

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ

СКРИПНИК ВЯЧЕСЛАВ ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 001.8.641.53.09:541.526

**НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ
ПРОЦЕСІВ І ОБЛАДНАННЯ КОНДУКТИВНОГО ЖАРЕННЯ
НАТУРАЛЬНИХ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий
консультант:

доктор технічних наук, професор
Черевко Олександр Іванович,
Харківський державний університет
харчування та торгівлі, ректор,
професор кафедри процесів, апаратів
та автоматизації харчових виробництв

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Ощипок Ігор Миколайович,
Львівська комерційна академія,
завідувач кафедри харчових технологій
та готельно-ресторанного бізнесу

доктор технічних наук, професор
Василенко Сергій Михайлович,
Національний університет харчових технологій,
завідувач кафедри теплоенергетики
та холодильної техніки

доктор технічних наук, професор,
Шапорев Валерій Павлович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри хімічної техніки
та промислової екології

Захист відбудеться « 8 » червня 2016 року о 10⁰⁰ 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. Однією з основних проблем економіки України в сучасних ринкових умовах є низька енергоефективність технологічних процесів. Енергоефективність є однією з головних інтегральних характеристик стану та розвитку економіки, паливно-енергетичного комплексу й енергетичного господарства. Енергоефективність – це ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів на таких стадіях життєвого циклу продукції: проектування та розроблення технічних вимог, розроблення продукції, виробництво, контроль, проведення випробувань і обстежень, експлуатація, утилізація. Енергоефективність інколи називають «п'ятим» видом палива через те, що ефективне використання енергії – це використання її в меншій кількості для забезпечення такого ж рівня енергетичного забезпечення технологічних процесів у виробництві.

Харчова промисловість є важливою галуззю економіки України, і їй притаманні такі ж самі недоліки, хоча за 2007–2011 рр. енергоефективність харчової промисловості зросла на 6,5% – з 38,4 до 44,9% від рівня Євросоюзу за рахунок упровадження нових методів виробництва, сучасного обладнання та контролю якості продукції. З огляду на це, мінімальний потенціал енергозбереження в харчовій промисловості можна оцінити в 55,1% від поточного енергоспоживання.

Жарення виробів із м'яса є одним із найбільш розповсюджених процесів теплової обробки, до характерних особливостей якого можна віднести значні втрати маси (до 11...35%) і питому витрату теплоти (до 1000...1300 кДж/кг). Енергоефективність цього процесу багато в чому залежить від способу підведення теплоти й особливостей конструкції обладнання та не може бути високою, оскільки такий процес потребує підтримання високотемпературного режиму (423...473 К), а апарати для його реалізації характеризуються значною тепловою напругою поверхонь нагріву (до 45 кВт/м²).

Вагомий внесок у вирішення питань удосконалення та підвищення енергоефективності процесу та обладнання для жарення харчових продуктів і покращення якості готових виробів зробили такі вітчизняні та зарубіжні вчені, як М.І. Беляєв, О.І. Черевко, В.М. Михайлов, С.О. Большаков, К.Д. Железняк, І.О. Рогов, О.С. Ратушний, О.О. Соляков, Е.Г. Розанцев, Т. Sugimura, S.A. Felton, G.Z. Liao, G.Y. Wang, X.L. Xu та ін.

Аналіз розвитку обладнання для реалізації кондуктивного жарення та літературних джерел із цієї тематики показує, що питанню енергоефективності самого процесу й апаратів для його реалізації, а також підвищенню виходу і безпеці готових виробів приділяється недостатньо уваги.

Процес кондуктивного жарення м'яса має і ресурсні обмеження: для жарення придатні лише визначені частини туш забійних тварин: вирізка, спинна і поперекова частини, верхній і внутрішній шматки тазостегнової частини, які складають у великої рогатої худоби (ВРХ) не більше 10...20%. Саме у цих частинах сполучна тканина являє собою тонку та ніжну сітку, яка складається переважно з колагенових волокон. Інші частини туш (шийна, тазостегнова та лопаткова) містять значно

більше сполучної тканини, тому не придатні для кондуктивного жарення і використовуються для виготовлення дрібношматкових напівфабрикатів.

Щорічно поголів'я ВРХ і свиней в Україні зменшується в середньому на 4,5%, унаслідок чого ресурсна база процесу кондуктивного жарення значно звужується, що негативно впливає на вартість напівфабрикатів. Для покращення ситуації Уряд України з 2007 р. здійснює імпорт м'ясної сировини з різних країн світу (Бразилії, Польщі, Німеччини та ін.). Як правило, вартість імпортованої сировини з урахуванням мита нижча за вітчизняну, а її якість – невисока і суттєво впливає на енергоефективність процесів теплової обробки. Крім того, не виключена можливість наявності в м'ясній сировині іноземного походження вірусу сказу і слідів генномодифікованих організмів (ГМО) через використання кормів із ГМО.

У зв'язку із цим набуває особливої значущості актуальна науково-прикладна проблема низької енергетичної ефективності, невисокого виходу готового продукту, недостатньої ресурсної бази процесу кондуктивного жарення м'яса. Вирішення цієї проблеми потребує творчого використання як основних законів фундаментальної науки, так і сучасних наукових досягнень у галузі виробництва харчової продукції, та має ґрунтуватися на розробленні високоефективних прогресивних процесів та обладнання, що дозволяють підвищити їх енергоефективність та економно витратити продовольчі ресурси.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота спрямована на реалізацію завдань, сформульованих у Комплексній державній програмі енергозбереження України і виконувалася відповідно до тематичних планів наукових досліджень кафедри технологічного обладнання харчових виробництв і торгівлі Вищого навчального закладу Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі» у межах тем №293/09 (0110U002269) «Інтенсифікація технологічних процесів з використанням різних фізичних методів з метою енергозбереження при обробці харчових продуктів. Розробка вимог до апаратів» та №0110U002268 «Дослідження ефективності процесів термобаричної обробки харчових продуктів. Розробка вимог до конструкції апаратів», а також Харківського державного університету харчування та торгівлі за темою №1-15БО (0115U001114) «Розробка інноваційних технологій оздоровчих харчових продуктів на основі рослинної сировини і оптимізація процесів та обладнання для її виробництва» на замовлення МОНУ.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення науково обґрунтованих енерго- та ресурсозбережних процесів та обладнання для кондуктивного жарення м'яса.

Задачі досліджень:

- науково обґрунтувати та розробити нову методикою оцінки енергоефективності процесів і обладнання кондуктивного жарення м'яса;
- провести аналіз енергоефективності існуючих процесів і обладнання кондуктивного жарення м'яса за новою методикою;
- на основі даних аналізу енергоефективності науково обґрунтувати напрями інтенсифікації процесу кондуктивного жарення м'яса та сформулювати технологічні вимоги до обладнання для його реалізації;

- науково обґрунтувати вплив фізичної та електрофізичної дії на інтенсифікацію, енерго- та ресурсозбереження процесу кондуктивного жарення м'яса;

- визначити закономірності масопереносу в м'ясі під дією електричного струму, теплового потоку від нагрівача, надлишкового тиску та їх комбінованою дією;

- визначити закономірності перебігу процесів тепло- та тепломасопереносу під час кондуктивного жарення м'яса під впливом зазначених факторів та науково обґрунтувати аналітичну і розробити теоретичну теплову моделі;

- розробити науково обґрунтовані енерго- та ресурсоефективні технологічні процеси виробництва жарених порційних натуральних м'ясних виробів та оцінити їх якість;

- розробити обладнання для реалізації запропонованих процесів кондуктивного жарення під дією фізичних і електрофізичних методів, скласти проектну документацію та передати її на виробничі підприємства для організації випуску дослідно-експериментальних партій обладнання, дослідити його функціональні можливості, визначити його техніко-експлуатаційні та показники енергоефективності;

- оцінити соціально-економічну ефективність науково-технічних розробок і здійснити заходи із упровадження їх у виробництво.

