

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ

ЧЕКАНОВ МИКОЛА АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК: 65.015.1:637.5.039

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕНДЕРИЗАЦІЇ М'ЯСА
ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ
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 – 2011

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор

Постнов Геннадій Михайлович,

Харківський державний університет харчування та торгівлі,
професор кафедри устаткування підприємств харчування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Гуць Віктор Степанович,

Національний університет харчових технологій,
завідувач кафедри охорони праці та цивільної оборони

кандидат технічних наук, доцент

Скрипник В'ячеслав Олександрович,

ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки
і торгівлі», завідувач кафедри технологічного обладнання
харчових виробництв і торгівлі

Захист відбудеться «25» березня 2011 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.088.01 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 «24» лютого 2011 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради А.А. Дубініна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із існуючих на сьогоднішній день підходів, яким найбільш ефективно вирішуються питання інтенсифікації технологічних процесів в харчових виробництвах, є використання нових видів енергії та її високоефективного підведення до взаємодіючих речовин. Таким видом енергії є ультразвукові коливання високої інтенсивності (УЗКВІ), які дозволяють інтенсифікувати процеси хімічних, мікробіологічних і харчових технологій.

Дослідженнями вітчизняних і закордонних учених І.Е. Ельпінера, І.О. Рогова, В.М. Горбатова, Ю.Ф. Заяса, В.М. Хмелева, присвяченими питанню використання ультразвуку (УЗ), заснованого на властивостях і специфічності дії ультразвукових коливань (УЗК) на біологічні об'єкти, доведено, що в основі ультразвукової обробки м'яса лежить енергетичний вплив УЗК на клітинну структуру м'яса, за якого відбувається порушення цілісності як м'язових волокон, так і елементів сполучної тканини. На теперішній час УЗК в м'ясній промисловості використовуються для інтенсифікації процесів соління, витоплювання жиру та покращення якості м'ясопродуктів.

Перспективним напрямом розширення асортименту продукції високої якості під час виробництва м'ясопродуктів є використання м'яса з великим вмістом сполучної тканини (ВВСТ) та його тендеризація за допомогою УЗК. Удосконалення процесу тендеризації м'яса з ВВСТ за допомогою УЗК дозволить більш раціонально використовувати ресурси яловичої туші та скоротити тривалість технологічних процесів за рахунок фізико-хімічних процесів, які відбуваються в сировині під час тендеризації і сприяють зміні її функціонально-технологічних властивостей, скороченню тривалості технологічних процесів, підвищенню харчової цінності м'ясопродуктів, поліпшенню їх засвоюваності та збільшенню термінів зберігання. Тобто доцільність використання УЗ-енергії під час переробки м'яса на теперішній час визначена досить чітко.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до основних напрямів наукових досліджень Харківського державного університету харчування та торгівлі за темою №10-03-06Б «Удосконалення процесів та обладнання для переробки харчової сировини на підприємствах харчування», №5-04-07Б (0104U002576) «Організаційні та технологічні аспекти безвідходної переробки сільськогосподарської сировини», №03-08-10Б (0107U010149) «Електрофізичні методи обробки сільськогосподарської сировини».

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення процесу тендеризації м'яса з великим вмістом сполучної тканини за допомогою ультразвукових коливань та його апаратне оформлення. Для досягнення мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- провести теоретичне обґрунтування застосування УЗК для тендеризації м'яса у виробництві м'ясопродуктів;
- дослідити способи підведення УЗ-енергії до оброблюваних зразків м'яса і кількість енергії, яка при цьому розсіялась в ньому;
- дослідити розподіл УЗ-енергії усередині робочої камери УЗ-апарата за умов різних способів її підведення;

- визначити параметри, що впливають на ефективність процесу тендеризації м'яса з ВВСТ за допомогою УЗК;
- провести математичне моделювання процесу тендеризації м'яса з ВВСТ за допомогою УЗК;
- дослідити структурно-механічні показники тендеризованого м'яса з ВВСТ, його активну кислотність та здатність утримувати вологу;
- провести гістологічні дослідження мікроструктури та морфології тендеризованого м'яса з ВВСТ;
- розробити технічний опис та інструкцію з експлуатації апарата для тендеризації м'яса з ВВСТ;
- провести дослідження техніко-експлуатаційних характеристик апарата для тендеризації м'яса з ВВСТ;
- впровадити результати дослідження.

Об'єкт дослідження – процес тендеризації м'яса з ВВСТ.

Предмет дослідження – яловичина з ВВСТ, способи підведення енергії УЗК, форма та об'єм робочої камери, структурно-механічні та мікроструктурні показники тендеризованого м'яса, його активна кислотність та здатність утримувати вологу.

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

Наукова новизна одержаних результатів:

- науково обґрунтовано та експериментально підтверджено спосіб тендеризації м'яса з ВВСТ за допомогою УЗК.
- розроблено оригінальну методику дослідження енергетичного балансу процесу тендеризації м'яса з ВВСТ за допомогою УЗК, яка дозволяє визначати абсолютні та відносні значення підведеної та розсіяної енергії в об'ємі робочої камери;
- встановлено, що для випромінювача з частотою 22 кГц товщина м'ясної сировини, за якої спостерігається повне розсіяння енергії УЗ-хвилі, обернено пропорційна діаметру випромінювача;
- розроблено математичні моделі для залежності сили та роботи різання м'ясної сировини після тендеризації за допомогою УЗ від частоти випромінювача та об'єму робочої камери;
- встановлено закономірності змін структурно-механічних, морфометричних показників та стану вологи у м'ясі з ВВСТ, тендеризованому за допомогою УЗК.

Практичне значення одержаних результатів:

- визначено раціональні режими процесу тендеризації м'яса за допомогою УЗК;
- розроблено раціональну конструкцію випромінювача та робочої камери апарата для тендеризації м'яса з ВВСТ за допомогою УЗК;
- розроблено технічний опис та інструкцію з експлуатації апарата для тендеризації м'яса з ВВСТ за допомогою УЗК для м'ясопереробних підприємств;
- визначено конструктивні параметри, експлуатаційні характеристики апарата та вимоги щодо його продуктивності;

– результати досліджень впроваджено у виробництво та навчальний процес.

За результатами досліджень отримано 1 деклараційний патент України на корисну модель та 2 патенти України на корисну модель.

Реалізація результатів роботи. Результати роботи впроваджено на НВФ ТОВ «Зерновий клуб» (м. Одеса, акт від 30.05.2007 р.), ТОВ «Черкаська продовольча компанія» (м. Черкаси, акт від 10.12.2009 р.) та у навчальний процес ХДУХТ (акт від 12.12.2009 р.).

