

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ

ЯКОВЛЄВ ОЛЕГ ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 664.951:639.22:664.8.039.4

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ СОЛІННЯ РИБИ
ОКЕАНІЧНОГО ПРОМИСЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКУ
ТА ЙОГО АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському державному університеті харчування та торгівлі Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор
Постнов Геннадій Михайлович,
Харківський державний університет харчування та торгівлі,
професор кафедри устаткування харчової
і готельної індустрії ім. М.І. Беляєва

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Литвиненко Олександр Анатолійович,
Національний університет харчових технологій,
доцент кафедри машинобудування, стандартизації
та сертифікації обладнання

кандидат технічних наук, доцент
Молчанова Наталія Юрївна,
ВНЗ Укоопспілки
«Полтавський університет економіки і торгівлі»,
доцент кафедри технологічного обладнання
харчових виробництв і торгівлі

Захист відбудеться «9» червня 2016 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.088.01 Харківського державного університету харчування та торгівлі за адресою: вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського державного університету харчування та торгівлі за адресою: вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

Автореферат розісланий «6» травня 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Онищенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Комплексне та раціональне використання гідробіонтів є визначальним напрямом розвитку і вдосконалення техніки та технології їх переробки.

Під час виробництва солоної океанічної риби можуть з'явитися окремі небажані дефекти: засмага, затяжка, окис, фуксин тощо. Уникнути цих дефектів, що виникають під час соління риби, можна шляхом своєчасного та рівномірного розподілу хлориду натрію (NaCl) або сольового розчину за всією масою риби, що можливо за умови використання чинників, здатних інтенсифікувати процес соління.

Одним з існуючих на сьогодні підходів, завдяки якому найбільш ефективно вирішуються питання інтенсифікації технологічних процесів у харчових виробництвах, є використання нових видів енергії та її високоефективне підведення до взаємодіючих речовин. Таким видом енергії є ультразвукові коливання високої інтенсивності, які дозволяють інтенсифікувати процеси хімічних, мікробіологічних і харчових технологій.

Грунтуючись на дослідженнях вітчизняних і зарубіжних учених І.Е. Ельпінера, Й.О. Рогова, В.М. Горбатова, Ю.Ф. Заяса, В.М. Хмелева, Hao Feng, Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Jochen Weiss, присвячених питанню використання ультразвуку, заснованого на властивостях і специфічності впливу ультразвукових коливань на масообмінні процеси, можна висунути гіпотезу, що як основу ультразвукової обробки риби можна використати енергетичний вплив ультразвукових коливань на клітинну структуру риби, за якого відбуваються як змінні процеси у м'язових волокнах, так і активація ферментного комплексу, що інтенсифікує соління і зменшує витрати енергетичних ресурсів. На сьогодні ультразвукові коливання у промисловості використовуються для інтенсифікації процесів тендеризації, отримання водно-жирових емульсій, покращення якості харчових продуктів тощо.

Теорії соління і результати сучасних досліджень викладено в працях М.І. Турпаєва, Л.П. Міндер, І.П. Леванідова, М.М. Рувьова, Н.А. Воскресенського. Проте наявні відомості про використання ультразвуку для інтенсифікації процесу соління є незначними і мають суперечливий характер, що зумовлює актуальність проведення відповідних досліджень.

Таким чином, удосконалення процесу соління риби океанічного промислу за допомогою ультразвуку для отримання однорідного за вмістом NaCl у визначених межах продукту та апаратурне оформлення відповідного процесу є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до основних напрямів наукових досліджень Харківського державного університету харчування та торгівлі в межах бюджетних тем №08-13-14Б (0113U002005) «Обробка харчових продуктів ультразвуком», №12-15-16Б (0114U006534) «Інтенсифікація масообмінних процесів у харчових продуктах», а також за госпдоговірною тематикою №2-15Д (0115U004037) «Розробка рекомендацій щодо використання ультразвукових установок на рибопереробних підприємствах, можливостей їх використання».

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є вдосконалення процесу соління риби океанічного промислу за допомогою ультразвукових коливань та його апаратне оформлення. Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести теоретичне обґрунтування застосування ультразвукових коливань для інтенсифікації процесу соління: визначити величину ультразвукової енергії, що забезпечує інтенсифікацію процесу соління риби, і кількість енергії, яка при цьому розсіялась у ній;

- визначити параметри, що впливають на ефективність процесу соління риби океанічного промислу за допомогою ультразвуку;

- провести математичне моделювання процесу соління риби океанічного промислу за допомогою ультразвуку;

- дослідити кінетику дифузії NaCl у рибі за тузлучного соління;

- дослідити якісні показники солоної риби океанічного промислу;

- розробити конструкцію ультразвукового апарата для забезпечення процесу соління риби океанічного промислу та провести дослідження його техніко-експлуатаційних характеристик;

- здійснити комплекс заходів із практичного впровадження розробки у виробництво;

- оцінити економічний та соціальний ефект від упровадження розробки у виробництво.

Об'єкт дослідження – процес соління риби океанічного промислу за допомогою ультразвуку.

Предмет дослідження: риба океанічного промислу, яка використовується для виробництва рибопродуктів (оселедець атлантичний *Clupea harengus*, скумбрія атлантична *Scomber scombrus*, сардина тихоокеанська *Sardinops melanostictus melanostictus*, або івасі); способи підведення енергії ультразвукових коливань; органолептичні та мікробіологічні показники солоної океанічної риби.

Методи дослідження – аналітичні, теоретичні та експериментальні з використанням контрольно-виміральної апаратури відповідної точності, стандартні та оригінальні методики дослідження харчової сировини, сучасні методи математичної статистики, кореляційного аналізу та комп'ютерних технологій.

Наукова новизна одержаних результатів.

Уперше:

- науково обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість інтенсифікації процесу соління риби океанічного промислу за допомогою ультразвукової обробки;

- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено інтенсифікацію зовнішнього масообміну під час соління риби за допомогою ультразвуку;

- отримано математичну модель для визначення величини інтенсивності внутрішнього масопереносу під час соління риби за допомогою ультразвуку;

набули подальшого розвитку:

- теорія процесу соління риби океанічного промислу під впливом ультразвукових коливань;

- визначення кінетики дифузії NaCl у рибі під впливом ультразвукової обробки.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблено експериментальну установку для проведення соління риби океанічного промислу;

- встановлено раціональні параметри процесу соління риби за допомогою ультразвуку;

- визначено конструктивні параметри, експлуатаційні характеристики апарата для соління риби за допомогою ультразвуку та його продуктивність;

- визначено показники якості риби океанічного промислу, засоленої за допомогою ультразвуку;

- розроблено рекомендації щодо використання ультразвукових установок для інтенсифікації процесу соління рибної сировини;

- результати досліджень упроваджено у виробництво та навчальний процес.

На технічні рішення, запропоновані в дисертаційній роботі, отримано патент України на корисну модель.

Реалізація результатів роботи. Виготовлено експериментальний зразок пристрою для соління риби за допомогою ультразвуку та впроваджено у виробництво на ТОВ «Рибоконсервний завод «Екватор» (акт від 10.02.2016 р.), рекомендації щодо використання ультразвукових установок для інтенсифікації процесу соління рибної сировини – на ТОВ «Маріко» (акт від 30.04.2015 р.), а також у навчальному процесі ХДУХТ (акти від 25.05.2015 р., від 22.10.2015 р., від 28.10.2015 р.).

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану проблеми, плануванні, постановці та проведенні наукових експериментів, отриманні наукових результатів, обробці дослідних даних, узагальненні отриманих результатів, формулюванні висновків, підготовці матеріалів до публікацій, проведенні заходів з упровадження результатів роботи у виробничий та навчальний процес.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи були представлені, обговорювались та схвалені на Міжнародному науковому форумі «Пищевые инновации и биотехнологии» (м. Кемерово, Російська Федерація, 2013 р.), VII та VIII Міжнародних науково-методичних конференціях «Les problemes contemporains de la technospere et de la formation des cadres d'ingenieurs» (о. Сусс, 2013 р., о. Хаммамет, 2014 р., Туніс), Всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми харчової промисловості» (м. Тернопіль, 2013 р.), 4-й Міжнародній науково-практичній конференції «Современные инновации в науке и технике» (м. Курськ, Російська Федерація, 2014 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Actual problems and modern technologies of food products» (м. Кутаїсі, Республіка Грузія, 2014 р.), Міжнародних науково-практичних конференціях «Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостеприимства» (м. Алмати, Республіка Казахстан, 2014–2015 рр.), XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Современные технологии сельскохозяйственного производства» (м. Гродно, Республіка Білорусь, 2015 р.), X Міжнародній науково-практичній конференції «Техника и технология пищевых производств» (м. Могильов, Республіка Білорусь, 2015 р.), 81-й Міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, 2015 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Наука сегодня: теоретические и практические аспекты» (м. Москва, Російська Федерація, 2015 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (м. Тернопіль, 2015 р.), конференціях професорсько-викладацького складу, молодих вчених та аспірантів ХДУХТ (м. Харків, 2014–2015 рр.).