Об'єкт дослідження – процеси кондуктивного жарення м'яса під впливом фізичних і електрофізичних методів, тепло- і тепломасопереносу під час жарення та обладнання для їх реалізації.

Предмет дослідження – напівфабрикати м'ясних натуральних порційних виробів, у т. ч. з високим вмістом сполучної тканини, готові вироби й апарати для кондуктивного жарення м'яса.

Методи дослідження – теоретичні методи дослідження енергоефективності, тепло- і масопереносу, а також сучасні методи вимірювання теплотехнічних, теплофізичних, масообмінних, структурно-механічних, фізико-хімічних та мікробіологічних показників.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вирішенні науково-прикладної проблеми низької ефективності використання енергетичних і матеріальних ресурсів під час кондуктивного жарення м'ясних виробів, безпечних для організму людини.

В основу теоретичних і експериментальних досліджень покладено наукову концепцію, яка полягає у створенні умов для інтенсифікації теплопереносу шляхом використання під час кондуктивного жарення м'ясних натуральних виробів різних фізичних і електрофізичних методів – електричного струму в поєднанні зі стисненням, стиснення у функціонально замкненому об'ємі або у функціонально замкнених ємкостях, що забезпечують підвищення енергоефективності процесу кондуктивного жарення, режиму ресурсозбереження та отримання безпечних для організму людини жарених натуральних м'ясних виробів. На підставі проведених теоретичних і експериментальних досліджень вперше:

– розроблено методику аналізу енергетичної ефективності процесів і апаратів кондуктивного жарення на основі сумісного використання першого та другого законів термодинаміки з урахуванням необоротності реальних робочих процесів за тепловим, ексергетичним і енергетичним коефіцієнтами корисної дії (ККД), коефіцієнтом ефективності процесу та питомою витратою електроенергії;

– на основі теоретичних досліджень сформульовано технологічні вимоги до процесів і апаратів для кондуктивного жарення м'яса, у т. ч. з високим вмістом сполучної тканини (ВВСТ), з урахуванням попередження утворення в м'ясних виробках гетероциклічних амінів (ГА);

– розроблено нову методику кількісного визначення ефективного кінетичного коефіцієнта процесу переносу речовини в м'ясі під дією електричного струму, теплового потоку, надлишкового тиску та їх комбінованою дією та встановлено закономірності виникнення потоку речовини в м'ясі, а також вплив тиску на теплопровідність м'яса;

– теоретично й експериментально обґрунтовано чинники інтенсифікації і параметри процесу жарення м'яса під дією електричного струму та м'яса з ВВСТ у функціонально замкненому об'ємі (ФЗО) під дією надлишкового тиску;

– на основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблено нову методику визначення коефіцієнтів теплопередачі та тепловіддачі у поверхневих шарах м'яса під час кондуктивного жарення під дією надлишкового тиску у ФЗО та дією електричного струму;

– обґрунтовано аналітичну та розроблено теплову моделі процесів двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму і м'яса з ВВСТ під дією надлишкового тиску у ФЗО.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці:

– процесу кондуктивного жарення м'яса з ВВСТ у ФЗО і процесу жарення м'яса під дією електричного струму та раціональних режимів їх здійснення;

– обладнання для реалізації цих процесів;

– проектної документації на виготовлення нового обладнання;

– технологічних ланцюгів індустріального використання розроблених апаратів;

– пристроїв для визначення ефективного кінетичного коефіцієнта процесу переносу речовини в м'ясі під дією теплового потоку, електричного струму та їх комбінованою дією.

Реалізація результатів роботи. Проектну документацію на розроблене обладнання впроваджено на підприємстві у ВАТ «Полтавський машинобудівельний завод», м. Полтава (акти від 29 березня 2010 р. і від 25 лютого 2014 р.); матеріали наукових розробок дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі» і Харківського державного університету харчування та торгівлі.

Особистий внесок здобувача полягає в: аналізі стану проблеми, формулюванні наукової концепції та мети досліджень, постановці задач досліджень, складанні програм досліджень і керівництві їх реалізацією; участі у проведенні патентного пошуку та наукових експериментів, обробленні дослідних даних, узагальненні

отриманих результатів і формулюванні висновків, підготовці матеріалів для публікації та складанні заявок на винаходи, розробці проектної документації та проведенні заходів із упровадження науково-технічних розробок у виробництво.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були схвалені на міжнародних, всеукраїнських, міжвузівських науково-практичних і науково-технічних конференціях і семінарах: «Товари ХХІ сторіччя» (м. Полтава, 24–25 жовтня 2002 р.); «Проблеми техніки і технології харчових виробництв» (м. Полтава, 8–9 квітня 2004 р.); «Нові ресурсо- та енергозберігаючі технології харчових виробництв» (м. Полтава, 1–2 березня 2007 р.); «Актуальні проблеми харчування: технологія і обладнання, організація і економіка» (м. Святогірськ, 12–14 вересня 2007 р., 9–11 вересня 2009 р.); «Прогресивні технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарства» (м. Полтава, 23–24 квітня 2009 р.); «Актуальні проблеми безпеки харчування» (м. Донецьк, 14–15 жовтня 2010 р.); «Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі» (м. Харків, 18 листопада 2010 р.); «Техника и технология пищевых производств» (Республіка Білорусь, м. Могильов, 27–28 квітня 2011 р.); «Теория и практика инновационного развития кооперативного образования и науки» (Російська Федерація, м. Белгород, 14–16 квітня 2010 р.); «Нові технології і обладнання харчових виробництв» (м. Полтава, 26 квітня 2012 р., 23 травня 2013 р., 20 березня 2014 р.); «Харчові технології - 2012» (м. Одеса, 27–28 вересня 2012 р.); «Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарства і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг» (м. Харків, 18 жовтня 2012 р.); «Автоматизація управління та інтелектуальні системи» (м. Полтава, 28–29 листопада 2013 р.); «Актуальні проблеми та перспективи розвитку харчових виробництв, готельно-ресторанного та туристичного бізнесу» (м. Полтава, 20–21 листопада 2014 р.); «Перспективи розвитку м'ясної, молочної і олієжирової галузей у контексті євроінтеграції» (м. Київ, 24–25 березня 2015 р.); «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті» (м. Київ, 23–24 квітня 2015 р.); «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність» (м. Харків, 14 травня 2015 р.); на 3-му Північно-східному європейському конгресі харчування «Global and Local Challenges in Food Science and Technology» (м. Брасов, Румунія, 20–23 травня 2015 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 55 наукових праць, у тому числі: 1 монографія; 23 статті, серед яких 16 – у затверджених наукових фахових виданнях України (з них 4 – у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз), 4 – у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, із якого підготовлено дисертацію (з них 3 – у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз); 1 патент України на винахід, 4 патенти України на корисну модель; 26 матеріалів конференцій, семінарів та тез доповідей.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел з 281 найменування, у

тому числі 34 іноземних джерел, і додатків. Дисертація викладена на 272 сторінках і містить 62 рисунки та 37 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраного напрямку дисертаційної роботи. Сформульовану мету і задачі дослідження, викладено наукову концепцію, новизну і практичне значення одержаних результатів, наведено відомості щодо їх реалізації та апробації.