Особистий внесок здобувача полягає в плануванні, постановці та проведенні наукових експериментів, обробці дослідних даних, отриманні та узагальненні наукових результатів, формулюванні висновків, підготовці матеріалів до публікації, участі в патентуванні розробок, проведенні заходів щодо впровадження результатів роботи у виробничий та навчальний процес.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи були представлені, обговорювались та були схвалені на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу ХДУХТ (Харків, ХДУХТ, 2005-2010 рр.), VIII науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Технологія 2005» (Северодонецьк, ТІСНУ, 2005 р.), міжвузівському науковому семінарі «Нові технології і обладнання харчових виробництв» (Полтава, ПУСКУ, 2005 р.), 4-й міжнародній конференції «Актуальні проблеми харчування: технологія і обладнання, організація і економіка» (Святогірськ, ДонДУЕТ, 2005 р.), 72 наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (Київ, НУХТ, 2006 р.).

Наукові розробки були представлені на: Міжнародній виставці-ярмарку «Харківщина індустріальна. Наука та виробництво» (Харків, 2005 р.), виставці наукових розробок ХДУХТ спільно з ТОВ «Наша марка» (Харків, 2007 р.), Міжнародній виставці «Наука і виробництво. Продукти харчування, технології, обладнання» (Харків, 2007 р.), «Наука і виробництво» в рамках Великого Слобожанського ярмарку (Харків, 2008 р.), «Наука і виробництво. Машинобудування Харківщини» в рамках Великого Слобожанського ярмарку та Міжнародного інноваційно-інвестиційного форуму «Інновації, інвестиції, Харківські ініціативи» (Харків, 2009 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових праць, у тому числі 8 статей у наукових фахових виданнях, що затверджені ВАК України, 1 деклараційний патент України на корисну модель, 2 патенти України на корисну модель, 5 тез доповідей та матеріалів наукових конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел, що включає 143 найменування, в тому числі 11 іноземних. Роботу викладено на 148 сторінках, вона містить 38 рисунків, 14 таблиць та 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, наведені відомості щодо апробації та реалізації роботи.

У першому розділі «Аналіз способів та апаратів для тендеризації м'яса» наведено характеристики м'яса, м'ясопродуктів та способів покращення якості м'ясної сировини, аналіз апаратів для тендеризації м'ясної сировини, напрями використання тендеризованої сировини, представлено результати теоретичних досліджень поширення УЗК, впливу УЗК на процеси масообміну та механізм дії на біологічні об'єкти, розробку способу тендеризації м'яса з ВВСТ за допомогою УЗК. Узагальнення відомостей, викладених в цьому розділі, дозволило сформулювати мету та завдання досліджень, загальний план проведення теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих 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. Значення корисної акустичної потужності джерела звуку, ультразвукового тиску УЗКС та амплітуди зсуву часток визначали експериментально за стандартними методиками міжнародної електротехнічної комісії (МЕК).

Наведено оригінальну методику з оцінки ефективності процесу тендеризації за допомогою УЗ, що ґрунтується на визначенні кількості розсіяння акустичної енергії УЗК, у робочій камері апарата та на зразках м'яса, залежно від частоти випромінювача, типу робочого органа, тривалості обробки. Вимірювання температури нагрівання зразків м'яса в робочій камері проводилося за допомогою гребінки з 5 хромель-копелевих термопар. Термо-ЕРС з вільних кінців термопари знімали за допомогою точкового самописця «ЭПП-9».

Розрахунок енергії, яку випромінює перетворювач, проводили наступним чином:

$$E_{\text{вип}} = (1/2)\rho(2\pi f)^2 A^2 V_{\text{рк}}, \quad (1)$$

де $E_{\text{вип}}$ – енергія випромінювача, Дж/м³; ρ – густина середовища, кг/м³; f – частота випромінювача, кГц; A – амплітуда коливань торця випромінювача, м; $V_{\text{рк}}$ – об'єм робочої камери, м³.

Кількість енергії, яку випромінює перетворювач за одиницю часу, величина постійна та дорівнює 149,4 кДж. Середньооб'ємну температуру з 5 термопар визначали наступним чином:

$$t_v(\tau) = \frac{1}{V_{\text{зр}}} \left(\sum_{i=1}^n V_i \cdot t_i(\tau) \right), \quad (2)$$

де V_i – об'єм, в якому розташовувалася i -та термопара, м³; t_i – апроксимація сигналу, отриманого з i -тої термопари; $V_{\text{зр}}$ – загальний об'єм зразка, м³; t_v – середньооб'ємна температура, °С.

Кількість енергії, яка розсіялася в зразках м'яса, визначалася наступним чином:

$$\Delta E = c_m \rho_m V_{\text{зр}} \Delta t_v, \quad (3)$$

де ΔE – кількість теплоти, яка необхідна об'єкту для того, щоб його температура

збільшилася на Δt , Дж/м³; c_m – теплоємність м'яса, Дж/(кг·К); ρ_m – густина м'яса, кг/м³; f – частота випромінювача, кГц; A – амплітуда коливань торця випромінювача, м; V – об'єм зразка, м³.

Нормальне напруження зсуву визначали на пенетрометрі за методикою Ребіндера, тангенційне напруження зсуву – на модернізованому еластопластометрі за методикою Толстого. Модернізований еластопластометр відрізняється від відомого тим, що має датчик лінійних переміщень, який поєднаний з аналогово-цифровим перетворювачем, фіксує лінійні переміщення навантаженої пластини та передає дані до комп'ютера у двоїчному кодї. Роботу різання визначали як різницю загальноспожитої потужності електром'ясорубки та потужності холостого ходу за методикою Солов'єва. Силу різання – за методикою Варнера-Братцлера на оригінальній установці, яка відрізняється від відомої тим, що має електродвигун, черв'ячний редуктор, трубчасту пружину, динамометр годинникового типу, ніж. При цьому ширина леза елемента не враховується або вважається, що вона близька до 0. Стан вологи досліджували калориметричним методом та методом пресування, величини рН – потенціометричним методом на універсальному іонетрі «рН-Эв-74». Гістологічні дослідження проводили за стандартною методикою виготовлення парафінових гістозрізів з наступним їх фарбуванням гематоксиліном та еозином за методом Малорї. Використовувався об'єктив 20×, окуляр 10×, Jenamed. Обробку результатів досліджень було проведено з використанням сучасних методів математичної статистики, кореляційного аналізу та комп'ютерних технологій.

У третьому розділі «Результати експериментальних досліджень» було проведено обґрунтування та вибір частоти випромінювання, визначення та розрахунків основних параметрів УЗКС, дослідження робочих органів випромінювачів, математичне моделювання процесу тендеризації за допомогою УЗК, наведено результати дослідження структурно-механічних показників, величини рН та стану вологи та результати морфометрії тендеризованого м'яса.

За результатами випробування трьох серійних магнітострикційних випромінювачів частотою 15, 22, 35 кГц визначено їх вплив на процес тендеризації м'яса за допомогою УЗК. Результати розрахунків та досліджень основних енергетичних параметрів УЗКС наведені в табл. 1 та на рис. 1.