Наукові розробки були представлені на спеціалізованій виставці з міжнародною участю «Освіта Слобожанщини та кіберпростір – 2013» (м. Харків, 2013 р.), заході «Ніч науки» (м. Харків, 2013 р.), виставці-дегустації наукових розробок ХДУХТ у рамках кулінарного та кондитерського мистецтва, присвяченій Дню технолога (м. Харків, 2014 р.), виставці наукових розробок ХДУХТ в рамках Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді» (м. Харків, 2015 р.), виставці наукових розробок у масштабах соціального заходу по популяризації науки для дітей і молоді «Наукові пікніки» (м. Харків, 2015 р.), виставці наукових розробок ХДУХТ, що проводилася в рамках Міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність» (м. Харків, 2015 р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 25 наукових праць (з них 3 – одноосібні), у тому числі: 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 – у науковому періодичному виданні іншої держави з напрямку, з якого підготовлено дисертацію; 1 патент України на корисну модель; 18 матеріалів конференцій та тез доповідей.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 178 найменувань, у тому числі 26 закордонних. Дисертацію викладено на 132 сторінках друкованого тексту, вона містить 25 таблиць, 27 рисунків та 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи та її внесок у розвиток економіки України, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, наведено відомості щодо апробації та реалізації роботи.

У **першому розділі** «Аналіз способів та апаратів для соління риби» наведено характеристику рибної сировини як об'єкта соління, викладено результати проведеного огляду й аналізу науково-технічної і патентної літератури, а також інформації від фірм-постачальників відповідного обладнання, за результатами яких запропоновано класифікацію способів соління рибної сировини, проаналізовано їх особливості й відзначено необхідність інтенсифікації тузлучного способу соління. Перспективним напрямом інтенсифікації процесу соління риби є використання ультразвукової обробки. Проте дослідження її впливу на кінетику соління мають обмежений характер, що викликає необхідність проведення додаткових теоретичних та експериментальних досліджень із цього напрямку. Аналіз науково-технічної літератури дозволив зробити висновки про відсутність устаткування для проведення процесу соління рибної сировини невеликої продуктивності для малих рибопереробних підприємств і підприємств ресторанного господарства, а використання немеханізованих способів соління є нераціональним унаслідок неоднорідності якості соління риби за вмістом NaCl, подовження тривалості соління, що зумовлює збільшення виробничих площ, а також збільшення енергоємності виробництва внаслідок низької механізації праці. Узагальнення відомостей, викладених у цьому розділі, дозволило сформулювати основні завдання дослідження, спрямовані на досягнення мети дисертаційної роботи.

У другому розділі «Об'єкт та методи досліджень» визначено об'єкт і предмети досліджень, описано методи досліджень, експериментальні установки та методики обробки експериментальних даних. Для дослідження процесу соління океанічної риби за допомогою ультразвуку було створено експериментальну установку на базі ультразвукового диспергатора УЗДН-2Т, адаптованого до умов експерименту.

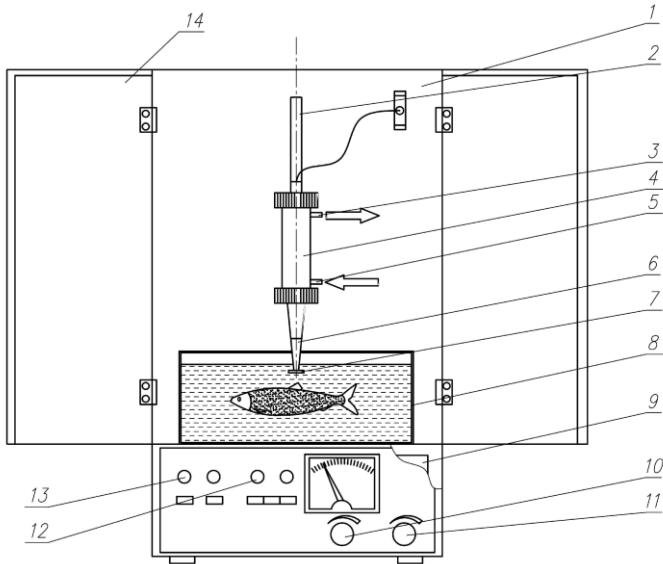


Рис. 1. Схема експериментальної установки: 1 – корпус; 2 – штатив; 3, 5 – відповідно вхідний та вихідний патрубки для води; 4 – трансформатор із водяним охолодженням; 6 – концентратор; 7 – випромінювач; 8 – камера робоча; 9 – генератор; 10 – регулятор потужності ультразвукових коливань; 11 – регулятор частоти ультразвукових коливань; 12 – вимикач імпульсний; 13 – вимикач частоти; 14 – дверцята звукоізолюючі

Визначення ультразвукового тиску ультразвукового перетворювача проводили шляхом вимірювання амплітуди механічних коливань робочого торця ультразвукового випромінювача за допомогою мікроскопа з окулярною шкалою. Для вимірювання корисної акустичної потужності ультразвукової установки використовували калориметричний метод, стандартизований Міжнародною електротехнічною комісією з використанням оригінальної установки. Для визначення величини поглинутої енергії знаходили середньооб'ємну температуру зразка риби в тузлуку з використанням гребінки з п'ятьма хромель-копелевими термопарами для реєстрації нагрівання за умов озвучення зразка ультразвуком. Сигнал від термопар знімався точковим самописцем ЕПП-9. Для визначення значення концентрації NaCl в м'ясі риби було використано дві методики: арбітражна (аргентометрична) та оригінальна електрохімічна, яка базується на зміні іонної електропровідності за рахунок іонів NaCl. Дослідження ступеня дозрівання солоні риби проводили за показником буферної ємності. Якість солоні риби визначали за органолептичними показниками відповідно ДСТУ 4453:2005 «Сардини солоні. Технічні умови», ДСТУ 815:2008 «Оселедці солоні. Технічні умови», ДСТУ 6025:2008 «Риба солоні. Технічні умови» тощо. Мікробіологічні показники визначалися за стандартними методиками.

Обробку результатів досліджень було проведено з використанням сучасних методів математичної статистики та кореляційного аналізу із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій.

У третьому розділі «Результати дослідження процесу соління рибної сировини за допомогою ультразвукової обробки» було проведено моделювання процесу соління за допомогою ультразвуку.

Із термодинамічної точки зору процес соління риби є типовим масообмінним процесом у гетерогенній системі. Унаслідок наявності капілярно-пористої структури

риби, крім дифузійного перенесення молекул NaCl у тканини риби, здійснюється дифузійно-осмотичне перенесення води з тканин у сольовий розчин або навпаки, залежно від співвідношення концентрацій NaCl у тузлуку та риби. Як і всі процеси масообміну, інтенсивність соління залежить від співвідношення швидкості зовнішнього масообміну і внутрішнього масопереносу.

Величину підвищення інтенсивності зовнішнього масообміну під час соління риби в полі ультразвукових хвиль розраховано як відношення коефіцієнтів масовіддачі в разі використання ультразвуку ($\beta_{уз}$) та в умовах природної конвекції ($\beta_{конв}$):

$$\frac{\beta_{уз}}{\beta_{конв}} = 6,42 \left(g \nu \frac{\Delta\rho}{\rho} \right)^{-1/3} \left(\frac{f^2 A^2}{c_0} \right), \quad (1)$$

де β – коефіцієнт масовіддачі, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с²; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища, м²/с; $\Delta\rho$ – різниця щільності тузлуку в об'ємі розчину і на поверхні риби, кг/м³; ρ – щільність тузлуку, кг/м³; f – частота звукових коливань, Гц; A – амплітуда ультразвукових коливань, м; c_0 – швидкість звуку в середовищі (тузлук), м/с.

Аналізуючи вираз (1), доходимо висновку, що збільшення інтенсивності масовіддачі прямо пропорційне щільності потоку акустичної енергії або квадрату його частоти. Очевидно, що існує нижня межа ефективності озвучування (порівняно з природною конвекцією), коли $\beta_{уз} = \beta_{конв}$, тобто за менших значень інтенсивності (частоти) ультразвуку коефіцієнт масовіддачі не збільшується. Ці граничні значення на підставі (1) визначаються з умови $\beta_{уз}/\beta_{конв} = 1$.

На рис. 2 наведено залежності критерію ефективності масовіддачі в ультразвуковому полі $\beta_{уз}/\beta_{конв}$ від характеристик випромінювача. Для розрахунку використано такі значення фізичних величин: $c_0 = 1500$ м/с; $A = 70 \cdot 10^{-6}$ м; $\nu = 10^{-6}$ м²/с; $\rho = 1000$ кг/м³; $\Delta\rho = 200$ кг/м³; $g = 9,8$ м/с².