У **першому розділі** «Аналіз процесу кондуктивного жарення м'яса, обладнання для його реалізації та їх енергетичної ефективності» за публікаціями попередників проаналізовано процеси, що відбуваються у м'ясі, у т.ч. з ВВСТ, під час кондуктивного жарення, обладнання для його реалізації, а також вплив електрофізичних методів обробки сировини в процесах жарення і сушіння на тривалість перебігу процесів і вихід готового продукту. Проаналізовано існуючі методики оцінки енергоефективності, на основі чого зроблено висновок про недостатність оцінки енергоефективності процесу кондуктивного жарення в апаратах для його реалізації за питомою витратою енергоносія, зокрема електроенергії (b_e), і тепловим ККД (η_m), визначеним за енергетичним і тепловими балансами на основі першого закону термодинаміки.

Баланс енергії теплового апарата (тепловикористання) можна записати як

$$Q_p = G \cdot q + \sum Q_{\text{втрата}}, \quad (1)$$

де Q_p – енергія, яка підводиться в апарат; G – маса сировини; q – питома витрата теплоти на обробку одиниці маси сировини; $\sum Q_{\text{втрата}}$ – сумарні втрати теплоти.

Ступінь використання теплоти оцінюють тепловим ККД

$$\eta_m = \frac{Q_{np}}{Q_p} = 1 - \frac{\sum Q_{\text{втрата}}}{Q_p}, \quad (2)$$

де Q_{np} – витрата теплоти на обробку продукту.

Значення теплового ККД для реального процесу нічого не говорять про ступінь використання можливостей, які були, тобто враховуються втрати, зумовлені лише внутрішньою необоротністю процесу, але ніяк не враховуються втрати, обумовлені кінцевою різницею температур між джерелом теплоти та середовищем, що нагрівається (робочим тілом), і між середовищем і продуктом.

Використання енергії Q_p можна представити у вигляді енергетичних потоків, які в сумі знову дають величину Q_p :

$$Q_p = W_m^e + \sum W_m^h, \quad (3)$$

де W_m^e – енергія, що передається робочому тілу й використана в технологічному процесі; $\sum W_m^h$ – невикористана працездатна енергія, що залишає апарат.

Зовнішня необоротність призводить до недовикористання температурного потенціалу теплоти (втрати працездатності), який у випадку термодинамічно більш

досконалої організації процесу підведення теплоти дозволив би отримати більшу роботу. Усі енергетичні процеси, що здійснюються в технологічних теплових апаратах, протікають необоротно, причому кожна необоротність процесу є причиною зниження його ефективності.

Оскільки процес перетворення енергії в технологічному процесі необоротний, то для енергії W_m^e можна записати

$$W_m^e = G \cdot q + \sum W_{\text{втрам}}, \quad (4)$$

де $\sum W_{\text{втрам}}$ – сумарні втрати енергії під час термічної обробки внаслідок необоротного тепло- та масопереносу.

Величина енергії W_m^e більше ентальпії $G \cdot q$, оскільки для здійснення технологічного процесу необхідно підтримувати термічний потенціал, свідомо більш високий, ніж отримуваний із вихідним продуктом.

Тоді енергія, що підводиться в апарат, буде складати

$$Q_p = G \cdot q + \sum W_{\text{втрам}} + \sum W_m^e. \quad (5)$$

Частка втрат енергії за термічної обробки внаслідок необоротного тепло- і масопереносу буде складати

$$\beta = \frac{\sum W_{\text{втрам}}}{Q_p}, \quad (6)$$

а ефективність використання енергії, що підводиться, в необоротному технологічному процесі, відповідно

$$\eta_{\text{ef}} = 1 - \frac{\sum W_{\text{втрам}}}{Q_p} = 1 - \beta. \quad (7)$$

Загальний коефіцієнт ефективності апарата, або енергетичний коефіцієнт корисної дії, дорівнює

$$\eta_{\text{ен}} = \eta_m \cdot \eta_{\text{ef}}. \quad (8)$$

Енергетичний ККД враховує як кількісні, так і якісні результати перетворення енергії, що підводиться. Однак оцінити величини коефіцієнтів можливо лише після залучення до аналізу ефективності процесів понять другого закону термодинаміки.

Ознаки та міра необоротності процесу встановлюється другим законом термодинаміки. Відповідно до нього передача енергії, за наявності кінцевої різниці потенціалів (температур, тиску, електричних потенціалів тощо), супроводжується втратами від необоротності процесу, що не враховується рівнянням енергетичного балансу. Таким чином, тепловий апарат, надзвичайно ефективний з позицій першого закону термодинаміки, виявляється недосконалим або малоефективним із позицій другого закону, і цю недосконалість можна оцінити ентропійним методом оцінки ефективності.

З урахуванням вищезазначеного зроблено висновок щодо актуальності розробки ексергетичного методу аналізу роботи апаратів на основі сумісного використання першого і другого законів термодинаміки з урахуванням якості енергоресурсів і необоротності реальних робочих процесів.

Проведений критичний аналіз дозволив сформулювати основну мету та завдання досліджень.

У **другому розділі** «Наукове обґрунтування аналітичної та розробка теплової моделі енерго- і ресурсоефективних процесів кондуктивного жарення м'яса» сформульовано технологічні вимоги до процесу кондуктивного жарення м'яса, у т. ч. з ВВСТ, з метою попередження утворення в поверхневих шарах м'яса гетероциклічних амінів – шкідливих канцерогенних речовин, розглянуто системну задачу, пов'язану з розробкою рекомендацій щодо підвищення енергетичної і ресурсної ефективності процесів виробництва жарених порційних виробів з натурального м'яса на основі нової комплексної методики оцінки енергоефективності.

У теплових процесах кожне явище необоротності є причиною безповоротної втрати ексергії.

Поняття ексергії є досить зручним для аналізу ступеня термодинамічної досконалості того чи іншого теплового апарата.

Ексергетичний баланс відображує зменшення ексергії системи під час перебігу в ній необоротних процесів.

Втрати ексергії в апаратах для теплової обробки харчових продуктів складаються з:

- втрат ексергії через необоротність теплообміну між гріючим середовищем і виробом, що нагрівається;

- втрат ексергії через необоротність теплообміну між системою (апаратом, гріючим середовищем, продуктом) і навколишнім середовищем.

