розрахунковий) підприємства малого бізнесу при солінні 10000кг океанської риби складає 50000грн.

2.Прибуток (розрахунковий) підприємства малого бізнесу при копченні 10000кг океанської риби складає 55000грн: за рахунок зменшення часу

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

копчення та збільшення продуктивності лінії з РТК та своєчасного виконання замовлення.

Соціальний економічний ефект експертами оцінений в створенні високоавтоматизованих та робототизованих виробництв смарт-продукції з мінімізацією екологічних впливів на навколишнє середовище тп продукції з лікувальними властивостями для населення техногенних регіонів з високим рівнем нутрієнтних показників та якості.

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Висновки

1. Виконано аналітичний аналіз існуючого обладнання для соління і копчення риби та запропоновано способи підвищення продуктивності цих процесів. Запропоновано використовувати модифікований спосіб інтенсифікації процесу соління (копчення) за допомогою імпульсних високочастотних коливань ультразвуку. Розраховано оптимальну частоту ультразвукових коливань (потужність випромінювання), та системи керування процесом кавітації, яка дозволяє спроектувати роботу технологічне обладнання для соління та копчення рибопродуктів.

2. Експертним шляхом доведено, що якщо коефіцієнт масовіддачі збільшується зі збільшенням частоти коливань від 22 до 40 кГц в три рази порівняно з коефіцієнтом масовіддачі за умов некерованої конвекції, то необхідно контролювати параметри технологічного процесу соління в реальному масштабі часу. Розроблено математичну модель впливу імпульсних ультразвукових коливань на об'єкт дослідження шляхом внутрішнього масопереносу під час соління та копчення риби. Показано, що ультразвукові коливання сприяють інтенсифікації внутрішнього масопереносу за рахунок виникнення дифузійних процесів. Експертним шляхом визначено: коефіцієнт дифузії, який при збільшенні частоти коливань від 22 кГц до 40 кГц теж збільшується на 16...45%.

3. Розроблена математична модель процесу горячого копчення риби, яка враховує параметри впливу ультразвукової обробки риби на швидкість дифундування компонентів коптильного диму в товщину риби.

Визначено, що основними факторами, які впливають на протікання процесу горячого копчення є швидкість руху коптильного диму на воді в коптильну камеру і характерний розмір риби.

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Новіков			Розробка технологічного обладнання для виробництва солоні та копченої риби в полі ультразвуку	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Хорольський					69	54
Н. Контр.		Омельченко				ДонНУЕТ		
Затверд.		Омельченко				Кафедра ЗІДО		

4. Розроблено нечітку модель керування часом соління в умовах ультразвукового імпульсного впливу на об'єкт, яка відрізняється від існуючих чинниками, які враховують індивідуальні характерні розміри риби (габаритні розміри і відношення об'єму до площі поверхні), коефіцієнт масовіддачі й коефіцієнт дифузії та дозволяють побудувати базу експертних знань в системі мікропроцесорного керування процесом соління.

5. Досліджено кінетику дифузії NaCl у рибі за умов тузлучного соління. Установлено, що на початку процесу соління значення коефіцієнта дифузії зменшується, а після досягнення концентрації NaCl 10..12% – збільшується. Найбільші значення коефіцієнта дифузії характерні для процесу соління, який відбувався під впливом ультразвукових коливань із частотою 30 кГц.

6. Визначено раціональні параметри процесу соління риби за допомогою впливу імпульсних ультразвукових коливань. Установлені оптимальні параметри процесу обробки об'єкту (тривалість 10...15 хв і частота двоканальна 20КГц; 30 кГц). Експертно оцінено показники соління оселедця атлантичного (тривалість соління $\tau = 24...36$ год, солоність готової риби $S = 7..10\%$ із коефіцієнтом буферної ємності 160...220) ;для скумбрії атлантичної $\tau = 30...42$ год, $S = 8...10\%$ із коефіцієнтом буферної ємності 120...190, для сардини тихоокеанської– $\tau = 18...24$ год, $S = 7...9,5\%$ із коефіцієнтом буферної ємності 120...190.

7. За результатами органолептичних досліджень встановлено, що зразки солоної риби відповідають вимогам нормативної документації, за мікробіологічним показником (КУО/г) та не перевищують норм ДСТУ. щодо впливу на навколишнє середовище. Комплексний показник якості для всіх зразків відповідає експертним показникам -добрій якості риби. Безпечність солоної риби підвищується за допомогою ультразвукового імпульсного оброблення, що дозволяє одержати високоякісний продукт харчування. Робототехнологічні комплекси та роботи технічні інтенсифікатори, які вбудовані в технологічний процес виробництва солоної продукції.

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

дозволяють збільшити продуктивність та зменшити енергозатрати за рахунок суттєвого скорочення часу технологічної операції соління рибного продукту..

8. Запропоновано схему робототехнологічного комплексу (РТК) - робот , в якому управлінська програма може повністю або частково формувати команди у відповідності з поставленим завданням і в залежності від стану робочого середовища змінювати свої виробничі програми.