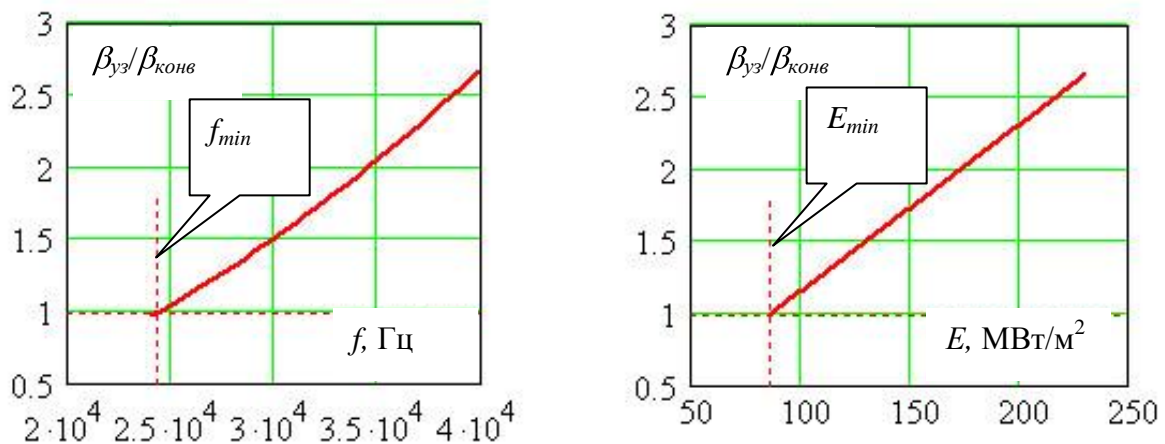


Рис. 2. Критерій ефективності масовіддачі в ультразвуковому полі $\beta_{уз}/\beta_{конв}$ залежно від характеристик випромінювача

Згідно з наведеними розрахунками межа ефективного застосування ультразвуку з метою інтенсифікації зовнішнього масообміну під час соління відповідає мінімальним значенням густини потоку акустичної енергії $E_{min} = 87$ МВт/м² або частоти коливань $f_{min} = 24$ кГц (при постійному значенні $A = 70 \cdot 10^{-6}$ м). Зі збільшенням частоти акустичних коливань від 24 до 40 кГц коефіцієнт масовіддачі збільшується

в три рази, що потребує подальшого експериментального обґрунтування з метою визначення раціональних параметрів процесу соління океанічної риби за допомогою ультразвуку.

Збільшення інтенсивності внутрішнього масопереносу під час соління риби визначається можливістю виникнення конвекційних мікротечій у капілярах, які збільшують градієнт концентрації та відповідно інтенсивність соління. Проведемо таку оцінку виходячи з таких уявлень. Необхідною умовою виникнення конвекційної мікротечії в капілярі є рівність сил в'язкого тертя і сили гідродинамічного тиску в капілярі.

Оцінимо величину інтенсифікації внутрішнього масопереносу за рахунок ультразвукових коливань. Відзначимо, що така інтенсифікація можлива тільки в макрокапілярах із радіусом $r > 10^{-6}$ м. Тому результуючий внутрішній потік маси будемо розглядати як суму потоків у мікро- і макрокапілярах.

У разі відсутності ультразвукових коливань потік є повністю дифузійним, тому його можна визначити за виразом:

$$j_{\text{диф}} = D \frac{\Delta C}{r_{\text{мікро}}} \xi_{\text{зв}} + D \frac{\Delta C}{r_{\text{макро}}} \xi_{\text{віл}}, \quad (2)$$

де $j_{\text{диф}}$ – величина течії маси в капілярі; D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$; ΔC – різниця концентрацій за радіусом капіляра, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\xi_{\text{зв}}$, $\xi_{\text{віл}}$ – частка мікро- і макрокапілярів у рибі; $r_{\text{мікро}}$, $r_{\text{макро}}$ – характерний розмір мікро- і макрокапілярів відповідно.

У разі наявності ультразвукових коливань у макрокапілярах виникає конвективний потік, тому

$$j_{\text{уз}} = D \frac{\Delta C}{r_{\text{мікро}}} \xi_{\text{зв}} + \frac{v_0^2}{2c_0} \Delta C \xi_{\text{віл}}, \quad (3)$$

де v_0 – амплітуда коливальної швидкості ультразвукової хвилі, $\text{м}/\text{с}$; c_0 – швидкість звуку в середовищі (тузлуку), $\text{м}/\text{с}$.

Збільшення інтенсивності внутрішнього масопереносу в разі використання ультразвуку складе

$$\frac{j_{\text{уз}}}{j_{\text{диф}}} = \frac{D \frac{1}{r_{\text{мікро}}} \xi_{\text{зв}} + \frac{v_0^2}{2c_0} \xi_{\text{віл}}}{D \frac{1}{r_{\text{мікро}}} \xi_{\text{зв}} + D \frac{1}{r_{\text{макро}}} \xi_{\text{віл}}}. \quad (4)$$

Для розрахунку за формулою прийемо наступні значення: $D=10^{-9}$ $\text{м}^2/\text{с}$; $c_0=1500$ $\text{м}/\text{с}$; $f=24000$ Гц; $A=70 \cdot 10^{-6}$ м. Частку мікро- і макрокапілярів прийемо рівною відносному вмісту зв'язаної та вільної води в сирій рибі $\xi_{\text{мікро}}=0,19$, $\xi_{\text{макро}}=0,81$, а характерні розміри капілярів $r_{\text{мікро}}=10^{-9}$ м, $r_{\text{макро}}=10^{-5}$ м. В результаті отримуємо таку величину збільшення інтенсивності внутрішнього масопереносу за умови використання ультразвуку:

$$\frac{j_{\text{уз}}}{j_{\text{диф}}} = 1,14. \quad (5)$$

Оскільки величина v_0 залежить від частоти ультразвуку, то за умови збільшення частоти ультразвукових коливань у два рази збільшення інтенсивності становитиме $j_{\text{уз}}/j_{\text{диф}}=1,54$ (при постійному значенні $A=70 \cdot 10^{-6}$ м).

Основним технологічним параметром соління є тривалість процесу. У фаховій літературі рекомендуються кілька рівнянь для визначення тривалості соління, недоліком яких є наявність коефіцієнта просолювання K_c , який щоразу необхідно визначати експериментально, причому не тільки для певного виду риби, але й для її певного розміру.

На основі інтегрального рівняння кінетики процесів переносу було отримано рівняння для розрахунку тривалості соління риби:

$$\tau = \left(1 + \frac{Bi_D}{2\Gamma}\right) \frac{R_V}{\beta_{yz}} \ln\left(\frac{C_\infty}{C_\infty - \bar{C}}\right), \quad (6)$$

де $Bi_D = \frac{\beta_{yz} R_x}{D_{yz}}$ – дифузійне число Біо; Γ – комплексний показник, що враховує геометричні показники риби ($\Gamma = R_x + R_y + R_z$), м; $R_V = V/F_p$ – відношення об'єму риби до площі її поверхні, м; \bar{C} – задана кінцева концентрація NaCl у рибі, кг/м³; C_∞ – концентрація NaCl у тузлуку, кг/м³.

З метою виявлення впливу ультразвукової обробки на процес соління риби, перевірки результатів теоретичних та їх експериментального обґрунтування для визначення раціональних параметрів процесу соління резонансні частоти випромінювача змінювали в діапазоні від 22 до 40 кГц шляхом моделювання і зміни резонансних параметрів коливальної системи «ультразвуковий генератор – ультразвуковий перетворювач». Результати розрахунку зміни розсіяння ультразвукової енергії E магнітострикційного перетворювача від частоти випромінювання f наведено на рис. 3. Як можна побачити на рис. 3, зі збільшенням частоти випромінювання кількість розсіяння ультразвукової енергії магнітострикційного перетворювача поступово збільшується та досягає максимуму

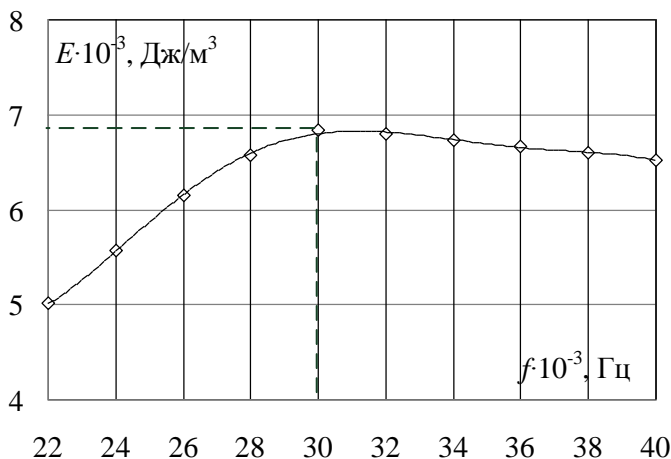


Рис 3. Зміна розсіяння ультразвукової енергії E магнітострикційного перетворювача від частоти випромінювання f

на величині 30 кГц. Подальше збільшення частоти випромінювання не призводить до суттєвої зміни розсіяння ультразвукової енергії магнітострикційного перетворювача, а після досягнення 38 кГц зменшується. Це пояснюється тим, що внаслідок зміни резонансних параметрів магнітострикційного перетворювача відбулася зміна добротності магнітострикційного трансформатора випромінювача і, як наслідок, збільшилися втрати енергії в обмотці випромінювача.