У технологічних апаратах, де отримання теплової енергії здійснюється шляхом перетворення електричної енергії на теплову (нагрівачі з омичним опором), ексергія електричної енергії завжди дорівнює кількості останньої:

$$P_{el} \cdot \tau = \Delta E. \quad (9)$$

Тому для електричних апаратів кондуктивного жарення з безпосереднім обігрівом робочої камери (поверхні) ексергобаланс можна представити у вигляді:

$$\Delta E = \Delta E_{\beta} + \Delta E_{втр}, \quad (10)$$

де ΔE_{β} – ексергія, що використовується на нагріву продукту в процесі кондуктивного жарення; $\Delta E_{втр}$ – загальні втрати ексергії.

Ексергетичний ККД η_{ex} є мірою ексергетичних втрат, які виникають унаслідок необоротності процесу нагріву продуктів. При цьому необхідно враховувати, що втрати від необоротності в процесі можуть бути внутрішніми (тепло- і масоперенос) і зовнішніми. Тому загальний вираз ексергетичного ККД має вигляд:

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{\sum \Delta E_{втр}}{\Delta E}, \quad (11)$$

де $\sum \Delta E_{втр}$ – сума втрат ексергії усіх видів.

Втрату ексергії на необоротний теплообмін (втрату працездатності) ΔE_{β} під час жарення продукту в апаратах для їх реалізації можна розрахувати за формулою:

$$\Delta E_{\beta} = G \cdot \nabla e = P \cdot \tau \cdot \left(\frac{T_{pn}^c - T_0}{T_{pn}^c} \right) - G \cdot c_{\rho} \cdot \frac{(T_v - T_0)^2}{T_v}, \text{ Дж}, \quad (12)$$

де G – маса продукту, що нагрівається в процесі жарення, кг; ∇e – втрата ексергії на необоротний теплообмін, Дж/кг; τ – тривалість процесу жарення, с; P – потужність електронагрівальних елементів апарата, Вт; T_{pn}^c – середньодинамічна (середньоінтегральна) температура верхнього джерела теплоти (робочої поверхні апарата), К; якщо температура робочої поверхні апарата не змінюється в процесі нагріву, то $T_{pn}^c = T_{pn}$; c_{ρ} – теплоємність продукту, Дж/(кг·К); T_v – середньооб'ємна температура продукту, К; T_0 – температура навколишнього середовища, К.

Втрату ексергії в навколишнє середовище стінками апарата можна розрахувати за формулою:

$$\nabla E_f = \sum_{i=1}^{i=n} \left[\alpha_i \cdot F_i \cdot \frac{(T_{cmi} - T_0)^2}{T_{cmi}} \cdot \tau \right], \text{ Дж}, \quad (13)$$

де α_i – коефіцієнт тепловіддачі від i -го елемента зовнішньої поверхні апарата до навколишнього середовища, Вт/(м²·К); F_i – площа i -го елемента поверхні апарата, м²; T_{cmi} – температура i -го елемента поверхні апарата, К.

Під час жарення на відкритій поверхні до втрат ексергії в навколишнє середовище потрібно віднести і втрати продуктом, що нагрівається; маються на увазі втрати тією частиною поверхні продукту, яка контактує з навколишнім повітрям (за умови підведення теплоти до продукту знизу й зверху втрати визначаються лише боковими поверхнями продукту):

$$\nabla E_f^{npod} = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \cdot F_i \cdot \frac{(T_{npod_i}^c - T_0)^2}{T_{npod_i}^c} \cdot \tau, \text{ Дж}, \quad (14)$$

де F_i – i -та поверхня продукту, що не контактує з поверхнями нагріву, м²; $T_{npod_i}^c$ – середньодинамічна (середньоінтегральна) температура i -ї поверхні продукту.

Втрату ексергії на нагрів рідини, що мігрує з продукту під час жарення і перетворюється на втрачену в навколишнє середовище пару, можна розрахувати за формулою:

$$\nabla E_{\gamma} = G \cdot (1 - z) \cdot \left(c_{\rho} \cdot \frac{(T_{\kappa} - T_0)^2}{T_{\kappa}} + r \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{T_{\kappa} - T_0}{T_0} \right), \text{ Дж}, \quad (15)$$

де z – вихід готового продукту; c_{ρ} – теплоємність вологи продукту, Дж/(кг·К); T_{κ} – температура кипіння рідини на поверхнях нагріву, К; r – теплота пароутворення, кДж/кг; ε_r – коефіцієнт фазового перетворення (відношення кількості вологи, що випаровувалася, до загальних втрат вологи продуктом).

Сумарна втрата ексергії всіх видів

$$\sum \Delta E_{втрат} = \Delta E_{\beta} + \Delta E_f + \Delta E_f^{npod} + \Delta E_{\gamma}, \text{ Дж}. \quad (16)$$

Ексергетичний ККД апарата

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{\Delta E_{\beta} + \Delta E_f + \Delta E_f^{nrod} + \Delta E_{\gamma}}{\Delta E} \quad (17)$$

або

$$\eta_{ex} = 1 - (\beta + f + f^{nrod} + \gamma), \quad (18)$$

де β , f , f^{nrod} , γ – відносні втрати ексергії на, відповідно, необоротний теплообмін, в навколишнє середовище стінками апарата, в навколишнє середовище поверхнями продукту й на нагрів рідини, що мігрує з продукту під час жарення та перетворюється на втрачену в навколишнє середовище пару.

Величина $(1 - \beta)$ являє собою відношення кількості теплоти, що передається продукту, до максимально можливої кількості теплоти, яке може віддати робоче тіло (гріюче середовище, поверхня) і відповідає коефіцієнту ефективності η_{ef} процесу (7).

З рівняння (18) ексергетичний ККД має вигляд:

$$\eta_{ex} = \eta_{ef} - (f + f^{nrod} + \gamma). \quad (19)$$

Таким чином, нова комплексна методика оцінки енергоефективності процесу кондуктивного жарення м'яса в апаратах для його реалізації заснована на визначенні й аналізі таких показників: питомої витрати електроенергії b_e (кВт·год/кг), теплового η_m , ексергетичного η_{ex} , енергетичного ККД η_{en} і коефіцієнта ефективності процесу η_{ef} .

Проаналізовано фактори інтенсифікації процесу кондуктивного жарення, до яких можна віднести: збільшення поверхні контакту напівфабрикату з поверхнею жарення за рахунок забезпечення ефективного контакту і, як наслідок, збільшення коефіцієнта теплопередачі від поверхні жарення до продукту; зміну теплофізичних властивостей продукту під час жарення за рахунок впливу фізичних (тиску) і електрофізичних (електричний струм, тиск) методів.

Дія факторів інтенсифікації має за мету досягнення в м'ясі товщиною δ_m ефективного шару товщиною δ_{ef} , меншого за товщину м'яса, тобто $\delta_{ef} < \delta_m$, який має теплопровідні властивості рідини (м'ясного соку). Досягти ефективного шару м'яса δ_{ef} під час двостороннього жарення можливо шляхом його стиснення між поверхнями жарення із зусиллям, яке забезпечить надлишковий тиск водяної пари у поверхневих шарах м'яса на рівні граничного p_{ep} , за якого капіляри та пори м'яса заповнені речовиною (рідиною), або за рахунок виникнення потоку речовини $J_p = V_p / (S_m \cdot \tau)$, де V_p – об'єм речовини, що переноситься через перетин м'яса S_m у одиницю часу τ під дією електричного струму змінної частоти.