Роботи – інтенсифікатори, які вбудовані в технологічний процес виконують операції диспергування , перемішування , переміщення , очищення води за допомогою робочих інструментів, програмного забезпечення та системи візуалізації та багатоканального робототехнологічного керування технологічним процесом виробництва риби

9. Доведено, що для керування процесом копчення потрібно стабілізувати температурні режими коптильного диму шляхом зміни кількості підведення тепла в калорифери зон (зміни витрати пари). Інтенсифікація виробництва може бути досягнута шляхом проектування робототехнологічного комплексу керування процесів копчення з використанням ультразвукової імпульсної обробки риби.

Ця прогресивна технологія соління- копчення виконується за допомогою імпульсних ультразвукових генераторів, випромінювачі яких встановлені в зоні копчення та є складовими елементами керування за допомогою програмних продуктів РТК.

До складу робототехнологічних інтенсифікаторів робототехнологічного комплексу процесу копчення включено УЗГ та випромінювач, який за допомогою напівпровідникового імпульсного переривника (ІП) керує часом кавітаційних впливів на середовище камери з рибою та при цьому на 12-15 % збільшується продуктивність процесу копчення та на 10% зменшується час копчення

10. Економічна ефективність процесу виробництва рибопродуктів в полі імпульсних ультразвукових коливань оцінена експертами на основі

					ДонНУЕТ.133 -гмб18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

зменшення часу виготовлення рибного продукту, підвищення продуктивності технологічних ліній та зменшення затрат електроенергії на 10% .

Прибуток(розрахунковий) підприємства малого бізнесу при солінні 10000кг океанської риби складає 50000грн.

Прибуток (розрахунковий) підприємства малого бізнесу при копченні 10000кг океанської риби складає 55000грн: за рахунок зменшення часу копчення та збільшення продуктивності лінії з РТК та своєчасного виконання замовлення. Соціальний економічний ефект полягає в створенні високоавтоматизованих роботизованих виробництв смарт-продукції для техногенних регіонів з високим рівнем нутрієнтних показників та якості..

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

- 1.Хорольський В. П.Інноваційно-інвестиційна стратегії розвитку підприємств харчової промисловості регіону з техногенно забрудненими територіями/ В.П Хорольський, Д.Д. Гайдай, К.Д.Хорольський // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки.-2016.-№5. том1.-С. 194-200.
- 2.АбрамоваЛ.С.Поликомпонентные продукты питания на основе рыбного сырья . М.: Изд. ВНИРО,2006-175с.
- 3.Тутельман В. А. Научные основы здорового питания . М.: Изд. дом « Панорама»2010- 816с.
4. Акопян Б.В. Основи взаємодії ультразвуку з біологічними об'єктами.- М .: МГТУ ім. Н. Е. Баумана, 2005. - 224 с.
5. Балдаев Р.В. Застосування ультразвуку / Балдаев Р. В., Раджендран П. П. - М .: Техносфера, 2006. - 576 с.
- 6.Барсуков Р. В. Дослідження ультразвукового впливу на технологічні середовища та підвищення ефективності технологічних апаратів: дис. ... канд. Техн. Наук / Р. В. Барсуков. Бійськ, 2005. - 142 с.
7. Іванова М.А., Антуфьев В.Т. Вплив ультразвуку на показники готового дрібноштучного хлібобулочного виробу. [Електронний ресурс]: Електронний науковий журнал «Процеси і апарати харчових виробництв» / ГОУ ВПО «Санкт-Петербурзький державний університет низькотемпературних і харчових технологій. - Електрон.журнал - Санкт-Петербург: СПбГУНіПТ, 2011.- №1.-сент. 2011 р
8. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів/В. П. Хорольський,Ю.М.Коренець,А,В Возняк, О.В. Омельченко та ін..за ред..В. П. Хорольського- Кривий-Ріг:ФОП Чернявський Д. О.,2019- 204с
9. Методы классической и современной теории автоматического управления: ученик Том 5 М.: Изд. МГТУ им . Н. Э. Баумана,2004- 2004- 784с.
- 10 Павленко В. Г. Математичні методи обробки експериментальних даних. - Новосибірськ, 1972. - 137 с.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