Для визначення розподілення енергії в рибі під час соління за допомогою ультразвуку (рис. 4) досліджували терморозподіл температури за об'ємом зразка риби. Як можна побачити з отриманих результатів (рис. 5), енергія, що розсіюється у зразках різних видів риби, зі збільшенням тривалості ультразвукової обробки збільшується за умови постійного підведення енергії.

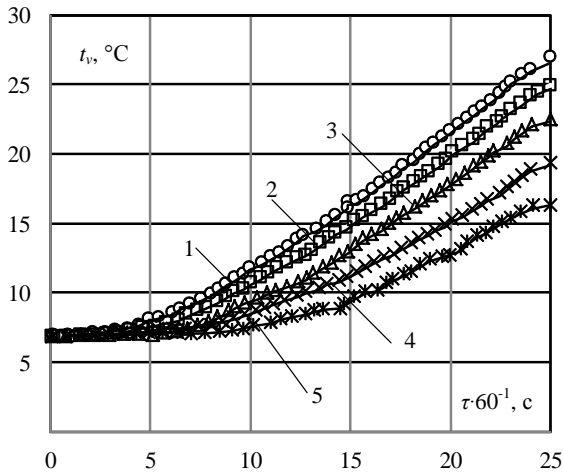


Рис. 4. Розподілення температури в оселедці атлантичному під час УЗ-обробки в тузлуку на глибині, мм: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25

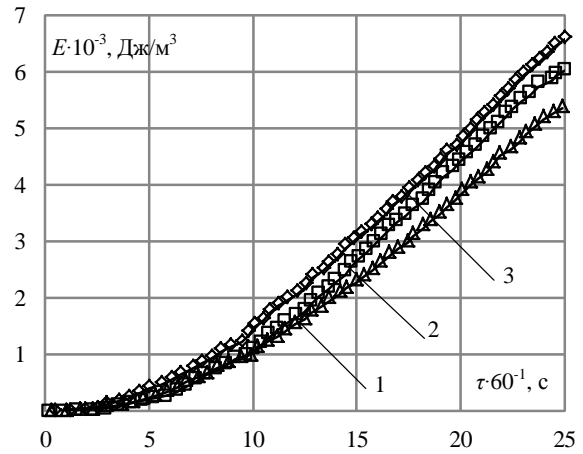


Рис. 5. Розсіання ультразвукової енергії під час обробки риби випромінювачем із частотою 30 кГц: 1 – для оселедця атлантичного; 2 – для скумбрії атлантичної; 3 – для сардини тихоокеанської

За результатами дослідження визначено, що розсіання у зразках оселедця атлантичного більше, ніж у зразках скумбрії атлантичної, а розсіання у зразках скумбрії атлантичної більше, ніж у зразках сардини тихоокеанської. Тобто розсіання енергії ультразвукових коливань більше в тих зразках рибної сировини, де жирової тканини менше. Пояснюється отриманий результат тим, що ступінь нагрівання м'язової і жирової тканини зумовлений характером поглинання, інтенсивністю і частотою ультразвуку: внаслідок неоднорідності шкіри та м'язової тканини поглинання в них інтенсивніше, ніж у шарі жиру.

У ході дослідження (рис. 6) виявлено, що вплив ультразвукових хвиль інтенсифікує процес соління на 28...42% для всіх дослідних видів риб.

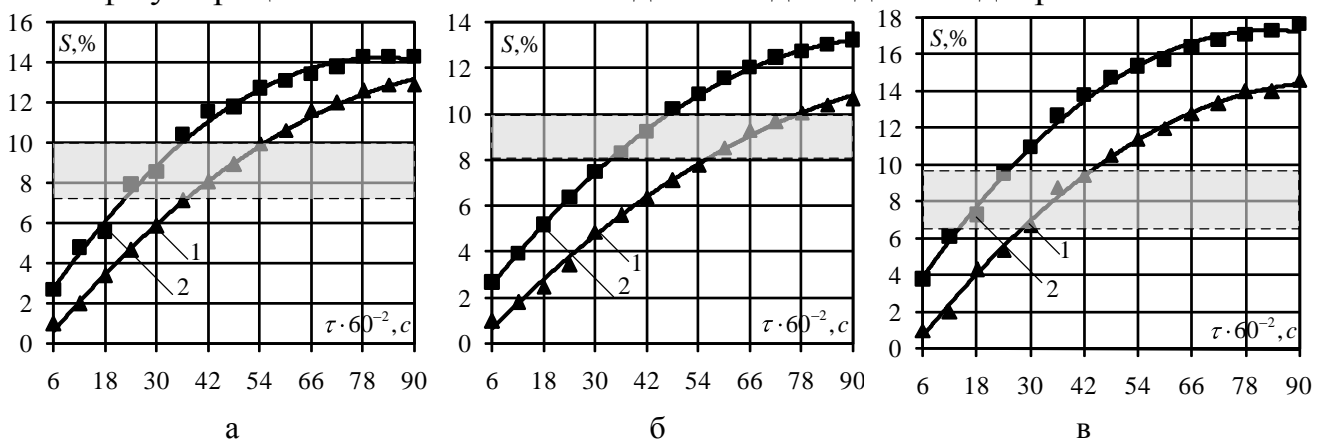


Рис. 6. Кінетика середньої солоності риби: а – оселедець атлантичний; б – скумбрія атлантична; в – сардина тихоокеанська; 1 – без обробки ультразвуком; 2 – обробка за допомогою ультразвуку частотою 30 кГц (густина розчину NaCl становить 1,20 г/см³, температура розчину NaCl 7° С)

Наприклад, оселедці набували солоності 12...16%, що за ДСТУ 815:2008 «Оселедці солоні. Технічні умови» відповідає групі «міцносолоні», витрачаючи на 31...36% менше часу, ніж за звичайного конвекційного соління. Подібна тенденція є характерною і для інших видів риби. Так, сардини тихоокеанські набувають солоності 12...17%, що за ДСТУ 4453:2005 «Сардини солоні. Технічні умови» відповідає групі «міцносолоні», витрачаючи на 40...46% менше часу, а скумбрія атлантична набуває солоності 10...13% (за ДСТУ 6025:2008 «Риба солоні. Технічні умови» група «міцносолоні»), витрачаючи на 38...42% менше часу, ніж за звичайного конвекційного соління.

Для зменшення тривалості отримання реальних значень середньої солоності риби були проведені дослідження з визначення впливу електричного опору R у зразку риби на зміну значення його середньої солоності (рис. 7) за допомогою оригінального електрохімічного методу.

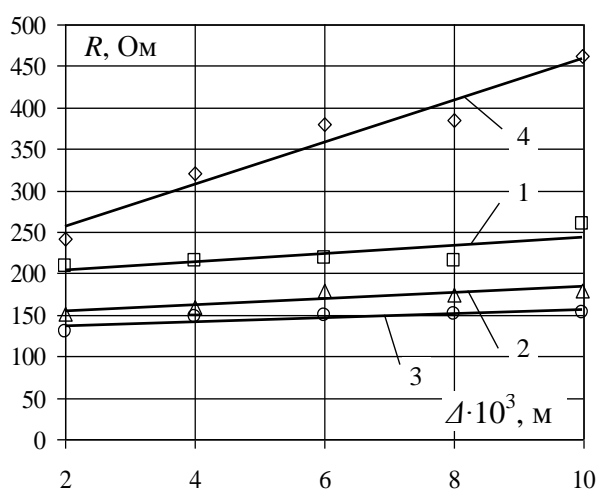


Рис. 7. Залежність зміни електричного опору R оселедця атлантичного залежно від глибини проникнення Δ іонів NaCl: 1 – соління в 5% розчині NaCl; 2 – соління в 10% розчині NaCl; 3 – соління в 15% розчині NaCl; 4 – несолений зразок

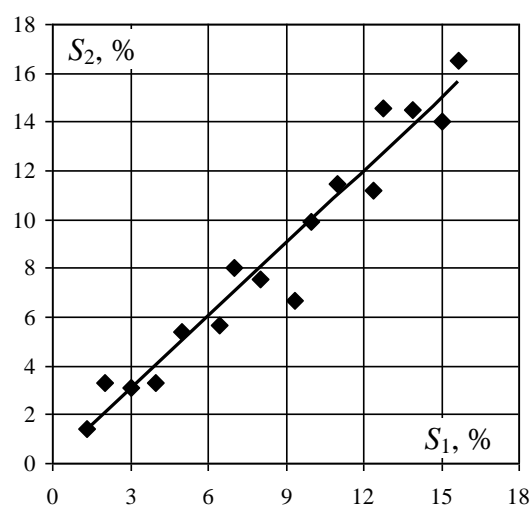


Рис. 8. Кореляція визначених значень середньої солоності риби аргентометричним S_1 та електрохімічним S_2 методами

Під час досліджень було виявлено, що значення електричного опору в зразках оселедця зменшується залежно від збільшення концентрації тузлуку для соління риби за однакової тривалості процесу. Отримані дані з високою вірогідністю корелюють із даними, отриманими за стандартними методиками (рис. 8), відхилення можна пояснити жирністю риби та різними морфологічними ознаками.