Видно, що УЗ-випромінювач частотою 22 кГц має найкращі енергетичні показники, оскільки величина середньооб'ємної температури за тієї ж тривалості обробки у нього більша. Це підтверджується даними табл. 1, де амплітуда зсуву часток та корисна акустична потужність джерела звуку у

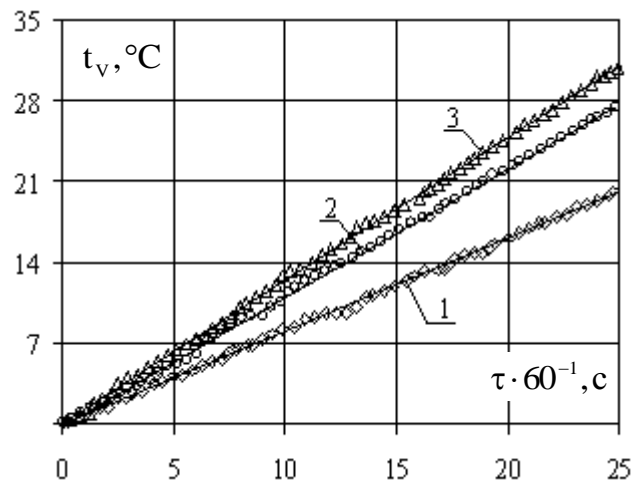


Рис. 1. Зміна середньооб'ємної температури рідини в робочій камері в процесі обробки випромінювачами різної частоти, кГц: 1 – 15; 2 – 22; 3 – 35

нього найбільша. Тому випромінювач частотою 22 кГц було визнано найефективнішим для проведення тендеризації м'яса за допомогою УЗК.

Таблиця 1

Основні параметри УЗКС

Показники	Частота випромінювачів, кГц		
	15	22	35
Амплітуда зсуву часток, $A \cdot 10^6$, м	30	70	50
Довжина хвилі, λ , м	0,102	0,07	0,044
Амплітуда коливальної швидкості, U , м/с	2,82	9,67	10,99
Максимальна амплітуда прискорення, $B \cdot 10^{-6}$, м/с ²	-0,26	-1,34	-2,41
Середня кінетична енергія в одиниці об'єму, $E_k \cdot 10^{-4}$, Дж/м ³	0,21	2,43	3,14
Густина енергії звукової хвилі в одиниці об'єму, $E \cdot 10^{-4}$, Дж/м ³	0,41	4,87	6,28
Сила звуку, $F \cdot 10^{-8}$, Вт/(м·с)	38,8	3,31	2,56
Акустична потужність джерела звуку, $E_{\text{вип}\Sigma} \cdot 10^{-4}$, (Вт·м)/м ²	68,5	5,85	4,53
Тиск звукової хвилі, $D \cdot 10^{-7}$, Н/м ²	2,48	1,56	2,48
Акустична твердість середовища, $Q_{\text{А.Т.}} \cdot 10^{-11}$, Н/м	1,51	2,23	3,54
Тиск звуку на перешкоду, \bar{S} , Н/м ²	87	102	132
Коефіцієнт поглинання сумарний, $2\alpha \cdot 10^{-3}$	2,03	4,36	11,03
Коефіцієнт поглинання, зумовлений в'язкістю (рівняння Стокса), $\alpha_1 \cdot 10^{-3}$	2,03	4,36	11,03
Коефіцієнт поглинання, зумовлений теплопровідністю (рівняння Кірхгофа), $\alpha_2 \cdot 10^4$	4,5	6,6	10,5
Корисна акустична потужність джерела звуку, $P_{\text{ак}}$, Вт	51	78	68

Коефіцієнти пропускання k_D , відбиття k_r , акустичний опір середовища R_A не залежать від частоти випромінювання, а змінюються лише від швидкості звуку та густини середовища, $k_D = 0,93$, $k_r = 0,06$, $R_A = 1,61 \cdot 10^6$ кг·м⁻²·с⁻¹. Розрахунки проводилися для випромінювачів з діаметром $15 \cdot 10^{-3}$ м, площею – $1,7 \cdot 10^{-4}$ м².

Для перевірки та підтвердження розрахованих теоретично параметрів робочих органів УЗКС були виготовлені робочі органи наступних форм: конічний із вузьким дном, конічний із широким дном, циліндричний, циліндричний основний із підведенням випромінювача в середину робочої камери. Величину розсіяння акустичної енергії знаходили як середньооб'ємну температуру зразків, з подальшим розрахунком за формулами (1–3), результати розрахунків наведено на рис. 2. Встановлено, що найбільшу величину акустичної енергії, яка була поглинута у воді модельним тілом, демонструє циліндричний основний робочий орган. Це відбувається тому, що енергія УЗ-хвилі завдяки конструкції випромінювача потрапляє безпосередньо до внутрішнього об'єму робочої камери.

Під час визначення загальної енергії УЗ-хвилі та кількості енергії УЗ-хвилі, що розсіялась під час процесу обробки УЗК різних видів м'ясної сировини, було

встановлено (рис. 3), що основна частина УЗ-енергії розсіюється в поверхневих шарах м'яса, а саме: на відстані $\lambda/2$ енергія хвилі зменшується на половину, а на відстані λ – повністю затухає. Для УЗ-випромінювача частотою 22 кГц довжина хвилі $\lambda = 0,07$ м. Тобто геометричний розмір зразків м'яса не повинен перевищувати $2d$ випромінювача (3 см) та має бути висотою не більше 5 см. Це підтверджується результатами розрахунків, наведеними у табл. 1.

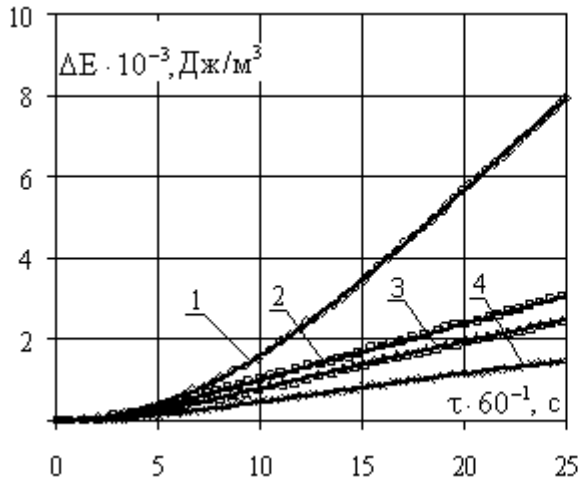


Рис. 2. Зміна розсіяння енергії УЗК під час УЗ-обробки в робочих органах різної форми: 1 – циліндричний основний; 2 – циліндричний; 3 – ко-нічний із широким дном; 4 – ко-нічний із вузьким дном