Використання електричного струму змінної частоти під час двостороннього жарення, за умови утворення всередині м'яса потоку речовини J_p і, як наслідок, ефективного шару δ_{ef} , дозволить значно скоротити тривалість процесу та підвищити вихід готового продукту. За таких умов пара в кожній зі скорінок просмажування, яка утворюється внаслідок дії теплового потоку від нагрівачів Q ,

почне відігравати роль проміжного теплоносія: спочатку буде здійснюватися випарування води з поверхонь менісків капілярів і утворення надлишкового тиску пари за рахунок зусилля стиснення, потім – її конденсація на поверхнях менісків, а в м'ясі утворюється ефективний шар, менший за його товщину. Теплопровідність ефективного шару значно вище теплопровідності м'яса і практично дорівнює теплопровідності м'ясного соку.

В умовах комбінованого впливу потоку теплоти від нагрівача й електричного струму на зразок м'яса об'єм зневодненого шару з боку поверхні нагріву буде збільшуватися на величину V_p . Він складається з об'ємів порожнин, заповнених паром, у зразку м'яса в кожному з капілярів, тобто

$$V_p = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot h_i + \frac{\pi \cdot d_i^3}{12} \right), \text{ м}^3, \quad (20)$$

де d_i – діаметр окремого капіляра, м; h_i – висота заповненою паром порожнини в окремому капілярі, м; n – кількість капілярів на одиницю площі в зразку м'яса, шт./м².

Знаючи закон розподілення капілярів і пор, пористість тіла та їх частку, можна визначити висоту h_i :

$$h_i = \frac{V_p - \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\pi \cdot d_i^3}{12}}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}}, \text{ м}, \quad (21)$$

звідки товщина ефективного шару м'яса

$$\delta_{ef_i} = \delta_m - h_i, \text{ м}. \quad (22)$$

Під час двостороннього жарення м'яса з ВВСТ відбувається підведення теплоти лише до тієї поверхні продукту, яка безпосередньо контактує з поверхнями нагріву. До бокової поверхні продукту підведення теплоти у цьому випадку не забезпечується та її нагрів здійснюється лише за рахунок розповсюдження теплоти всередині продукту. Крім того, через неї продукт втрачає теплоту.

Вирішити питання більш повного використання підведеної поверхнями нагріву теплової енергії та забезпечення підведення теплоти до поверхонь нагріву можливе за умов організації процесу жарення, за якого пара, яка раніше втрачалася разом із теплотою пароутворення в навколишнє середовище, у максимальній кількості залишалася б у зоні контакту з боковими поверхнями продукту. У цьому випадку у разі контакту пари з боковою поверхнею продукту, яка має протягом усього процесу жарення меншу температуру, ніж температура пари, буде відбуватися її конденсація. Це можливо, якщо створити функціонально замкнений об'єм і процес жарення здійснювати за умови розміщення в ньому м'ясних виробів. Крім того, витіснення повітря паром з робочої зони функціонально замкненого об'єму буде сприяти значному збільшенню коефіцієнта тепловіддачі від пари до бічної поверхні продукту.

Раціональним зусиллям стиснення продукту під час жарення можна вважати таке значення, яке забезпечить утворення тиску водяної пари в скоринках просмажування і видалення повітря (або його стиснення) із капілярів і пор м'яса, але не призведе до незворотної деформації. За таких умов буде збільшуватися коефіцієнт теплопровідності до значень, близьких до коефіцієнта теплопровідності рідини (м'ясного соку). Перевищення раціонального зусилля стиснення, внаслідок якого (через руйнування структури м'яса) буде відбуватись витискання вологи з нього, буде негативно впливати на ефективність процесу жарення та якість кінцевого продукту. Крім того, під час двостороннього жарення за надлишкового тиску пари на рівні граничного в м'ясі з ВВСТ фактично відсутнє утворення потоку речовини, що призведе до збереження нативної вологи і, як наслідок, створить умови для достатнього гідролізу колагену.

Межею інтенсифікації процесу двостороннього жарення м'яса з ВВСТ в умовах стиснення у ФЗЄ є величина коефіцієнта теплопровідності рідини в м'ясі за заданого тиску.

У разі нежорсткої фіксації поверхонь нагріву видалення вологи з продукту буде компенсуватися стисненням м'яса за висотою (товщиною). Тому можна стверджувати, що тиск пари в контактній зоні підтримується постійним, і тому температура буде дорівнювати температурі насиченої пари при створеному тиску.

Увесь процес двостороннього жарення як під тиском за наведених умов, так і під дією електричного струму, можна поділити на три стадії (рис. 1):

– перша (*I*) стадія – стадія прогрівання незначної частини поверхневих шарів напівфабрикату від початкової температури T_0 до температури випарування води T_k – є нетривалою в часі і відбувається практично миттєво. Під час першої стадії відбувається різке зменшення температури поверхонь жарення над і під напівфабрикатом;

– друга (*II*) стадія є основною в процесі жарення з точки зору необхідних енергетичних витрат, під час якої передача теплоти в поверхневих шарах виробу здійснюється через парові прошарки і закінчується за температури у центрі напівфабрикату близько 338...343 К, коли м'ясо з в'язкопластичних набуває властивостей, притаманних твердому тілу, через закінчення теплових перетворень білків, що входять у склад м'яса;

– третя (*III*) стадія – утворення скоринки просмажування на поверхні продукту внаслідок збільшення температури. Тривалістю третьої стадії можна регулювати органолептичні властивості готового виробу: збільшуючи її, можна

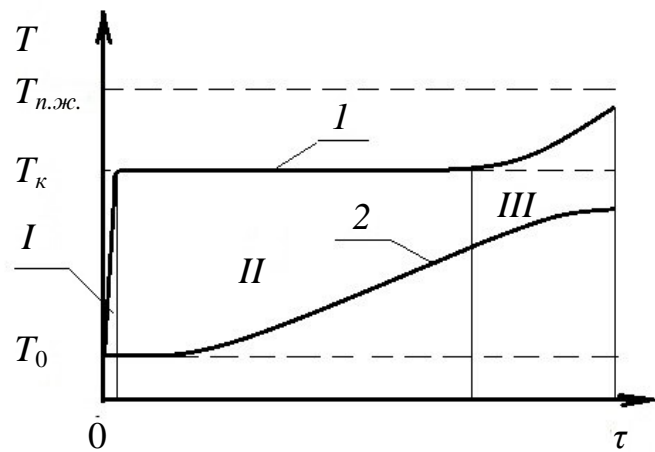


Рис. 1. Теоретична кінетика температури поверхневих *I* і центральних шарів *2* продукту в процесі двостороннього жарення за дії фізичних і електрофізичних методів

досягати більшого ступеня просмажуваності поверхневих шарів; у результаті зменшення тривалості третьої стадії стає можливим отримання готового продукту високої якості, можливо дієтичного, оскільки при цьому не буде утворюватися зневоднена скоринка або буде незначною.