Визначення коефіцієнта дифузії проводили за таким рівнянням:

$$D = \frac{\pi \cdot S_{\text{сер}}}{c^2 \cdot \tau} \cdot \frac{m}{F_p^2} \cdot \frac{1}{3600}, \quad (7)$$

де D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$; $S_{\text{сер}}$ – середня солоність зразка риби, од.; c – густина тузлуку, $\text{кг}/\text{м}^3$; τ – тривалість соління, год; m – маса зразка риби, кг; F_p – площа поверхні зразка риби, м^2 .

За результатами експериментальних досліджень, представленими на графіках (рис. 9), можна визначити, що характер кривих однаковий. Спочатку значення коефіцієнта дифузії зменшиться, а після досягнення концентрації NaCl 10...12% дещо збільшується. Найбільші значення коефіцієнта дифузії характерні для випадку, коли соління відбувалося під впливом ультразвукових хвиль із частотою 30 кГц, що підтверджують дані рис. 3.

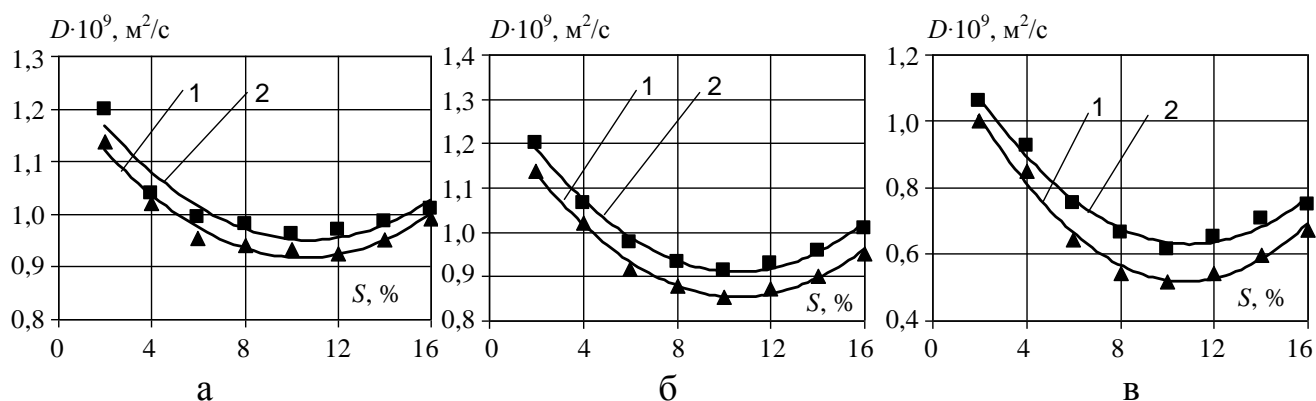


Рис. 9. Залежність коефіцієнта дифузії D NaCl в різних видах риби від середньої солоності S : а – оселедець атлантичний; б – скумбрія атлантична; в – сардина тихоокеанська; 1 – без обробки ультразвуком; 2 – обробка за допомогою ультразвуку частотою 30 кГц (густина розчину NaCl становить $1,20 \text{ г}/\text{см}^3$, температура розчину NaCl 7°C)

На початку процесу, коли концентрація NaCl у м'ясі риби мінімальна, коефіцієнти дифузії максимальні. У міру просолювання м'язові тканини риби набухають, вбираючи вологу. Набухання тканин риби призводить до зменшення ефективної площі, на якій відбувається дифузія. Таким чином, зменшення коефіцієнтів дифузії пов'язане зі скороченням площі, через яку NaCl дифундує всередину зразка. Після досягнення певної критичної концентрації NaCl у м'язах риби відбувається часткове висолювання білків, і м'язова тканина втрачає вологу пропорційно вмісту NaCl. Висолювання білків сприяє зменшенню об'ємів тканин і деякому збільшенню ефективної поверхні, через яку дифундує NaCl. Зростання ефективної поверхні приводить до незначного збільшення коефіцієнта дифузії, що корелює з даними, наведеними авторами в роботах.

Для розрахунку тривалості біохімічних реакцій під час соління експериментально був визначений коефіцієнт буферної ємності, за допомогою якого можна зробити висновок про ступінь дозрівання солоної риби та визначити раціональні параметри процесу соління за умови використання ультразвукової обробки частотою 30 кГц (табл. 1).

Експериментальні дані щодо тривалості процесу соління корелюють (рис. 10) з високим ступенем вірогідності з даними теоретичних розрахунків у відповідності до формули (6).

Стадії дозрівання солоної риби

Найменування продукту	Буферна ємність, градус		
	Початок дозрівання	Активне дозрівання	Перезрівання
Оселедець атлантичний <i>Clupea harengus</i>	120...160 ($\tau < 24$ год, $S < 7\%$)	160...220 ($\tau = 24...36$ год, $S = 7...10\%$)	220 та більше ($\tau > 36$ год, $S > 10\%$)
Скумбрія атлантична <i>Scomber scombrus</i>	110...120 ($\tau < 30$ год, $S < 8\%$)	120...190 ($\tau = 30...42$ год, $S = 8...10\%$)	190 та більше ($\tau > 42$ год, $S > 10\%$)
Сардина тихоокеанська <i>Sardinops melanostictus</i>	100...120 ($\tau < 18$ год, $S < 7\%$)	120...190 ($\tau = 18...24$ год, $S = 7...9,5\%$)	190 та більше ($\tau > 24$ год, $S > 9,5\%$)

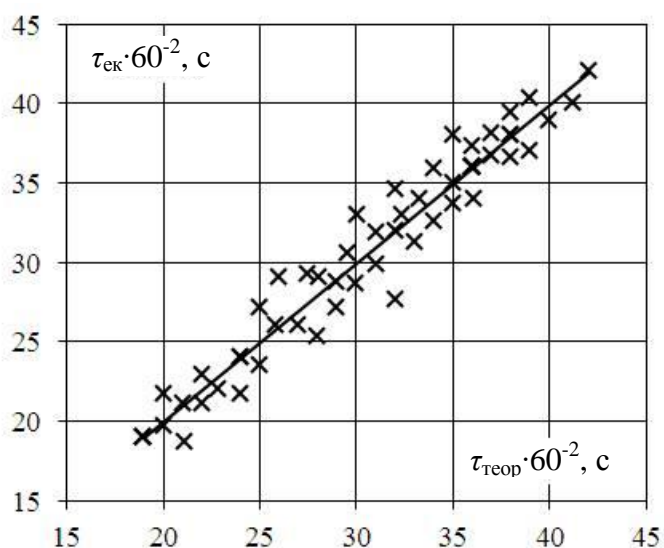


Рис. 10. Кореляція між теоретичною тривалістю $\tau_{\text{теор}}$ соління риби та експериментальною $\tau_{\text{ек}}$

Рациональними параметрами процесу соління риби за допомогою ультразвукової обробки частотою 30 кГц є такі: для оселедця атлантичного *Clupea harengus* тривалість соління $\tau = 24...36$ год, солоність готової риби $S = 7...10\%$, із коефіцієнтом буферної ємності 160...220, для скумбрії атлантичної *Scomber scombrus* $\tau = 30...42$ год, $S = 8...10\%$, із коефіцієнтом буферної ємності 120...190, для сардини тихоокеанської *Sardinops melanostictus* $\tau = 18...24$ год, $S = 7...9,5\%$, із коефіцієнтом буферної ємності 120...190.

Порівняно із звичайним солінням доведено, що використання попередньої обробки ультразвуком прискорює процес дозрівання риби на 15...25%.

За результатами органолептичних досліджень встановлено, що зразки солоної риби відповідають вимогам нормативної документації, за мікробіологічним показником КМАФАнМ (оселедець атлантичний – $5,4 \cdot 10^3$ КУО/г, скумбрія атлантична – $5,8 \cdot 10^3$ КУО/г, сардина тихоокеанська – $4,0 \cdot 10^3$ КУО/г) не перевищують норм ДСТУ.

У четвертому розділі «Розробка промислового зразка апарата для соління риби» сформульовано вимоги до конструкції апарата, проведено механічний та інженерний розрахунки магнітострикційного перетворювача та моделювання електричних процесів на прикладі еквівалентної схеми коливального контура. Обґрунтовано раціональну конструкцію апарата для соління риби за допомогою ультразвуку. Загальний вигляд апарата для соління риби за допомогою ультразвуку АСП-1у, спроектованого з використанням програми SolidWorks, наведено на рис. 11.