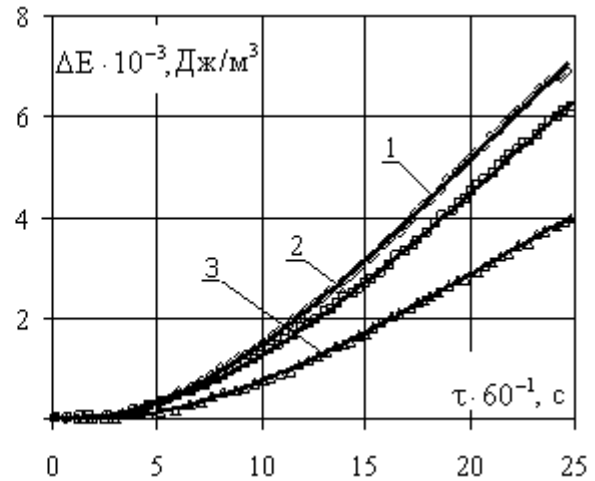


Рис. 3. Зміна розсіяння енергії УЗК в процесі обробки м'ясної сировини випромінювачем з частотою 22 кГц: 1 – зразки з гомілки; 2 – пашини; 3 – шийної частини

Енергія, яка розсіюється на зразках яловичини, зі збільшенням тривалості УЗ-обробки збільшується за умови постійного підведення енергії. Причому розсіяння на зразках із гомілки більше, ніж на зразках з пашини, а розсіяння на зразках із пашини більше, ніж на зразках із шийної частини. Розсіяння енергії УЗК відбувається більше в тих зразках м'ясної сировини, де сполучної тканини більше. Оскільки відомо, що ступінь нагрівання м'ясної і жирової тканини зумовлений характером поглинання, інтенсивністю і частотою УЗ, внаслідок неоднорідності структури м'язової тканини поглинання в ній більше, ніж у шарі жиру.

Під час реологічних досліджень фаршів із тендеризованого м'яса, стану та структури вологи в ньому та величини рН (табл. 2) було встановлено, що робота та сила різання, нормальне граничне напруження зсуву, відносна деформація, модуль миттєвої пружності, модуль еластичності, пластична в'язкість, в'язкість пружної післядії зі збільшенням тривалості обробки зменшуються.

Для контрольного зразка нормальне напруження зсуву складає 2400 Па, після УЗ-обробки його величина зменшувалась залежно від тривалості обробки до 45%. Дані зміни свідчать про те, що УЗ-обробка яловичини з ВВСТ суттєво зменшує його жорсткість. Пояснюється це тим, що під дією УЗ-обробки збільшується проникність міжклітинних мембран, кількість рідини в клітинах збільшується, що, в свою чергу, призводить до покращення консистенції м'яса. Крім того, під дією УЗ-обробки

відбувається механічна дезагрегація колагену з одночасним утворенням глютину, який має більшу кількість гідрофільних груп, що призводить до збільшення здатності утримувати вологу та збільшення величини піддатливості системи.

Таблиця 2

**Результати дослідження зміни реологічних властивостей м'ясної сировини, стану
вологи та рН тендеризованого м'яса**

Показники	Контроль	Тривалість обробки зразків із гомілки, $\tau \cdot 60^{-1}$, с				
		5	10	15	20	25
Напруження зсуву нормальне, $\theta_0 \cdot 10^{-3}$, Па	2,40	2,31	1,48	1,41	1,37	1,33
Відносна деформація, $\gamma \cdot 10^{-3}$, м	0,15	0,21	0,25	0,29	0,32	0,33
Піддатливість системи, $I \cdot 10^4$, Па ⁻¹	5,85	7,95	9,71	10,92	12,3	12,9
Напруження зсуву тангенційне, Т, Па	261	261	261	261	261	261
Модуль миттєвої пружності, $G_m \cdot 10^{-3}$, Па	15,7	9,45	4,75	3,35	2,31	2,25
Модуль еластичності, $G_{ел} \cdot 10^{-3}$, Па	2,39	2,29	1,84	1,84	1,47	1,43
Пластична в'язкість, $\eta_0^* \cdot 10^{-5}$, Па·с	5,91	4,81	3,91	3,69	3,54	2,19
В'язкість пружної післядії, $\eta_{пр} \cdot 10^{-5}$, Па·с	7,18	7,09	4,25	3,95	3,22	3,18
Робота різання, $A_{різ} \cdot 10^{-3}$, Дж	2,55	1,54	1,23	1,09	0,94	0,83
Сила різання поперек волокон, $F_{різ}$, Н	68,2	61,8	56,0	47,2	37,8	36,1
Кількість зв'язаної води за методом пресування, $W_{зв.мц}$, %	35	37	44	48	45	44
Кількість зв'язаної води за калориметричним методом, $W_{зв.мк}$, %	26	30	37	40	38	37
Активна кислотність, рН	6,01	5,75	5,71	5,69	5,67	5,64

Дослідженнями стану води встановлено, що під дією енергії УЗК відбувається перерозподіл структури води в м'ясі, що підтверджується даними, отриманими калориметричним методом та методом пресування. Це пояснюється тим, що УЗ-обробка призводить до деформації тривимірної структури колагену за рахунок послаблення та розривів водневих зв'язків, які утримують поліпептидні ланки, які руйнуються, і, як наслідок, збільшується питома поверхня молекул з гідрофільними групами, здатними утримувати вологу. Зменшення величини рН є ознакою механічного руйнування між білками сарколеми, внаслідок чого збільшується активна поверхня білкових молекул.

За результатами гістологічних досліджень було встановлено, у тендеризованому м'ясі після УЗ-обробки протягом 5-60 с набухають м'язові волокна і частково руйнуються контакти колагенових волокон ендомізію і перемізію з сарколемою м'язових волокон. Під час морфометричних досліджень було встановлено збільшення товщини м'язових волокон на 19,3...20,5% та товщини прошарків ендомізію на 21,4...25,3%. Такі зміни зумовлені підвищенням гідратації білків саркоплазми та основної речовини пухкої сполучної тканини ендомізію та перемізію. Зміни в тендеризованому м'ясі після УЗ-обробки протягом 10-60 с подібні до попередніх, але

при цьому набування м'язових волокон і рівень гідратації основної речовини ендомізію та перемізію збільшується. Товщина мязових волокон збільшується на 7,1...9,2%, а товщина прошарків ендомізію зменшується на 1,5...2,6%.

Збільшення тривалості УЗ-обробки до 15·60 с призводить до суттєвих структурних змін усіх структурних компонентів м'язової тканини. Колагенові волокна ендомізію, перемізію втрачають чіткий контур, набухають. Відмічені численні їх розриви, а також повна дезінтеграція як із сарколемою м'язових волокон, так і з сухожиллями. Серед м'язових волокон збільшується кількість волокон з хвилястою конфігурацією і локальними розривами. Встановлено, що рівень гідратації білків саркоплазми і колагенових волокон ендомізію та перемізію збільшується. На це вказують збільшення товщини м'язових волокон на 1,3...2,5% і товщини прошарків ендомізію на 14,7...16,1%. Обробка протягом 20·60 с призводить до глибоких деструктивних змін в усіх компонентах м'язової тканини. У м'язових волокнах мають місце розриви сарколеми, дезінтеграції міофібрил на саркомери, вихід компонентів саркоплазми за межі волокон. Елементи сполучної тканини втрачають здатність до гідратації і виявляють ознаки дегідратації. Встановлено, що в результаті таких процесів товщина м'язових волокон зменшується на 21,2...24,1%, товщина прошарків ендомізію зменшується на 28,6...30,4%, що свідчить про втрату здатності основної речовини підтримувати стан гелю.