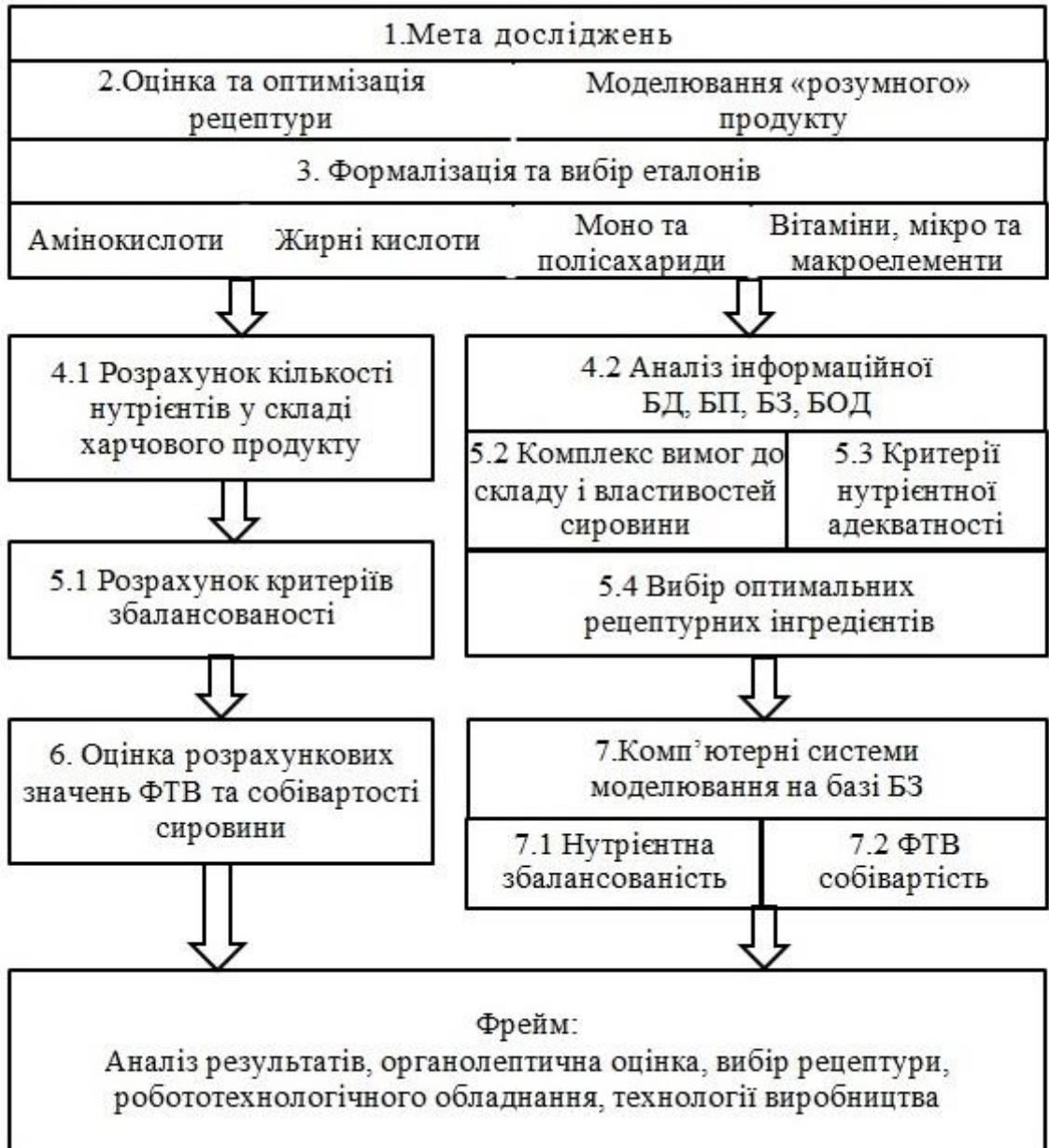
11. Хмельов В.Н. Застосування ультразвуку високої інтенсивності в промисловості. - Бійськ: АГТУ, 2010.-203 с.
12. Хорольський.В.П. Коренець Ю. М. Ідентифікація процесу приготування тіста в полі ультразвукових коливань /Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.2018-№2-С.115-123.
13. Шалунов, А. В., Хмельов, В. Н., Слівіна А. Н., Барсуков Р. В., Циганок С. Н. Застосування ультразвуку високої інтенсивності в промисловості. - Бійськ: АГТУ, 2010. - 177 с.
- 14.Остриков А.Н. Исследование процесса диффузии компонентов коптильного дыма в процессе горячего копчения при ультразвуковой обработке/
А.Н.Остриков, Н. Ю. Черноусова- М.: Рыбпром.-№2.-2009- С36-37.
15. Хорольський В.П., Серебренников В.М., Коренець Ю.М. Ультразвук як аналізатор моніторингу стану харчової сировини// Вісник Хмельницького націонФедоткин И.М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности: Теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов / И.М. Федоткин, И.С. Гулий // под общ. ред. И.М. Федоткина. – Киев : Полиграфкнига. 1997. – 839 с.
16. Капустин С.В. Применение ультразвуковой кавитации в пищевой промышленности / С.В. Капустин, О.Н. Красуля // Интерактивная наука. – 2016. – № 2. – С. 101–103.
17. Шестаков С.Д. Основы технологии кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков // Санкт-Петербург : Нева-Пресс. 2001. – 173 с.
- 18.Процессы и аппараты пищевых производств : учебн. для вузов : в 2 кн. / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовицкий, С.М. Петров и др. ; под ред. А.Н. Острикова. – СПб : ГИОРД, 2006. – Кн. 2. – 509 с.
19. Khorolskyi V., Korenets Yu., Ostapenko I. Development of robototechnological complex of intellectual management by bread manufacturing for technology loading territories // Technology audit and production reserver. – 2018. – № 1/3 (39). – P. 53–58.