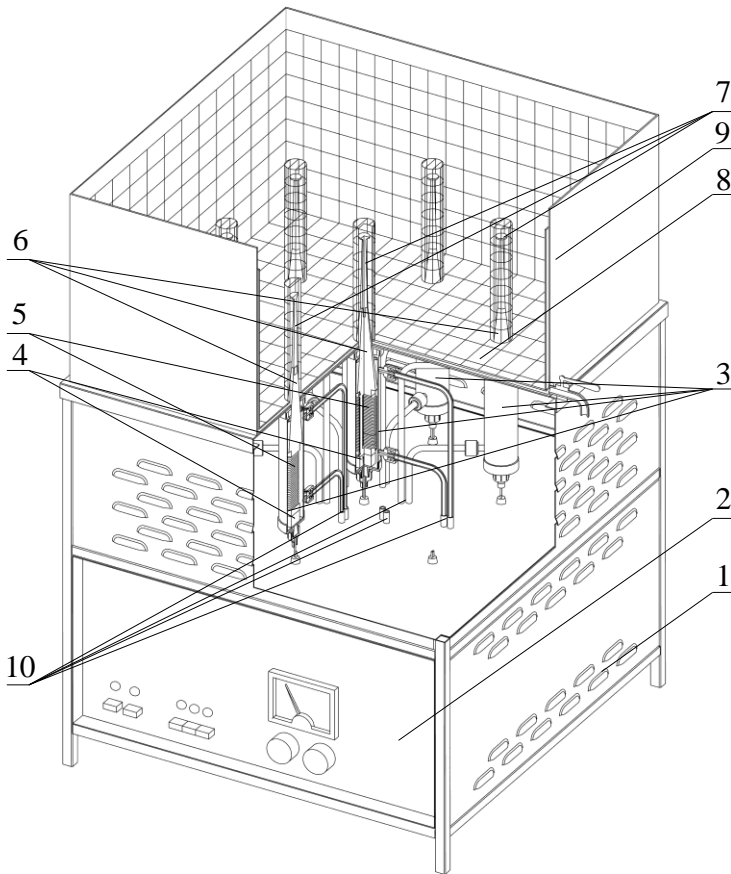


Рис. 11. Загальний вид апарата для соління риби за допомогою ультразвуку АСР-1у: 1 – корпус; 2 – генератор ультразвукових коливань; 3 – випромінювачі магнітострикційні, 4 – відбивач; 5 – перетворювач трансформаторного типу; 6 – конічний концентратор; 7 – випромінювач з експоненційним переходом; 8 – кошик сітчастий; 9 – камера робоча; 10 – система охолодження магнітострикційних перетворювачів

Робоча камера апарата, в якій розташовується риба, конструктивно проектується знімною та має вигляд сітчастого кошика. Для зручності здійснення операцій із завантаження та вивантаження геометричні розміри корпусу апарата проектуються більшими на 20 мм з усіх боків. Коефіцієнт завантаження робочої камери визначався експериментально та дорівнює 0,7. Технічну характеристику розробленого апарата АСР-1у наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Технічні характеристики апарата
для соління риби за допомогою ультразвуку АСР-1у**

Номінальна напруга живлення від мережі однофазного змінного струму частотою 50 Гц, U , В	220
Номінальна споживана електрична потужність, P , Вт	3500
Регулювання вихідної потужності	плавне
Номінальна робоча частота генератора та випромінювачів, $f \cdot 10^{-3}$, Гц	30
Межі плавного регулювання частоти генератора, $f \cdot 10^{-3}$, Гц	2
Амплітуда звукового тиску під час поширення в рідині, $A \cdot 10^{-5}$, Па	168
Тривалість одного циклу озвучування, $\tau \cdot 60^{-1}$, с	15...20
Кількість випромінювачів, n , шт.	7
Об'єм робочої камери, V , м ³	0,098
Одноразове завантаження робочої камери, m_1 , кг	60...70
Витрата води для охолодження випромінювачів, q , м ³ /год	не менше 0,02
Маса, m , кг	72
Продуктивність установки, Q , кг/год	90...120
Габаритні розміри, $L \times W \times H$, мм	580×650×700

У п'ятому розділі «Впровадження результатів дослідження та їх економічна ефективність» обґрунтовано економічну ефективність результатів досліджень. За результатом розрахунків зроблено висновок щодо доцільності виробництва та впровадження у практичну діяльність апарата для соління риби з використанням ультразвукової обробки АСР-1у, який порівняно з базовим має вищий показник технічного рівня. Відпускна ціна АСР-1у з урахуванням ПДВ за розрахунками на жовтень 2015 р. становить 95,8 тис. грн. Це свідчить про високий рівень конкурентоспроможності розробленого апарата для підприємств, які займаються виробництвом устаткування для виготовлення харчових продуктів. Використання нового апарата дозволить підприємству-переробнику отримати додатковий прибуток у розмірі 62,9 тис. грн на рік за умови виробничої потужності не менше 230 т/рік.

Здійснено комплекс заходів з упровадження результатів досліджень у практику. Розроблено проект рекомендацій щодо використання ультразвукових установок на рибопереробних підприємствах, які впроваджено на ПП «Маріко» (Одеська обл.); виготовлено експериментальний зразок апарата для соління риби за допомогою ультразвуку АСР-1у та впроваджено у виробництво на підприємстві ТОВ «Рибоконсервний завод «Екватор» (м. Харків). Розроблено інструкцію з експлуатації та технічний опис апарата для соління риби. Результати роботи впроваджено у навчальний процес Харківського державного університету харчування та торгівлі.

ВИСНОВКИ

1. За результатами аналітичних досліджень встановлено, що риба океанічного промислу є цінною сировиною для приготування солоної продукції, різноманітних делікатесних пресервів, а також для холодного і гарячого копчення. На рибопереробних підприємствах поширеним є тузлучний спосіб соління, який потребує інтенсифікації. Встановлено, що перспективним напрямом інтенсифікації процесу соління риби є використання ультразвукової обробки.

2. Створено установку для проведення процесу соління риби океанічного промислу. Доведено, що її застосування дозволяє інтенсифікувати процес соління риби з використанням ультразвукової обробки в межах 22...40 кГц.

3. Теоретично обґрунтовано можливість інтенсифікації процесу соління за допомогою ультразвуку. Показано, що існує мінімальна частота ультразвуку (потужність випромінювання), при якій відбувається інтенсифікація зовнішнього масообміну порівняно з природною конвекцією ($f_{min}=24$ кГц, $E_{min}=87$ МВт/м²). Встановлено, що коефіцієнт масовіддачі збільшується зі збільшенням частоти коливань від 22 до 40 кГц в три рази порівняно з коефіцієнтом масовіддачі за умов природної конвекції.

4. Розроблено математичну модель впливу ультразвукової обробки на процес внутрішнього масопереносу під час соління риби. Показано, що ультразвукові коливання сприяють інтенсифікації внутрішнього переносу за рахунок виникнення конвективних мікропотоків у капілярах радіусом більше 10^{-6} м. Ефективний коефіцієнт дифузії при збільшенні частоти коливань від 22 кГц до 40 кГц

збільшується на 14...50%. Отримано уточнену формулу для розрахунку тривалості соління в умовах ультразвукового впливу, що враховує індивідуальні характерні розміри риби (габаритні розміри і відношення об'єму до площі поверхні), коефіцієнт масовіддачі й коефіцієнт дифузії.

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 хвиль із частотою 30 кГц.

6. Визначено раціональні параметри процесу соління риби за допомогою ультразвукової обробки тривалістю 10...15 хв і частотою 30 кГц. Показано, що для оселедця атлантичного *Clupea harengus* тривалість соління $\tau=24\text{...}36$ год, солоність готової риби $S=7\text{...}10\%$ із коефіцієнтом буферної ємності 160...220, для скумбрії атлантичної *Scomber scombrus* – $\tau=30\text{...}42$ год, $S=8\text{...}10\%$ із коефіцієнтом буферної ємності 120...190, для сардини тихоокеанської *Sardinops melanostictus* – $\tau=18\text{...}24$ год, $S=7\text{...}9,5\%$ із коефіцієнтом буферної ємності 120...190.

7. За результатами органолептичних досліджень встановлено, що зразки солоної риби відповідають вимогам нормативної документації, за мікробіологічним показником КМАФАнМ (оселедець атлантичний – $5,4 \cdot 10^3$ КУО/г, скумбрія атлантична – $5,8 \cdot 10^3$ КУО/г, сардина тихоокеанська – $4,0 \cdot 10^3$ КУО/г) не перевищують норм ДСТУ.

8. Розроблено конструкцію апарата для соління риби за допомогою ультразвуку, розраховано його основні характеристики та параметри, розроблено технічний опис та інструкцію з експлуатації запропонованого апарата.