За таких умов аналітичною моделлю процесу двостороннього жарення під дією фізичних і електрофізичних методів є відоме рівняння:

$$\tau_0 = \frac{Fo \cdot \delta_m^2}{a}, \quad (23)$$

де a – температуропровідність продукту, $\text{м}^2/\text{с}$; Fo – критерій Фур'є.

Для визначення коефіцієнтів теплопередачі від поверхонь жарення та тепловіддачі до м'яса під час двостороннього жарення під дією фізичних і електрофізичних методів запропоновано розглядати фактичний процес, що відбувається в менісках капілярів у поверхневих шарах виробу на основі термодинамічних процесів в T - S -діаграмі для водяної пари. Випарування пари здійснюється з поверхні менісків із утворенням надлишкового тиску, який забезпечується вагою верхньої поверхні жарення або зусилля стиснення, за умов нежорсткої фіксації верхньої та нижньої поверхонь жарення. У разі перевищення надлишкового тиску пари ваги верхньої поверхні жарення або зусилля стиснення відбувається проривання пари з периферійних капілярів у навколишнє середовище. Різке скидання надлишку пари призводить до миттєвої конденсації її залишків на поверхнях менісків капілярів. Після конденсації пари в периферійний капіляр із сусіднього з периферійним меніска відбувається проривання в нього пари внаслідок різниці надлишкового тиску. Периферійний меніск унаслідок цього отримує певну кількість пари (відповідно, кількість теплоти) і після досягнення надлишкового тиску p , унаслідок подальшого випарування рідини з поверхні меніска, транзитом скидається в навколишнє середовище. Таким чином, уже після першого термодинамічного процесу як у периферійному, так і в усіх інших капілярах коефіцієнт тепловіддачі від поверхні жарення до поверхні рідини менісків капілярів α_1 дорівнює коефіцієнту тепловіддачі від пари до поверхні рідини менісків α_2 , тобто $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, а коефіцієнт теплопередачі від поверхні жарення до рідини поверхні меніска буде дорівнювати $k = \alpha/2$, або

$$k = \frac{0,05776 \cdot r \cdot d_k}{\Delta \bar{T}^c \cdot \Delta v \cdot \tau_u}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}), \quad (24)$$

де r – повна теплота конденсації (випарування) пари за атмосферного тиску, Дж/кг; d_k – діаметр окремого капіляра, м; $\Delta \bar{T}^c$ – середньоінтегральна різниця температур (середньоінтегральний температурний напір) в процесі жарення, К; Δv – зміна (зменшення, збільшення) питомого об'єму пари у разі повного випарування або конденсації за атмосферного тиску, $\text{м}^3/\text{кг}$; τ_u – тривалість одного термодинамічного процесу, с.

Середньоінтегральна різниця температур $\Delta \bar{T}^c$ у процесі жарення залежить від питомої поверхневої потужності поверхні. Очевидно, що зменшення питомої

поверхневої потужності поверхні жарення призведе до зменшення $\overline{\Delta T^c}$, і навпаки, збільшення питомої поверхневої потужності призведе до збільшення $\overline{\Delta T^c}$. Можна стверджувати, що для забезпечення здійснення термодинамічних процесів під час другої стадії за сталої різниці $\overline{\Delta T^c}$ необхідна питома поверхнева потужність кожної поверхні жарення становитиме

$$P_{num} = k \cdot \overline{\Delta T^c} = \frac{0,05776 \cdot r \cdot d_{\kappa}}{\Delta v \cdot \tau_{\kappa}}, \text{ Вт/м}^2. \quad (25)$$

За відомої питомої поверхневої потужності P_{num} , середньоінтегральній різниці температур $\overline{\Delta T^c}$ і тривалості одного термодинамічного процесу τ_{κ} з формули (25) діаметр капіляра в процесі жарення становитиме

$$d_{\kappa} = \frac{17,3125 \cdot P_{num} \cdot \Delta v \cdot \tau_{\kappa}}{r}, \text{ м}. \quad (26)$$

Розробка теплової моделі двостороннього жарення м'яса під впливом фізичних і електрофізичних методів базувалася на обґрунтуванні аналітичної моделі, зокрема на теоретичній кінетиці температури поверхневих і центральних шарів продукту в процесі двостороннього жарення під дією фізичних і електрофізичних методів.

Двостороннє жарення м'яса під впливом фізичних і електрофізичних методів можна розглядати як процес нагріву нескінченної пластини і через це можна розглядати лише одну просторову координату.

Відомо, що загальне рішення рівняння теплопровідності можна отримати методом Фур'є, яке аналітично являє собою нескінченний ряд. Однак для рішення прикладних задач цей вираз не має реального (зручного) використання через те, що ряд чисел не визначає внутрішніх зв'язків, а саме впливу другої стадії жарення (рис. 1).

Найбільш доцільним для розв'язання цієї задачі є комп'ютерні (експериментальні) моделювання і розрахунок для побудови залежностей температури від ефективної товщини зразка м'яса δ_{ef} у тривалості τ .

Нами використано апроксимацію на основі методу найменших квадратів, а як цільовий функціонал оптимізації – середньоквадратичне відхилення (СКВ).

Для розв'язання найбільш простим і зручним комп'ютерним інструментарієм є табличний процесор MS Excel, в який вбудована популярна оптимізаційна програма Solver. При цьому був використаний такий алгоритм або метод пошуку розв'язання, як нелінійний метод узагальненого знижувального градієнта, який використовується для гладких нелінійних задач.

Таким чином, були отримані загальні закономірності відносно змін компонент теплопровідності. Для їх побудови були розглянуті деякі класи функцій, які дозволяють описувати ці компоненти, а саме поліном другого порядку, модифікована експонента, S-подібні криві, а саме крива Гомперца та логістична крива (крива Перла-Ріда). Як базові були обрані поліном другого порядку та логістична крива.

Обґрунтовані фактори інтенсифікації, аналітична та розроблена теплова моделі процесу двостороннього жарення під дією фізичних і електрофізичних методів стали підставою для проведення експериментальних досліджень.

У **третьому розділі** «Методи досліджень та експериментальні установки» наведено характеристику сировини, методики та методи досліджень теплотехнічних, теплофізичних, масообмінних, структурно-механічних, фізико-хімічних, мікробіологічних та органолептичних показників.

Для дослідження процесів перенесення речовини в м'ясі під дією електричного струму, теплового потоку від нагрівача і під їх комбінованою дією були створені оригінальні експериментальні установки на базі модернізованого пристрою Перрена у трьох модифікаціях і відповідні методики.

Для дослідження процесів двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму і м'яса з ВВСТ у ФЗЄ в умовах стиснення було створено оригінальні експериментальні стенди (рис. 2 і 3) і відповідні методики.