					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

30. Автоматизация виробничих процесів харчових технологій: Підруч. / Б.М.Гончаренко А.П. Ладанюк, ,. – К.: НУХТ, 2014. – 530с.
31. Агрант Б.А. Ультразвуковая технология /Б.А. Агрант и др. М.: Изд. Металлургия, 1974-226-228с.
32. Основні показники роботи харчової промисловості України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: minagro.gov.ua.
33. Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств / Под. ред. А.В. Соколова. – М.: Лёгкая и пищ. пром-сть, 1983. – 400с.
34. Бедина Л.Ф. Интенсификация процессов посола в технологии производства рыбы холодного копчения: учебник / под общей редакцией А.М. Ершова .-Санкт-Петербург ГИОРД, 2006-941с..
35. Васьків М.В. Моніторинг та керування якості продукції агрегованих технологічних комплексів харчових виробництв/ В.Г. Васьків, В.В. Іващук// Теорія систем-2017-№3-36-42
36. Патент України на корисну модель №102331.
37. Патент РФ №2308836.
38. Постнов Г. М. Енергетичний вплив ультразвукової обробки на інтенсифікацію процесу соління океанської риби/ Г.М. Постнов, О.В. Яковлев та ін.// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.-Х.2015р-Вип.166-С180-186.
39. Технология рыбы и рыбных продуктов: Учебник для вузов / В.В.Баранов, И.Э Бражная и др..- М.: Колос, 2010- 1064с
40. Баль В. В. Технология рыбных продуктов и технологическое оборудование/ В.В. Баль, Е.Л. Вереин.- М.: Агропромиздат,1990.-205с.

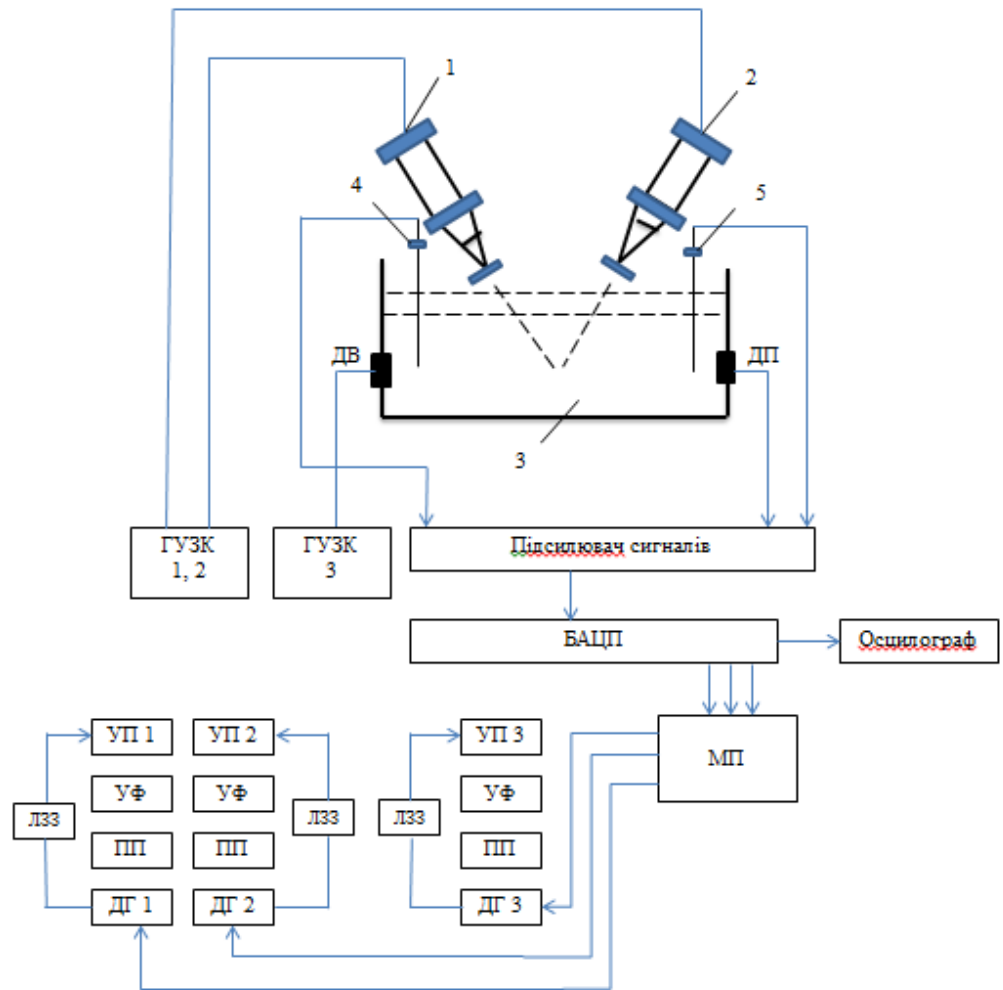
					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модель дослідження характеристик рибного продукту



					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Новіков				Розробка технологічного обладнання для виробництва солоні та копченої риби в полі ультразвуку	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Хорольський						69	63
Н. Контр.	Омельченко					ДонНУЕТ		
Затверд.	Омельченко					Кафедра ЗІДО		