9. Проведеними розрахунками доведено доцільність виробництва та впровадження у практичну діяльність апарата для соління риби з використанням ультразвукової обробки. Використання нового апарата дозволить підприємству-переробнику отримати додатковий прибуток у розмірі 62,9 тис. грн на рік за умови виробничої потужності не менше 230 т/рік. За результатами оцінювання економічної ефективності проведено комплекс заходів з упровадження результатів досліджень у виробництво. Розроблено проект рекомендацій щодо використання ультразвукових установок на рибопереробних підприємствах, які впроваджені в ТОВ «Маріко», виготовлено та впроваджено у виробництво підприємства ТОВ «Рибоконсервний завод «Екватор» експериментальний зразок апарата для соління риби за допомогою ультразвуку, розроблена інструкція з експлуатації та технічний опис апарата для соління риби. Результати роботи впроваджено у навчальний процес Харківського державного університету харчування та торгівлі.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шляхи удосконалення способів соління рибної сировини океанічного походження / Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, В. М. Червоний, О. В. Яковлев // Рибне господарство України. – 2013. – № 2 (85). – С. 52–58. *Внесок здобувача: проведено аналіз способів соління рибної сировини океанічного походження.*

2. Physicochemical basis for intensification salted fish using ultrasound / G. Postnov, G. Deynichenko, M. Chekanov, V. Chervony, O. Yakovlev // *Recent Journal (Romania)*. – Vol. 14 (2013). – № 4 (40). – P. 307–310 (**стаття у виданні Румунії, яке включено до міжнародних наукометричних баз – Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus**). *Внесок здобувача: проаналізовано основні методи інтенсифікації процесу соління риби за допомогою ультразвуку.*

3. Електрохімічний метод визначення швидкості перебігу масообмінних процесів під час засолення океанічної риби / Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, В. М. Червоний, О. В. Яковлев // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг.* – Х. : ХДУХТ, 2014. – Вип. 1 (19). – С. 153–160. *Внесок здобувача: запропоновано метод визначення швидкості перебігу масообмінних процесів під час засолення океанічної риби.*

4. Яковлев О. В. Вплив ультразвукових хвиль на зміну коефіцієнта масовіддачі під час соління риби / О. В. Яковлев, Г. М. Постнов, В. О. Потапов // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг.* – Х. : ХДУХТ, 2015. – Вип. 1 (21). – С. 147–154. *Внесок здобувача: досліджено вплив ультразвукової обробки на зміну коефіцієнта масовіддачі під час соління риби.*

5. Економічна ефективність упровадження ультразвукового апарата для соління риби / Г. М. Постнов, О. А. Круглова, В. М. Червоний, О. В. Яковлев // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг.* – Х. : ХДУХТ, 2015. – Вип. 2 (22). – С. 114–123. *Внесок здобувача: визначено економічну ефективність від упровадження ультразвукового апарата для соління риби.*

6. Енергетичний вплив ультразвукової обробки на інтенсифікацію процесу соління океанічної риби / Г. М. Постнов, О. В. Яковлев, В. М. Червоний, М. А. Чеканов // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. – Х., 2015. – Вип. 166. – С. 180–186. *Внесок здобувача: теоретично розраховано показники мінімального значення щільності потоку акустичної енергії, за яких відбувається інтенсифікація процесу соління рибної сировини.*

7. Пат. на кор. модель 102331, Україна. Пристрій для соління рибної сировини за допомогою ультразвуку / Постнов Г. М., Чеканов М. А., Червоний В. М., Яковлев О. В. - № u201503932 ; заявл. 24.04.2015 ; опубл. 26.10.2015, Бюл. № 20. – 5 с. *Внесок здобувача: запропоновано конструкцію пристрою для соління рибної сировини за допомогою ультразвуку.*

8. Перспективы использования ультразвука на рыбоперерабатывающих производствах / Г. М. Постнов, Н. А. Чеканов, В. Н. Червоний, О. В. Яковлев // *Пищевые инновации и биотехнологии : конф. студ., асп. и мол. ученых, 8–12 апреля 2013 г. : материалы / ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»*. – Кемерово : КТИПП, 2013. – С. 792–794. *Внесок здобувача: запропоновано шляхи використання ультразвуку на підприємствах рыбопереробної галузі.*

9. Аналіз сучасних технологічних рішень та обладнання для реалізації процесу соління рибної сировини / Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, В. М. Червоний, О. В. Яковлев // Recueil des exposes des participants de la VII Conference internationale scientifique et methodique. «Les problemes contemporains de la technospere et de la formation des cadres d'ingenieurs» sur l'île a Sousse du 08 au 17 octobre 2013. – Donetsk UNTD, 2013. – P. 209–213. *Внесок здобувача: проаналізовано апаратурне рішення процесу соління рибної сировини.*

10. Постнов Г. М. Особливості застосування обладнання для промислового соління риби / Г. М. Постнов, О. В. Яковлев // Актуальні проблеми харчової промисловості: Всеукр. наук.-техн. конф., 8–9 жовтня 2013 р. : матеріали / Терн. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2013. – С. 99–100. *Внесок здобувача: досліджено особливості роботи обладнання для промислового соління риби.*

11. Яковлев О. В. Шляхи інтенсифікації процесу засолу риби / О. В. Яковлев // Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студ., 26 березня 2014 р. : тези у 2 ч. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х. : ХДУХТ, 2014. – Ч. 1. – С. 355. *Внесок здобувача: запропоновано використання ультразвукової обробки для інтенсифікації процесу засолу риби.*

12. Обоснование интенсификации посола рыбы с помощью ультразвука / Г. М. Постнов, Н. А. Чеканов, В. Н. Червоний, О. В. Яковлев // Современные инновации в науке и технике : сб. науч. трудов 4-й Междунар. науч.-практ. конф., 17 апреля 2014 г. / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск : ЮЗГУ, 2014. – С. 334–336. *Внесок здобувача: обґрунтовано, які показники ультразвуку можуть впливати на інтенсифікацію процесу соління риби.*

13. Постнов Г. М. Інтенсифікація процесу соління риби за допомогою ультразвуку / Г. М. Постнов, О. В. Яковлев // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність : Міжнар. наук.-практ. конф., 22 травня 2014 р. : тези у 2 ч. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х. : ХДУХТ, 2014. – Ч. 1. – С. 259–261. *Внесок здобувача: запропоновано удосконалення процесу соління риби за допомогою ультразвуку.*

14. Postnov G. Evaluation quality indicator process of salting fish using ultrasound / G. Postnov, M. Chekanov, V. Chervonyi, O. Yakovliev // Actual problems and modern technologies of food products collection of works: International scientific-practical conference, 12-13 June 2014. – Kutaisi, Georgia: Akaki Tanksereteli State University. – P. 382–386. *Внесок здобувача: оцінено якісні показники риби, засоленої за допомогою ультразвуку.*

15. Постановка задачи для оценки внешнего массообмена при посоле рыбы с наложением ультразвуковых колебаний / Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, В. М. Червоний, О. В. Яковлев // Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостеприимства: Междунар. науч.-практ. конф., 16–17 октября 2014 г. : тезисы / Алматин. техн. ун-т. – Алматы: АТУ, 2014. – С. 166–168. *Внесок здобувача: формулювання припущень для оцінки зовнішнього масообміну під час соління риби за допомогою ультразвуку.*

16. Обґрунтування нового способу соління рибної сировини з використанням ультразвуку / Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, В. М. Червоний, О. В. Яковлев //

Інноваційні технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві : Міжнар. наук.-практ. інтернет-конференція, 12–14 листопада 2014 р. : тези / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х. : ХДУХТ, 2014. – С. 75–76. *Внесок здобувача: запропоновано спосіб соління рибної сировини за допомогою ультразвуку.*

17. Постнов Г. М. Требования к проектированию ультразвукового аппарата для посола рыбы / Г. М. Постнов, О. В. Яковлев // Современные технологии сельскохозяйственного производства. Агрономия. Защита растений. Технология хранения и переработки сельскохозяйственной продукции : сб. науч. статей по материалам XVIII Междунар. науч.-практ. конф., 27 марта, 15 мая 2015 г. / Гродн. гос. аграрн. ун-т. – Гродно : ГГАУ, 2015. – С. 316–317. *Внесок здобувача: сформульовано вимоги щодо проектування ультразвукового апарата для соління риби.*

18. Яковлев О. В. Интенсификация зовнішнього масообміну під час соління риби за рахунок накладання ультразвукових хвиль / О. В. Яковлев // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді : Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студ., 2 квітня 2015 р. : тези у 2 ч. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х. : ХДУХТ, 2015. – Ч. 1. – С.351. *Внесок здобувача: теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено інтенсифікацію зовнішнього масообміну під час соління риби за допомогою ультразвуку.*

19. Разработка аппарата для посола рыбы в поле ультразвуковых волн / Г. М. Постнов, О. В. Яковлев, В. Н. Червоний, Н. А. Чеканов // Техника и технология пищевых производств : X Междунар. научн.-техн. конф., 23–24 апреля 2015 г. : [тезисы] / Могил. гос. ун-т продовольствия. – Могилев : МГУП, 2015. – С. 224. *Внесок здобувача: запропоновано конструкцію апарата для соління риби за допомогою ультразвуку.*