Після УЗ-обробки протягом 25·60 с на гістозрізах виявляються численні ділянки лізису колагенових волокон, що є ознакою дезагрегації колагену і зміни його фізико-хімічних властивостей. При цьому товщина м'язових волокон в експериментальних зразках зменшується на 15,3...17,1%, а товщина прошарків ендомізію зменшується на 21,8...26,4%.

Ефективність процесу тендеризації розглядали як зміну величин кількості зв'язаної вологи, роботи різання й сили різання. В результаті проведених досліджень отримані рівняння, що дозволяють описати процес тендеризації м'яса за допомогою УЗ відносно роботи різання $A_{\text{різ}}$, сили різання $F_{\text{різ}}$, кількості зв'язаної вологи $W_{\text{зв}}$:

$$A_{\text{різ}}(\tau) = 0,72 + 1,84 \cdot e^{-0,112\tau}, \quad (4)$$

$$F_{\text{різ}}(\tau) = -18,76 + 89,96 \cdot e^{-0,018\tau}, \quad (5)$$

$$W_{\text{зв.мп}}(\tau) = (5,33 \cdot 10^{-5} \tau^2 - 1,61 \cdot 10^{-3} \tau + 0,03)^{-1}, \quad (6)$$

$$W_{\text{зв.мк}}(\tau) = (4,07 \cdot 10^{-5} \tau^2 - 1,22 \cdot 10^{-3} \tau + 0,03)^{-1}. \quad (7)$$

Завдяки одержаним закономірностям (4-7) визначено раціональні параметри процесу тендеризації м'яса за допомогою УЗК, а саме: коефіцієнт завантаження робочої камери – $\leq 0,7$; частота – 22 кГц; тривалість процесу – (12...16)·60 с; об'єм робочої камери – $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; маса шматочків м'яса – $\leq 0,15 \text{ кг}$.

У четвертому розділі «Розробка промислового зразка апарата» сформульовано вимоги до конструкції апарата, проведено розрахунок магнітострикційної УЗКС, розрахунок і проектування трансформаторів пружних коливань і хвилеводів,

розрахунок і проектування робочої камери апарата. Обґрунтовано раціональну конструкцію апарата для тендеризації м'яса з ВВСТ за допомогою УЗК. Загальний вигляд апарата для тендеризації м'яса з ВВСТ за допомогою УЗК, спроектованого з використанням програми SolidWorks, наведено на рис. 4.

Проведено інженерні розрахунки із визначення основних характеристик та параметрів апарата для тендеризації м'яса з ВВСТ за допомогою УЗК, розрахунок на міцність магнітострикційного перетворювача та моделювання електричних процесів на прикладі еквівалентної схеми коливального контуру. Розроблено інструкцію з експлуатації та технічний опис апарата для тендеризації м'яса за допомогою УЗК з ВВСТ з визначенням його основних вихідних характеристик.

Принцип дії апарата полягає в наступному. У разі підключення генератора УЗК до електричної мережі на обмотку трансформатора перетворювача подається живлення з частотою 22 кГц. У магнітострикційному перетворювачі відбувається перетворення електричної енергії в енергію механічних коливань трансформатора, які підсилює концентратор. Випромінювачі 3 передають пружні УЗ-коливання в рідину широким фронтом хвилі. Рідина обирається таким чином, щоб її акустичний імпеданс наближався до акустичного імпедансу м'яса, яке розміщується в цій рідині. Після подачі живлення над торцем випромінювача виникає зона кавітації. Під час виникнення кавітації у рідині створюються зони тиску і розрядження, оскільки у рідині тиск передається рівномірно та одночасно на всі боки. УЗК при поширенні у рідині відбиваються від стінок сітчастого кошика, стінок циліндричного корпусу та від поверхні рідини (межа поділу фаз «рідина-повітря») практично повністю та поглинаються середовищем і дослідними зразками. За цих умов у середовищі виникають УЗ-мікропотоки, які на межі поділу фаз «рідина-тверде тіло» (м'ясо) інтенсифікують масообмінні процеси шляхом зміни проникливості оболонок клітин білків сполучної тканини. У табл. 3 наведено основні технічні характеристики апарата для тендеризації м'яса за допомогою УЗК, порівняння його енергетичних показників із вакуум-масажем Inject Star MC 400 – у табл. 4.

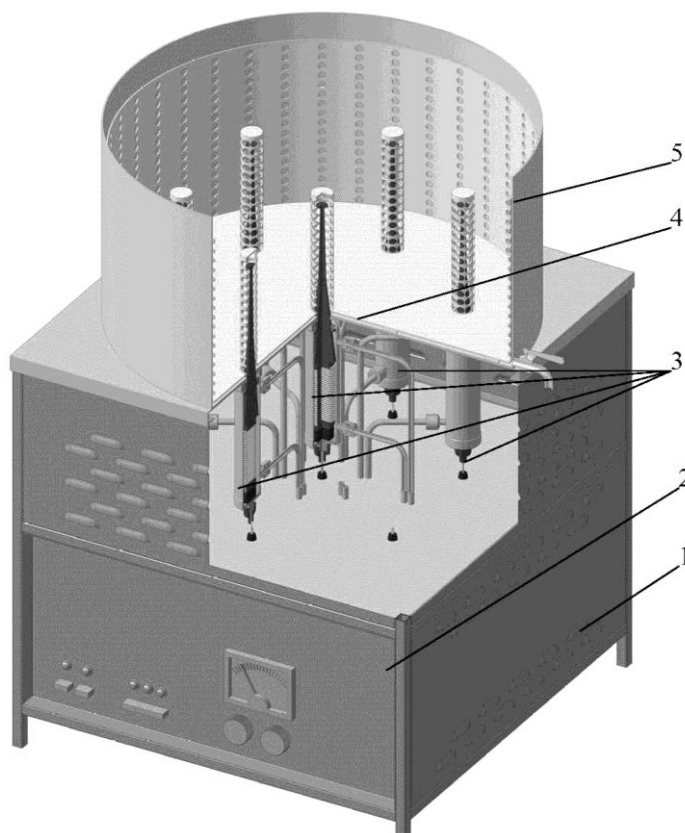


Рис. 4. Загальний вигляд апарата для тендеризації м'яса за допомогою УЗК: 1 – корпус; 2 – УЗ-генератор; 3 – магнітострикційні випромінювачі; 4 – сітчастий кошик; 5 – робоча камера апарата