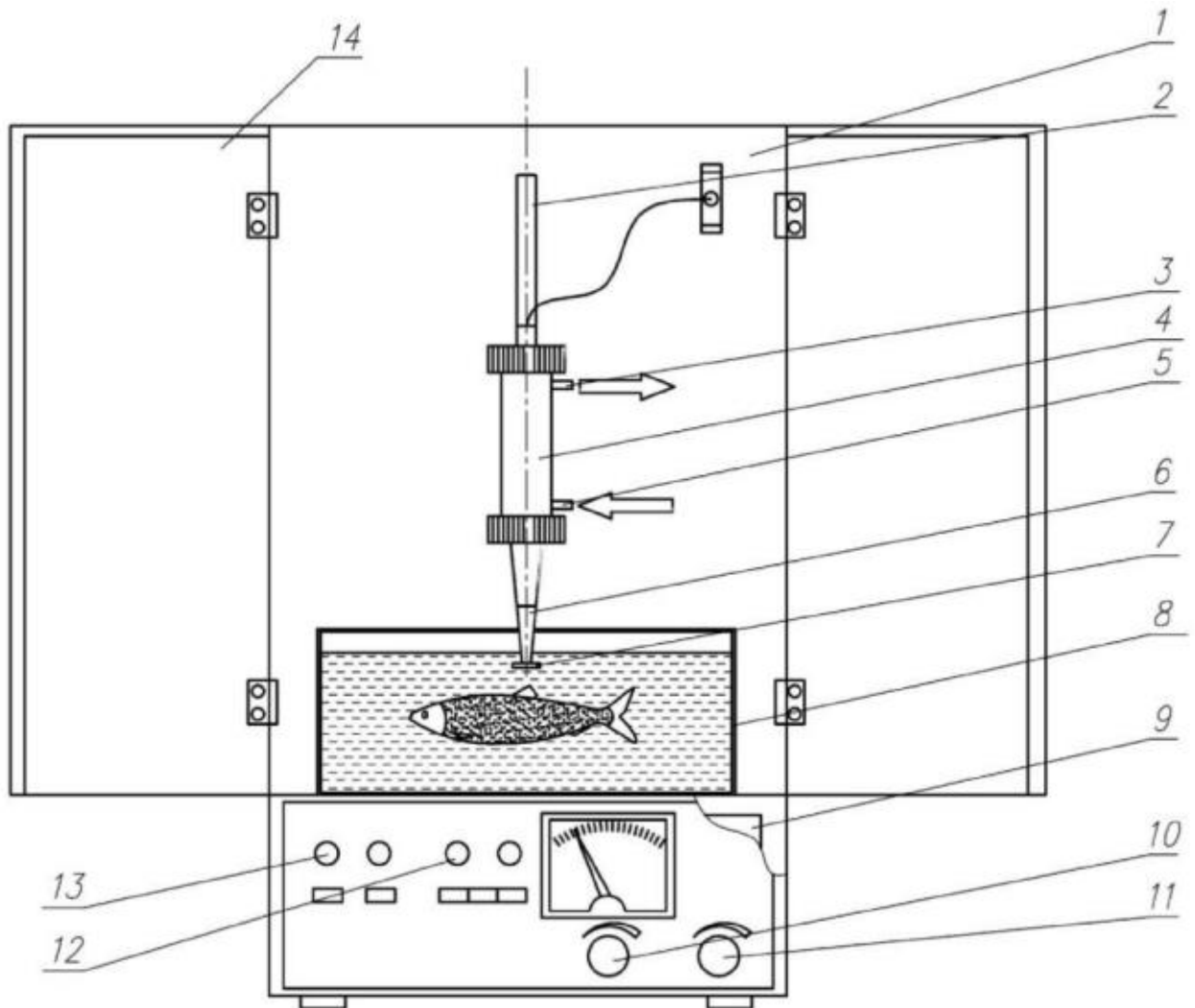
Ультразвуковий випромінювач



					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Новіков				Розробка технологічного обладнання для виробництва солоні та копченої риби в полі ультразвуку	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Хорольський						69	64
Н. Контр.	Омельченко					ДонНУЕТ		
Затверд.	Омельченко					Кафедра ЗІДО		