20. Дослідження інтенсивності зовнішнього масообміну під час соління риби в полі ультразвукових хвиль / О. Яковлев О., Г. Постнов Г., М. Чеканов, В. Червоний // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : 81-ша міжнар. наук. конф. мол. учених, асп. і студ., 23–24 квітня 2015 р. : матеріали / НУХТ. – К. : НУХТ, 2015 р. – Ч. 2. – С. 200. *Внесок здобувача: досліджено інтенсивність зовнішнього масообміну під час соління риби в полі ультразвукових хвиль.*

21. Постнов Г. М. Интенсификация внутрішнього масопереносу під час соління риби в полі ультразвукових хвиль / Г. М. Постнов, О. В. Яковлев // Развитие харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність : Міжнар. наук.-практ. конф., 14 травня 2015 р. : тези у 2 ч. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х. : ХДУХТ, 2015. – Ч. 1. – С. 254–255. *Внесок здобувача: обґрунтовано параметри ультразвукової обробки, які інтенсифікують процес внутрішнього масопереносу під час соління риби в полі ультразвукових хвиль.*

22. Постнов Г. Дослідження процесу просоловання оселедця атлантичного під впливом ультразвуку / Г. Постнов, О. Яковлев, В. Червоний // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : міжнар. наук.-техн. конф., присв. 55-річчю заснування Терн. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя та 170-річчю з дня народж.

І. Пулюя, 19–20 травня 2015 р. : [тези]. – Тернопіль : ТНТУ, 2015. – С. 211. *Внесок здобувача: визначено раціональні параметри соління оселедця атлантичного з використанням ультразвуку.*

23. Яковлев О. В. Эффективность влияния ультразвуковых колебаний на процесс внутреннего массопереноса при посоле рыбы / О. В. Яковлев, Г. М. Постнов, В. Н. Червоний / Наука сегодня: теоретические и практические аспекты : III Междунар. научно-практ. конф., 31 мая 2015 г. : материалы / Научный центр «Олимп». – М. : Перо, 2015. – С. 610–614. *Внесок здобувача: обґрунтовано ефективність впливу ультразвукових коливань на процес внутрішнього масообміну під час соління риби.*

24. Яковлев О. В. Визначення впливу ультразвукових коливань на кінетику середньої солоності океанічної риби під час соління / О. В. Яковлев // Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності : Міжнар. наук.-практ. конф., 8–11 вересня 2015 р. : тези / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х. : ХДУХТ, 2015. – С. 121–122. *Внесок здобувача: досліджено вплив ультразвуку на кінетику середньої солоності океанічної риби під час соління.*

25. Соління рибної сировини як етап процесу її сушіння / Г. М. Постнов, О. В. Яковлев, В. М. Червоний, М. А. Чеканов // Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини : Всеукр. наук.-практ. конф. до 25-річчя факультету обладнання та технічного сервісу ХДУХТ, 29 жовтня 2015 р. : тези / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х. : ХДУХТ, 2015. – С. 63–64. *Внесок здобувача: доведено переваги використання ультразвуку під час сушіння риби на стадії її соління.*

АНОТАЦІЯ

Яковлев О.В. Удосконалення процесу соління риби океанічного промислу за допомогою ультразвуку та його апаратурне оформлення. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Харківський державний університет харчування та торгівлі Міністерства освіти і науки України, Харків, 2016.

Дисертація присвячена інтенсифікації процесу соління риби океанічного промислу за допомогою ультразвуку.

Теоретично обґрунтовано можливість інтенсифікації процесу соління за допомогою ультразвуку. Розроблено математичну модель впливу ультразвукової обробки на процес внутрішнього масопереносу під час соління риби. Отримано уточнену формулу для розрахунку тривалості соління в умовах ультразвукового впливу, що враховує індивідуальні характерні розміри риби (габаритні розміри і відношення об'єму до площі поверхні), коефіцієнт масовіддачі й коефіцієнт дифузії.

Досліджено кінетику дифузії NaCl у рибі за умов тузлучного соління. За результатами органолептичних та мікробіологічних досліджень встановлено, що зразки солоної риби відповідають вимогам нормативної документації.

Визначено раціональні параметри процесу соління риби за допомогою ультразвукової обробки тривалістю 10...15 хв і частотою 30 кГц.

Розроблено апарат для соління риби за допомогою ультразвуку. Здійснено комплекс заходів щодо впровадження результатів досліджень у виробництво.

Ключові слова: риба, соління, ультразвук, хвиля, частота, коефіцієнт дифузії, солоність, буферна ємність, апарат для соління риби.

АННОТАЦИЯ

Яковлев О.В. Усовершенствование процесса посола рыбы океанического промысла с помощью ультразвука и его аппаратное оформление. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Харьковский государственный университет питания и торговли Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2016.

Диссертация посвящена интенсификации процесса посола рыбы океанического промысла с помощью ультразвука.

Теоретически обоснована возможность интенсификации процесса посола с помощью ультразвука. Разработана математическая модель влияния ультразвуковой обработки на процесс внутреннего массопереноса при посоле рыбы. Получена уточненная формула для расчета продолжительности посола в условиях ультразвукового воздействия, учитывающая индивидуальные характерные размеры рыбы (габаритные размеры и отношение объема к площади поверхности), коэффициент массоотдачи и коэффициент диффузии.

Исследована кинетика диффузии NaCl в рыбе в условиях тузлучного посола. По результатам органолептических и микробиологических исследований установлено, что образцы соленой рыбы соответствуют требованиям нормативной документации.

Определены рациональные параметры процесса посола рыбы с помощью ультразвуковой обработки продолжительностью 10...15 мин и частотой 30 кГц.

Разработан апарат для посола рыбы с помощью ультразвука. Осуществлен комплекс мероприятий по внедрению результатов исследований в производство.

Ключевые слова: рыба, посол, ультразвук, волна, частота, коэффициент диффузии, соленость, буферная емкость, апарат для посола рыбы.

ANNOTATION

Yakovlev O. V. Improvement of the process of salting fish ocean fishing by ultrasound and its apparatus execution. – Manuscript.

Thesis for Candidate's degree of technical sciences by specialty 05.18.12 – Processes and Equipment of Food, Microbiological and Pharmaceutical Industries. – Kharkiv State University of Food Technology and Trade of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The thesis is devoted to the intensification of the process of salting fish ocean fishing by ultrasound.

Theoretically substantiated the possibility of salting process intensification by ultrasound. It is shown that there is a minimum frequency of ultrasound for intensification of external mass transfer in comparison with natural convection ($f_{\max}=24$ kHz, $E_{\min}=87$ MW/m²).

The mathematical model of the effect of ultrasonic treatment on the process of internal mass transfer during salting. Developed a mathematical model of the effect of ultrasonic treatment on the internal process of mass transfer in salting fish. Obtained a refined formula for the calculation of the duration of the salting in the conditions of ultrasound exposure, taking into account the individual characteristic size of the fish (overall size and the ratio of volume to surface area), the mass transfer coefficient and diffusion coefficient.

To determine the distribution of energy in fish during salting using ultrasound have investigated the distribution of temperature on the volume of the sample fish. It is revealed that the energy that is dissipated in the samples of different fish species, with increasing duration of ultrasonic treatment increases with a constant supply of energy.

Studied the kinetics of diffusion of NaCl in fish in conditions of brine salting.

Defined rational parameters of the process of salting fish with the help of ultrasonic treatment duration of 10...15 min and a frequency of 30 kHz. It is shown that for Atlantic herring *Clupea harengus* length salting $\tau=24...36$ h, the salinity of the prepared fish $S=7...10\%$ with a coefficient buffer capacity 160...220, for Atlantic mackerel *Scomber scombrus* – $\tau=30...42$ h, $S=8...10\%$ with a coefficient buffer capacity 120...190, for Pacific sardine *Sardinops melanostictus* – $\tau=18...24$ h, $S=7...9,5\%$ with a coefficient buffer capacity 120...190.

Compared with the ordinary salting proved that the use of pretreatment with ultrasound accelerates the maturation process of the fish on 15...25%.

The experimental results revealed that the indicators of quality fish, cured with the use of ultrasonic treatment, comply with relevant regulatory requirements by organoleptic and microbiological indicators.

Developed the design of the device for salting fish using ultrasound, designed its main characteristics and parameters developed technical description and operating instructions of the proposed apparatus.

Developed draft recommendations on the use of ultrasonic installations at fish processing plants, manufactured and applied in the production of experimental prototype of the apparatus for salting fish using ultrasound. The results of the work implemented in the educational process of the Kharkiv State University of Food Technology and Trade.

Key words: fish, salting, ultrasound, wave, frequency, diffusion coefficient, salinity, buffering capacity, machine for salting fish.

Підписано до друку 29.04.2016 р. Формат 60×90/16. Папір офсет. Друк офсет.

Умов. друк. арк. 1,4. Тираж 130 прим. Заовл. № 289і

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ», ФО-П Миронов М.В.,

м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ВО 4 № 022953