Таблиця 3

Технічні характеристики апарата для тендеризації м'яса за допомогою УЗК

Показники	Величина
Номінальна напруга живлення від мережі однофазного змінного струму частотою 50 Гц, U, В	220
Номінальна споживана електрична потужність, P, Вт	Не більше 3500
Регулювання вихідної потужності	Плавне
Номінальна робоча частота генератора й випромінювачів, f, Гц	22000
Межі плавного регулювання частоти генератора, f, Гц	1660
Амплітуда звукового тиску під час поширення в рідині, $p_0 \cdot 10^5$, Па	168
Тривалість одного циклу озвучування, $\tau \cdot 60^{-1}$, с	12...16
Напруга в коливальному контурі під час випромінювання в рідину, U, В	83
Сила струму в коливальному контурі під час випромінювання в рідину, I, А	7
Кількість випромінювачів, шт.	7
Об'єм робочої камери, V, м ³	0,14
Одноразове завантаження робочої камери, m _з , кг	60...80
Витрата води для охолодження випромінювачів, Q _{об} , м ³ /год	Не менше 0,03
Продуктивність установки, Q, кг/год	240...320
Габаритні розміри, м	0,58×0,64×0,88
Маса, m, кг	120

Таблиця 4

Порівняльна характеристика апарата для тендеризації м'яса за допомогою УЗК

Показники	Апарат для тендеризації м'яса за допомогою УЗК	Вакуум-масажер Inject Star MC 400
Спожита потужність, P, Вт	3500	4600
Продуктивність, Q, кг/год	240...320	200...280
Питома енергоємність, ΔP, Вт/кг	10,93...14,58	16,42...23,00
Величина річного енергоспоживання, $\sum E_{сп}$, кВт·год	6720	8800

За результатами аналізу табл. 2-5 доведено, що використання апарату для тендеризації м'яса за допомогою УЗК характеризується низькими енерговитратами та високою якістю отриманої продукції у порівнянні з вакуум-масажером Inject Star MC 400.

У п'ятому розділі «Впровадження результатів дослідження та їх економічна ефективність» наведено економічні розрахунки, які показали, що застосування апарата для тендеризації м'яса за допомогою УЗК на м'ясопереробному виробництві є доцільним та ефективним інвестиційним проектом, який може бути реалізований як у новостворених лініях з виробництва м'ясних продуктів, так і на вже діючих підприємствах. У першій ситуації виконуються усі умови, що висувуються до критеріїв економічної ефективності інвестицій: чистий приведений прибуток є позитивним і у порівнянні з вакуум-масажером Inject Star MC 400 складає 2896,34 тис. грн на рік, термін окупності проекту складає 3,6 місяця. Результати, отримані в роботі,

пройшли апробацію на НВФ ТОВ «Зерновий клуб» (м. Одеса) та ТОВ «Черкаська продовольча компанія» (м. Черкаси). Результати досліджень впроваджені в навчальний процес факультету обладнання та технічного сервісу ХДУХТ.

ВИСНОВКИ

1. За результатами аналітичних досліджень встановлено, що основними причинами, які перешкоджають використанню УЗ-технологій у харчовій галузі промисловості України, є обмеженість, а у деяких випадках відсутність наукових досліджень впливу УЗ-хвиль з плоским фронтом на неоднорідні об'єкти типу «рідина-тверде тіло» для м'яса та м'ясної сировини та практичних рекомендацій щодо їх застосування.

2. Встановлено, що основна частина УЗ-енергії розсіюється в поверхневих шарах м'яса, а саме: на відстані $\lambda/2$ енергія хвилі зменшується на половину, а на відстані λ – повністю затухає. Для УЗ-випромінювача частотою 22 кГц довжина хвилі $\lambda = 0,07$ м. Тобто геометричний розмір зразків м'яса не повинен перевищувати $2d$ випромінювача (3 см) та має бути висотою не більше 5 см.

3. Отримано рівняння регресії, що дозволяють описати кількість зв'язаної вологи, силу та роботу різання м'яса відносно тривалості процесу тендеризації м'яса за допомогою УЗК.

4. Визначено ефективні параметри процесу тендеризації м'яса за допомогою УЗК, а саме: коефіцієнт завантаження робочої камери – $\leq 0,7$; частота – 22 кГц; тривалість процесу – $(12...16) \cdot 60$ с; об'єм робочої камери – $3 \cdot 10^{-3}$ м³; маса шматочків м'яса – $\leq 0,15$ кг.

5. Встановлено, що у процесі тендеризації м'яса за допомогою УЗК в тендеризованому м'ясі відбувається зменшення нормального напруження зсуву до 45%, відносної деформації, модуля миттєвої пружності, модуля еластичності, пластичної в'язкості, в'язкості пружної післядії більш ніж на половину; піддатливість системи та відносна деформація збільшуються. Доведено, що під дією УЗК відбуваються зміни активної кислотності від 6,0 до 5,6 та стану вологи. Кількість зв'язаної вологи у м'ясі збільшується протягом $(5...15) \cdot 60$ с УЗ-обробки, при подальшому збільшенні тривалості обробки колагенові волокна сполучної тканини втрачають здатність до гідратації.

6. Дослідженнями структурно-механічних та морфометричних показників, стану вологи, величини рН тендеризованої сировини встановлено, що жорсткість її зменшується на 35...45%, вміст зв'язаної вологи на 10...14% збільшується, тому м'ясо після тендеризації за допомогою УЗК можна використовувати у м'ясопереробній промисловості для виробництва широкого асортименту м'ясних виробів.

7. Розроблено конструкцію апарата для тендеризації м'яса за допомогою УЗК, розраховано його основні характеристики та параметри, розроблено технічний опис та інструкцію з експлуатації запропонованого апарата.

8. Доведено перспективність використання способу тендеризації м'яса за допомогою УЗК, який характеризується низькими енерговитратами та високою якістю отриманої продукції.

9. Економічні розрахунки показали, що застосування апарата для тендеризації м'яса за допомогою УЗК на м'ясопереробному виробництві є доцільним та ефективним інвестиційним проектом, який може бути реалізований як у новостворених лініях з виробництва м'ясних продуктів, так і на вже діючих підприємствах. У першій ситуації виконуються усі умови, що висувуються до критеріїв економічної ефективності інвестицій. Чистий приведений дохід складає 2896,34 тис. грн на рік, термін окупності – 3,6 місяця.

10. Результати, що отримані в роботі, пройшли апробацію на НВФ ТОВ «Зерновий клуб» (м. Одеса) та ТОВ «Черкаська продовольча компанія» (м. Черкаси). Результати досліджень впроваджені в навчальний процес факультету обладнання та технічного сервісу ХДУХТ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Постнов Г. М. Використання ультразвукових коливань для розм'якшення м'яса великої рогатої худоби з високим вмістом з'єднувальної тканини / Г. М. Постнов, М. А. Чеканов // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк, 2005. – Вип. 12 (2). – С. 43–51. Здобувачем проведено аналітичний огляд стану проблеми, дослідження величини нормального напруження зсуву тендеризованого м'яса в робочих органах різної форми, обробку експериментальних даних, підготовлено матеріали до публікації.