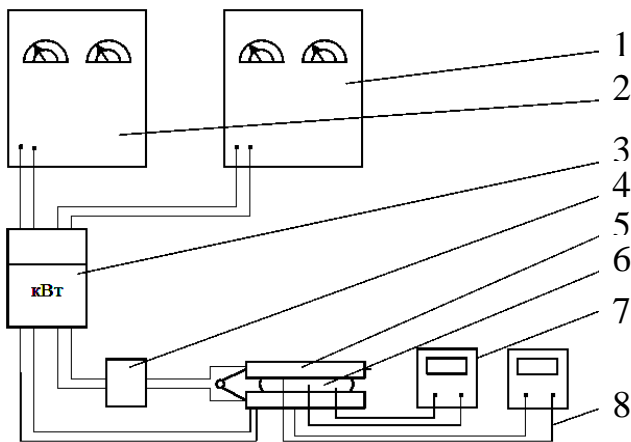


Рис. 2. Схема експериментального стенда для дослідження тривалості процесу двостороннього жарення під дією електричного струму:

1 – ЛАТР живлення електричним струмом м'яса з набором вимірювальних приладів (вольтметр, амперметр); 2 – ЛАТР живлення нагрівальних елементів з набором вимірювальних приладів (вольтметр, амперметр); 3 – перетворювач частоти струму; 4 – лічильник електроенергії «Енергія-9»; 5 – апарат для двостороннього жарення під дією електричного струму; 6 – дослідний зразок; 7 – пристрій цифровий ТРЦ-02 «Універсал плюс»; 8 – термопари ХК-0,5

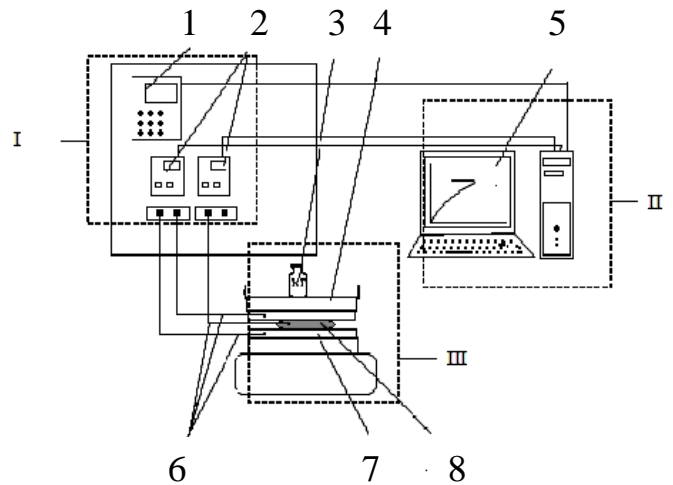


Рис. 3. Схема експериментального стенда для проведення досліджень процесу двостороннього жарення під тиском:

І – комплект вимірювальних пристроїв (лічильник електроенергії багатofункціональний типу «Енергія-9»; пристрій цифровий ТРЦ-02 «Універсал плюс»; II – ПЕОМ; III – розроблений апарат для двостороннього жарення під тиском; 1 – електронний лічильник електроенергії; 2 – терморегулятори ТРЦ 0,2; 3 – гиря; 4, 7 – верхня та нижня поверхні нагріву; 5 – ПЕОМ; 6 – дослідний зразок м'яса; 8 – термопари ХК-0,5

Для визначення тривалості процесів випарування та конденсації водяної пари в поверхневих шарах виробів із м'яса під час двостороннього жарення під дією фізичних і електрофізичних методів здійснювали запис звуку під час жарення за розробленою методикою, а отримані звукові файли аналізувалися в програмах-аналізаторах звуку Fabfilter Pro-Q² і Spectrum Player.

Для дослідження якості виробів після двостороннього жарення під дією фізичних і електрофізичних методів за структурно-механічними, фізико-хімічними, мікробіологічними й органолептичними показниками використовувалися стандартні методики.

Вміст колагену в м'ясі з ВВСТ до і після жарення за кількісним вмістом амінокислоти оксипроліну визначали за допомогою розробленої експериментальної установки.

У **четвертому розділі** «Розробка та дослідження енерго- і ресурсоефективних процесів кондуктивного жарення м'яса під дією електричного струму» за розробленою комплексною методикою та результатами досліджень розраховані й проаналізовані показники енергоефективності процесу кондуктивного жарення м'яса в таких апаратах: сковороді СЕСМ-0,2, плиті ПЕ-0,17-01 з наплитною функціональною ємністю GN1/1, настільній плиті з однією інфрачервоною склокерамічною конфоркою SEB і наплитній сковороді фірми Tefal, плиті для безпосереднього жарення на робочій поверхні (грилі для безпосереднього жарення) GH-VEG-833 («Gastrorag»), апараті для двостороннього жарення (контактному грилі) Elio L («Nuova Simonelli»), апараті для двостороннього жарення в умовах стиснення ПУСКУ-1. Це дало можливість сформулювати напрями підвищення енергетичної ефективності й ресурсозбереження процесу кондуктивного жарення.

Експериментально визначено закономірність виникнення потоку речовини під дією електричного струму протягом $\tau = 0 \dots 15$, с (у діапазоні параметрів: напруга випрямленого електричного струму $U = (0 \dots 36)$, В; товщина м'яса $\delta_m = (0,005 \dots 0,015)$, м; площа дослідного зразка $S_m = (3,46 \dots 12,62) \cdot 10^{-4}$, м²) у вигляді:

$$J_{pe}^V = \frac{V_{pe}}{S_m \cdot \tau} = k_e \cdot k_s \cdot U \cdot \delta_m^{-0,728} \cdot \frac{(p_{zp} - p)}{p_{zp}}, \text{ м/с}, \quad (27)$$

або

$$J_{pe}^G = \frac{V_{pe} \cdot \rho_m}{S_m \cdot \tau} = k_e \cdot k_s \cdot U \cdot \delta_m^{-0,728} \cdot \frac{(p_{zp} - p)}{p_{zp}} \cdot \rho_m, \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}. \quad (28)$$

де V_{pe} – об'єм перенесеної речовини під дією електричного струму, м³; k_e – ефективний кінетичний коефіцієнт процесу перенесення речовини в м'ясі під дією електричного струму, м^{1,728}/(с·В); k_s – коефіцієнт пропорційності, який враховує співвідношення між площею контакту перфорованого електрода та площею зразка м'яса ($k_s = S_k / S_m$; $0 < k_s \leq 1$); p – прикладений надлишковий тиск, Па; p_{zp} – гранично допустиме для даного зразка м'яса значення надлишкового тиску, за якого починає руйнуватися сполучна тканина, Па (залежить від віку та статі тварин, виду

м'яса, терміну післязабійного зберігання, умов заморожування і дефростації, умов харчування і напування тварин та ін.); ρ_m – густина м'яса, кг/м³.

У ході досліджень спостерігалось зневоднення та зростання температури шару м'яса, що прилягав до позитивного електрода, що свідчить про випарування рідини з поверхонь менісків і утворення градієнта надлишкового тиску, який і ставав рушійною силою масопереносу.