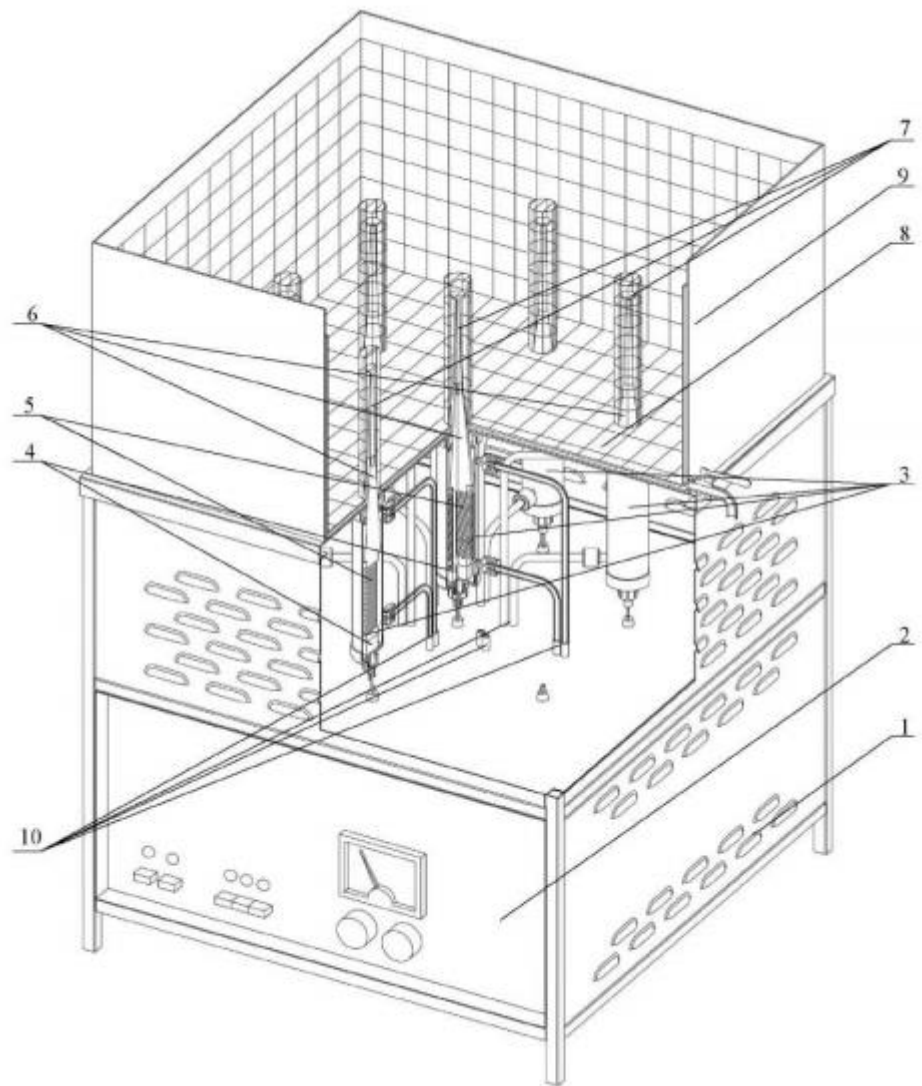
Додаток В

Схема експериментальної ультразвукової установки для соління рибних продуктів.



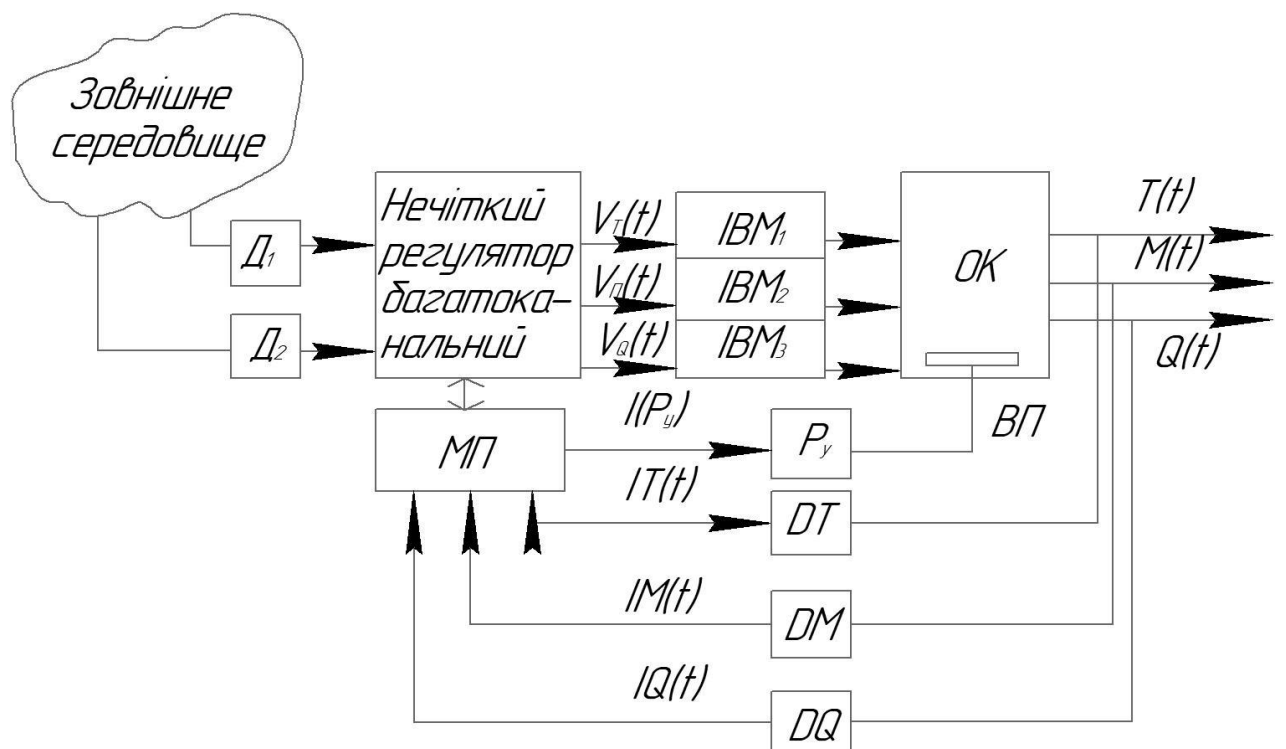
					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Новіков				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Хорольський					69	65
Н. Контр.	Омельченко				ДонНУЕТ		
Затверд.	Омельченко				Кафедра ЗІДО		
Розробка технологічного обладнання для виробництва солоні та копченої риби в полі ультразвуку							