2. Постнов Г. М. Визначення структурно-механічних властивостей м'яса з великим вмістом з'єднувальної тканини під час озвучення його ультразвуком частотою 22 кГц / Г. М. Постнов, М. А. Чеканов // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2005. – Вип. 1. – С. 303–309. Здобувачем створено експериментальну установку, визначено нормальне та тангенційне напруження зсуву, підготовлено матеріали до публікації.

3. Автоматизоване проектування ультразвукової коливальної системи за допомогою графічно-розрахункового пакета SOLID WORKS / Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, В. М. Червоний, Д. А. Нечипоренко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2005. – Вип. 2. – С. 256–260. Здобувачем проведено проектування УЗКС, інженерний розрахунок випромінювача та креслення у SOLID WORKS, підготовлено матеріали до публікації.

4. Постнов Г. М. Вивчення проникнення ультразвукових коливань у м'ясо великої рогатої худоби з високим вмістом з'єднувальної тканини / Г. М. Постнов, М. А. Чеканов // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк, 2006. – Вип. 14. – С. 87–91. Здобувачем створено експериментальну установку для визначення розсіяння УЗК

у м'ясі, проведено дослідження глибини проникнення УЗК та обробку експериментальних даних, підготовлено матеріали до публікації.

5. Постнов Г. М. Автоматизація процесу отримання експериментальних даних за допомогою модернізованого пластометру Толстого для визначення структурно-механічних властивостей м'яса / Г. М. Постнов, М. А. Чеканов // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2006. – Вип. 2 (4). – С. 271–275. Здобувачем проведені дослідження структурно-механічних показників фаршів з тендеризованого м'яса.

6. Постнов Г. М. Експериментальна методика визначення фізичних властивостей тендеризованого м'яса в лабораторних умовах // Г. М. Постнов, М. А. Чеканов // Вісник Харк. нац. техн. ун-ту сільськ. госп. ім. П. Василенка : зб. наук. пр. / ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Х., 2006. – Вип. 45. – С. 211–215. Здобувачем запропонована методика та створена установка для визначення роботи різання тендеризованого м'яса, підготовлено матеріали до публікації.

7. Постнов Г. М. Вимірювання акустичної потужності ультразвукової установки за допомогою калориметричного методу / Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, О. Г. Дьяков // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2007.– Вип. 1 (5). – С. 535–540. Здобувачем проведений літературний огляд, створена установка для визначення акустичної потужності ультразвукової установки та обробка експериментальних даних.

8. Постнов Г. М. Визначення енергії ультразвукових коливань, що розсіялась під час ультразвукової обробки м'ясної сировини / Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, А. О. Пак // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х., 2009.– Вип. 1 (10). – С. 518–523. Здобувачем проведено літературний огляд, створено установку для визначення розсіяної енергії УЗК, проведено дослідження та обробку експериментальних даних.

9. Деклар. пат. на корисну модель № 16116 U Україна, МПК G 01 B 9/00. Пристрій для вимірювання лінійних переміщень / Постнов Г. М., Чеканов М. А., Дуб В. В., Червоний В. М. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № u200602096 ; заявл. 27.02.06 ; опубл. 17.07.06, Бюл. № 7. – 4 с. Здобувачем запропоновано спосіб отримання даних під час вимірювання лінійних переміщень.

10. Пат. на корисну модель 48063 Україна, МПК A22C 9/00. Пристрій для тендеризації м'ясної сировини за допомогою ультразвуку / Постнов Г. М., Чеканов М. А., Червоний В. М. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № u200907852 ; заявл. 27.07.09 ; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5. – 4 с. Здобувачем запропоновано конструкцію пристрою для тендеризації м'ясної сировини за допомогою ультразвуку, підготовлена заявка на корисну модель.

11. Пат. на корисну модель № 48064 Україна, МПК G01B 9/00. Пристрій для вимірювання сили різання / Постнов Г. М., Чеканов М. А., Червоний В. М. ; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № u200907855 ; заявл. 27.07.09 ;

опубл. 10.03.10, Бюл. № 5. – 4 с. Здобувачем запропоновано конструкцію пристрою для вимірювання сили різання, підготовлена заявка на корисну модель.

12. Чеканов М. А. Використання ультразвуку в харчових технологіях / М. А. Чеканов, В. М. Червоний, Д. А. Нечипоренко // Технологія 2005 : VIII Всеукр. наук.-практ. конф. студ., асп. та молодих вчених 14-15 квітня 2005 р. : тези доп. – Северодонецьк : Технол. ін-т Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2005. – С. 70–71. Здобувачем проведено узагальнення перспектив ультразвукової обробки.

13. Чеканов М. А. Спосіб виміру амплітуди коливання випромінювача ультразвукової коливальної системи / М. А. Чеканов, В. М. Червоний // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : 72 наук. конф. молодих вчених, асп. і студ. 14-15 квітня 2006 р. : матеріали – К. : Нац. ун-т харч. техн., 2006. – Ч. 2. – С. 27. Здобувачем виміряні амплітуди коливань випромінювачів УЗКС.

14. Определение структурно-механических свойств мяса с высоким содержанием соединительной ткани, обработанного ультразвуком / Г. М. Постнов, Н. А. Чеканов, В. Н. Червоний, Д. А. Нечипоренко // Наука і соціальні проблеми суспільства: харчування, екологія, демографія : IV Міжнар. наук.-практ. конф., 23-24 травня 2006 р. : матеріали – Х. : Харк. держ. ун-т харч. та торг., 2006. – Ч. 1.– С. 385–387. Здобувачем визначені структурно-механічні властивості тендеризованого м'яса.

15. Пак А. О. Определение количества свободной и связанной влаги в мясе после ультразвуковой обработки / А. О. Пак, Н. А. Чеканов // Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини : Всеукр. наук. -практ. конф., 31 жовтня 2008 р. : тези доп. – Х. : Харк. держ. ун-т харч. та торг., 2008.– С. 5–6. Здобувачем проведені дослідження стану вологи в тендеризованому м'ясі.

16. Чеканов М. А. Дослідження впливу ультразвуку на зміну мікроструктурних властивостей яловичини / М. А. Чеканов // Strategy of Quality in Industry and Education : Proceedings VI International Conference, 4-11 June 2010. – Varna, Bulgaria, 2010. – Vol. 1 (2). – С. 439–441.

АНОТАЦІЯ

Чеканов М.А. Удосконалення процесу тендеризації м'яса за допомогою ультразвукових коливань та його апаратурне оформлення. – Рукопис.

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, молоді та спорту України. Харків, 2011.

Дисертацію присвячено удосконаленню процесу тендеризації м'яса за допомогою ультразвукових коливань.