Промислова лінія соління рибопродуктів



					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка технологічного обладнання для виробництва солоні та копченої риби в полі ультразвуку					
Розроб.	<i>Новіков</i>							Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	<i>Хорольський</i>								69	66
Н. Контр.	<i>Омельченко</i>							ДонНУЕТ		
Затверд.	<i>Омельченко</i>				Кафедра ЗІДО					

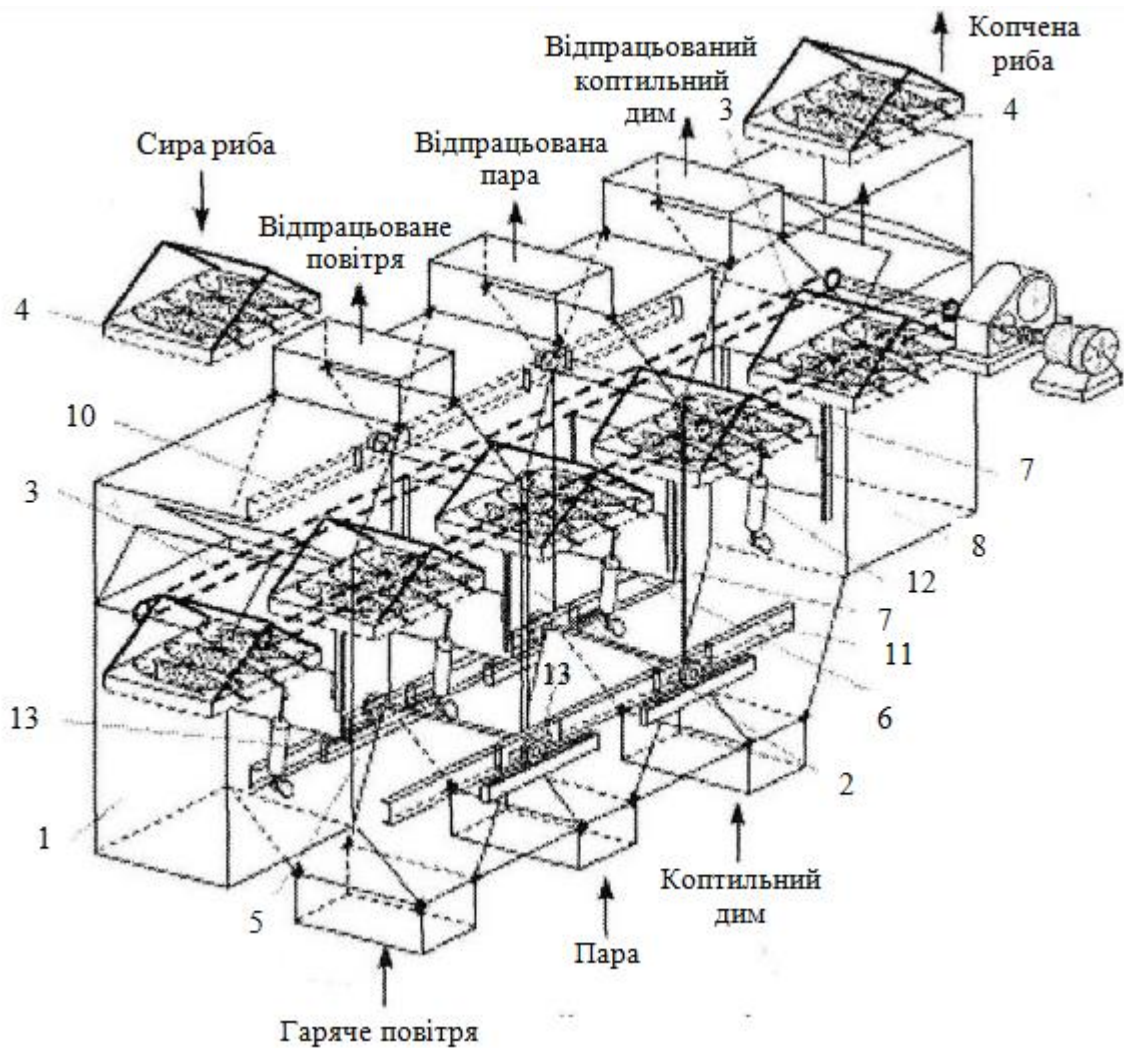
Багатоканальна система керування процесом копчення з нечітким регулятором