В дисертації досліджено вплив тривалості ультразвукової обробки, параметрів ультразвукової коливальної системи, форми робочої камери, структурно-механічних властивостей сировини на ефективність проведення процесу тендеризації за допомогою ультразвукових коливань. Отримано залежності сили та роботи різання, граничного напруження зсуву відносної деформації тендеризованої м'ясної сировини від тривалості ультразвукової обробки. Визначено ефективні параметри процесу

тендеризації м'яса за допомогою УЗК: коефіцієнт завантаження робочої камери – $\leq 0,7$; частота – 22 кГц; тривалість процесу – $(12\dots16)\cdot 60$ с; об'єм робочої камери – $3\cdot 10^{-3}\text{м}^3$; маса шматочків м'яса – $\leq 0,15$ кг. Розроблено апарат для тендеризації м'яса за допомогою УЗК. Здійснено комплекс заходів щодо впровадження результатів досліджень у виробництво.

Ключові слова: м'ясна сировина, ультразвук, ультразвукова хвиля, енергія ультразвуку, що розсіялася, структурно-механічні показники м'ясних фаршів.

АННОТАЦІЯ

Чеканов Н.А. Усовершенствование процесса тендеризации мяса с помощью ультразвуковых колебаний и его аппаратное оформление. – Рукопись.

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, молодёжи и спорта Украины, Харьков, 2011.

Диссертация посвящена усовершенствованию процесса тендеризации мяса с помощью ультразвуковых колебаний.

Анализ литературных источников показал, что основными причинами, которые препятствуют использованию ультразвуковых (УЗ) технологий в мясоперерабатывающей отрасли пищевой промышленности Украины, являются ограниченность, а в некоторых случаях отсутствие научных исследований влияния УЗ-волн с плоским фронтом на неоднородные объекты типа «жидкость-твёрдое тело» для мяса и мясного сырья и практических рекомендаций относительно их применения.

В диссертации приведены методики по определению ультразвукового давления ультразвуковых колебаний (УЗК), общей полезной акустической мощности ультразвуковой колебательной системы (УЗКС), значения полезной акустической мощности источника звука и амплитуды сдвига частиц по стандартам международной электротехнической комиссии. Приведена оригинальная методика по оценке эффективности процесса тендеризации с помощью УЗ, которая основывается на определении количества рассеяния акустической энергии УЗК в рабочей камере аппарата и на образцах мяса, в зависимости от частоты излучателя, типа рабочего органа, продолжительности обработки.

Исследовались комплексные показатели тендеризованого мяса. Получены зависимости силы и работы резания, предельного напряжения сдвига, относительной деформации тендеризованого мясного сырья от продолжительности ультразвуковой обработки. Определены эффективные параметры процесса тендеризации мяса с помощью УЗК: коэффициент загрузки рабочей камеры – $\leq 0,7$; частота – 22 кГц; продолжительность процесса – $(12\dots16)\cdot 60$ с; объём рабочей камеры – $3\cdot 10^{-3}\text{м}^3$; масса кусочков мяса – $\leq 0,15$ кг. Доказана перспективность использования способа тендеризации мяса с помощью УЗК, который характеризуется низкими энергозатратами и высоким качеством полученной продукции.

Разработаны требования к конструкции аппарата. Проведен расчет основных параметров магнитоотрицательной ультразвуковой колебательной системы (УЗКС),

расчет и проектирование трансформаторов упругих колебаний и волноводов, механический расчет преобразователя, расчет и проектирование рабочей камеры аппарата. Проведено моделирование УЗКС методом электромеханических аналогий, моделирование напряжений, деформаций и перемещений рассчитанного излучателя в системе автоматического проектирования COSMOSWorks. Разработан аппарат для тендеризации мяса с помощью УЗК, техническое описание и инструкция по его эксплуатации. Осуществлен комплекс мероприятий по внедрению результатов исследований в производство и учебный процесс. Экономические расчеты показали, что применение аппарата для тендеризации мяса с помощью УЗК на мясоперерабатывающем производстве является целесообразным и эффективным инвестиционным проектом, который может быть реализован как в новообразованных линиях производства мясных продуктов, так и на уже действующих предприятиях. В первой ситуации выполняются все условия, которые выдвигаются к критериям экономической эффективности инвестиций: чистая приведенная прибыль является положительной и составляет 2896,34 тыс. грн, срок окупаемости проекта составляет 3,6 месяца.

Ключевые слова: мясное сырье, ультразвук, ультразвуковая волна, рассеянная энергия ультразвука, структурно-механические показатели мясных фаршей.

ANNOTATION

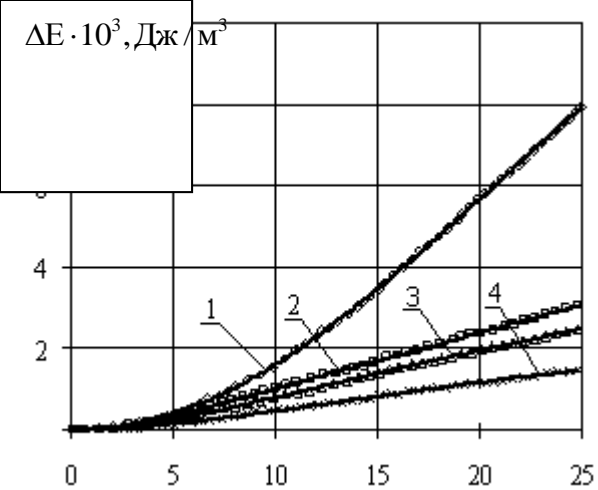
Chekanov N.A. Improvement of the process of a softening of meat by means of ultrasonic fluctuations and his hardware registration. – Manuscript.

Thesis for Candidate's degree by speciality 05.18.12 – Processes and Equipment for Food, Microbiological and Pharmaceutical Industries. – Kharkiv State University of Food Technology and Trade of the Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine, Kharkiv, 2011.

The dissertation is devoted improvement of process of a softening of meat by means of ultrasonic fluctuations.

In the dissertation are investigated influence of duration of ultrasonic processing, parameters of ultrasonic oscillatory system, the form of the working chamber, structurally-mechanical properties of raw materials on efficiency carrying out of process of a softening by means of ultrasonic fluctuations. Dependences of force and work of cutting, limiting pressure of shift, relative deformation of the softened meat raw materials on duration of ultrasonic processing are received. Effective parameters of process a softening meat by means of ultrasonic are defined: factor of loading of the working chamber $\leq 0,7$; frequency – 22 kHz; time process – $(12...16) \cdot 60$ s; volume of the working chamber – $3 \cdot 10^{-3} \text{m}^3$; weight of slices of meat – $\leq 0,15$ kg. The device is developed for a softening of meat by means of ultrasonic fluctuations. The complex of actions for introduction of results of researches in manufacture is carried out.

Keywords: meat raw materials, ultrasound, an ultrasonic wave, energy of ultrasound which has dissipated, structurally-mechanical indicators of mincemeat.



Підписано до друку 22.02.2011 р. Формат 60x90/16. Папір офс. Друк офс.
Обл.-вид. арк. 1,0 Ум.-друк. арк. 1,1. Тираж 100 прим. Замовл. №88

Харківський державний університет харчування та торгівлі,
вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.

ДОД ХДУХТ, вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051