					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Новіков				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Хорольський					69	67
Н. Контр.	Омельченко				ДонНУЕТ		
Затверд.	Омельченко				Кафедра ЗІДО		

Розробка технологічного обладнання для виробництва солоні та копчені риби в полі ультразвуку

Технологічна лінія з робототехнологічним комплексом копчення риби

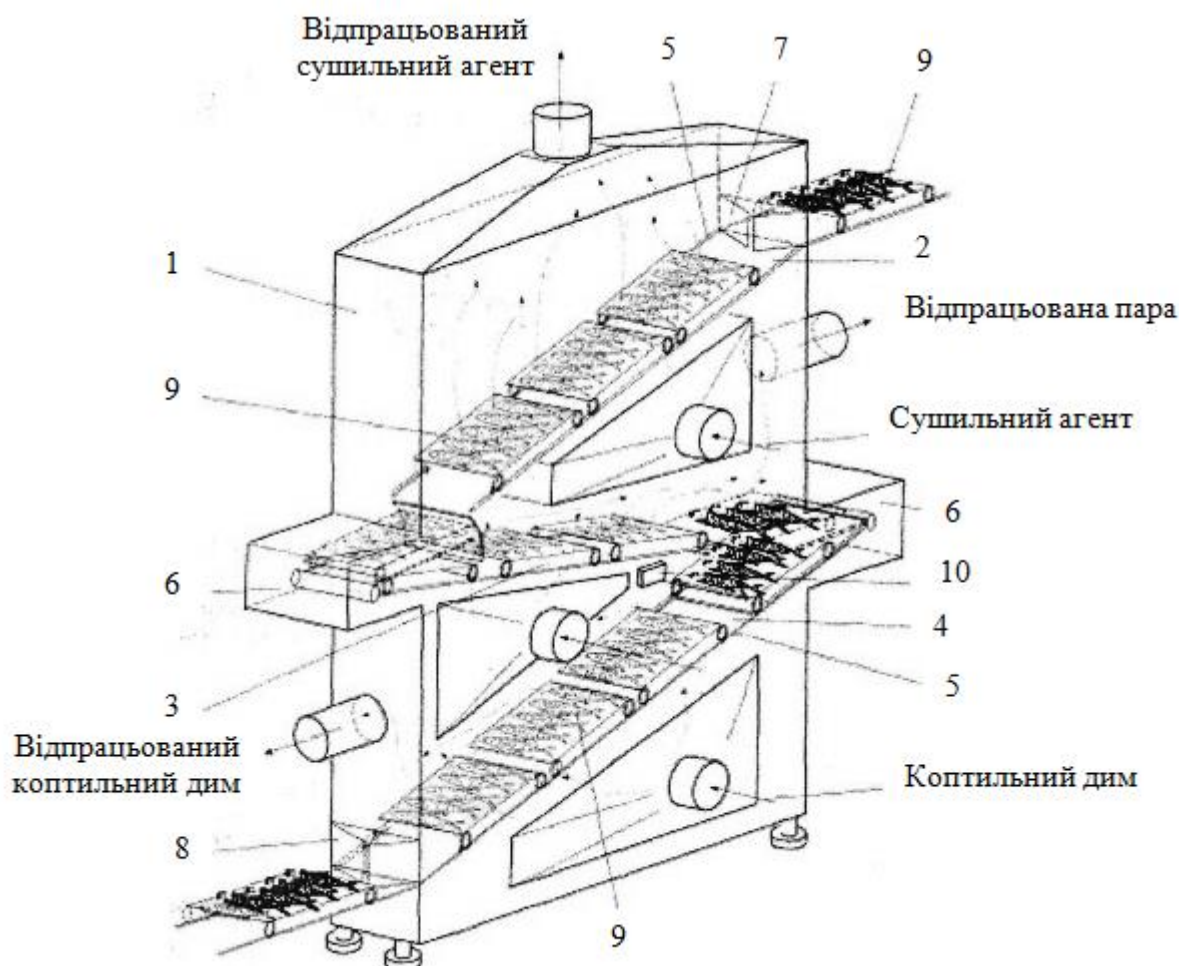


					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Новіков				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Хорольський					69	68
Н. Контр.	Омельченко				ДонНУЕТ		
Затверд.	Омельченко				Кафедра ЗІДО		
Розробка технологічного обладнання для виробництва солоні та копченої риби в полі ультразвуку							

Робототизований комплекс з трьохстадійним виробництвом копченої риби

Контроль CO₂

Контроль параметрів



					ДонНУЕТ.133. ГМБ-18с.2021.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Новіков				Розробка технологічного обладнання для виробництва солоні та копченої риби в полі ультразвуку	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Хорольський						69	69
Н. Контр.	Омельченко					ДонНУЕТ		
Затверд.	Омельченко					Кафедра ЗІДО		