Експериментально визначено закономірність виникнення потоку речовини під дією теплового потоку від нагрівача протягом $\tau = 0...15$, с (в діапазоні параметрів: тепловий потік від нагрівача $Q = 72$ Вт; товщина м'яса $\delta_m = (0,005...0,015)$, м; площа дослідного зразка $S_m = (3,46...12,62) \cdot 10^{-4}$, м²), у вигляді:

$$J_{p_m}^V = \frac{V_{p_m}}{S_m \cdot \tau} = k_m \cdot Q \cdot \delta_m^{-0,272} \cdot \frac{(P_{zp} - P)}{P_{zp}}, \text{ м/с}, \quad (29)$$

або

$$J_{p_m}^G = \frac{V_{p_m} \cdot \rho_m}{S_m \cdot \tau} = k_m \cdot Q \cdot \delta_m^{-0,272} \cdot \frac{(P_{zp} - P)}{P_{zp}} \cdot \rho_m, \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}, \quad (30)$$

де V_{p_m} – об'єм перенесеної речовини за дії теплового потоку від нагрівача, м³; k_m – ефективний кінетичний коефіцієнт процесу перенесення речовини в м'ясі під впливом теплового потоку, м^{1,272}/(с·Вт).

Проведений статистичний і кореляційний аналіз закономірностей (27–30) довів, що існує достовірний як кореляційний, так і функціональний зв'язок між величинами, що в них входять.

Подібність законів виникнення масопровідності і теплопровідності дозволяє визначити вплив прикладеного надлишкового тиску на коефіцієнт теплопровідності м'яса:

$$\lambda_m = \lambda_{m0} + (\lambda_p - \lambda_{m0}) \cdot \frac{P}{P_{zp}}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}, \quad (31)$$

де λ_{m0} – коефіцієнт теплопровідності м'яса за атмосферного тиску, Вт/(м·К); λ_p – коефіцієнт теплопровідності рідини (м'ясного соку), Вт/(м·К).

Експериментально визначено закономірність виникнення потоку речовини під комбінованим впливом електричного струму та теплового потоку від нагрівача протягом $\tau = 0...2$ с у вищенаведеному діапазоні параметрів у вигляді:

$$J_p^V = \frac{V_p}{S_m \cdot \tau} = (k_m \cdot Q \cdot \delta_m^{-0,272} + k_e \cdot k_s \cdot U \cdot \delta_m^{-0,728}) \cdot \frac{(P_{zp} - P)}{P_{zp}}, \text{ м/с}, \quad (32)$$

або

$$J_p^G = \frac{V_p \cdot \rho_m}{S_m \cdot \tau} = (k_m \cdot Q \cdot \delta_m^{-0,272} + k_e \cdot k_s \cdot U \cdot \delta_m^{-0,728}) \cdot \frac{(P_{zp} - P)}{P_{zp}} \cdot \rho_m, \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}. \quad (33)$$

Результати експериментальних досліджень впливу напруги $U = (0...36)$, В (за постійних частоти струму 50 Гц та надлишкового тиску на продукт (800...1100), Па) на тривалість двостороннього жарення під дією електричного струму зразків,

виготовлених із м'яса найдовшого м'яза свинини ($\delta_m = 0,01$ м), та вихід готового продукту (рис. 4) засвідчили, що збільшення величини напруги електричного струму U під час двостороннього жарення призводить до скорочення тривалості процесу теплової обробки τ та підвищення виходу готового продукту z за лінійним законом. Так, за напруги електричного струму 36 В тривалість процесу жарення скорочується майже в 1,8 разу – від 128 до 72 с, а вихід готового продукту збільшується з 81% до 85% порівняно зі звичайним двостороннім жаренням.

У ході експерименту було встановлено, що застосування електричного струму впливає на органолептичні показники готового продукту. Так, у разі підвищення напруги електричного струму понад 30 В спостерігається поява неприємного запаху та присмаку електролізу, сірого забарвлення поверхні виробу. У разі використання напруги електричного струму в діапазоні 6...27 В описані вище ознаки були відсутні.

Оскільки м'ясо під час двостороннього жарення під дією електричного струму виконує роль провідника, воно додатково отримує теплоту за рахунок власної електропровідності в кількості $(0,5...4,0) \cdot 10^3$ Дж, що становить від 1 до 10% від корисно витраченої на процес жарення теплоти, що залежить від напруги підведеного електричного струму.

Таким чином, беручи до уваги погіршення органолептичних показників готових виробів, що піддавалися жаренню за напруги 36 В, для подальших досліджень було обрано напругу електричного струму 27 В.

Результати експериментальних досліджень тривалості двостороннього жарення під дією електричного струму зразків, виготовлених із м'яса найдовшого м'яза свинини, товщиною $\delta_m = 0,01$ м та виходу готового продукту, від частоти електричного струму в діапазоні $f = (0,5...50)$ Гц, за постійної напруги 27 В та надлишкового тиску пари (800...1000) Па наведено на рис. 5. Збільшення частоти електричного струму під час двостороннього жарення призводить до зростання тривалості процесу теплової обробки τ та зниження виходу готового продукту z за нелінійним законом. Частота електричного струму 0,5 Гц сприяє найкращому тепло-і масопереносу всередині м'яса і забезпечує у м'ясі утворення ефективного шару δ_{ef} з високим коефіцієнтом теплопровідності та здійснення термодинамічних процесів водяної пари в менісках капілярів під час руху рідини до поверхні жарення.

Результати експериментальних досліджень тривалості двостороннього жарення під дією електричного струму зразків, виготовлених із м'яса найдовшого м'яза свинини, товщиною 0,01 м та виходу готового продукту від величини

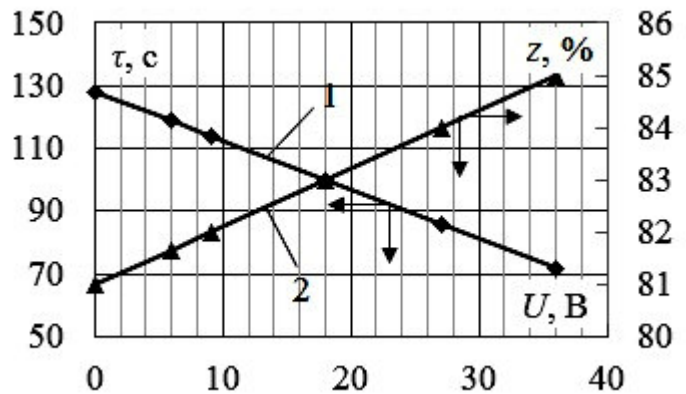


Рис. 4. Тривалість двостороннього жарення м'яса τ (1) і вихід готового продукту z (2) залежно від напруги U за постійної частоти електричного струму $f = 50$ Гц

прикладеного тиску $p = (0...4800)$ Па за постійної напруги 27 В та частоти 0,5 Гц електричного струму наведено на рис. 6.

Збільшення величини прикладеного до зразків тиску p нелінійно впливає на тривалість процесу жарення τ та вихід готового продукту z . Мінімальне значення тривалості жарення становить 73 с і максимальний вихід готового продукту – 91,3% за надлишкового тиску в діапазоні (800...1100) Па. Підвищення тиску з 1000 до 4800 Па призводить до збільшення тривалості процесу жарення в 1,3 разу до 95 с та зменшення виходу готового продукту на 8,3%.

Результати експериментальних досліджень тривалості двостороннього жарення під дією електричного струму зразків, виготовлених з найдовшого м'яса свинини, довжиною 0,05 м, шириною 0,04 м і товщиною 0,01 м та виходу готового продукту від величини питомого теплового потоку на одиницю площі дослідного зразка м'яса $q = (10...60) \cdot 10^3$ Вт/м² за постійної напруги електричного струму 27 В і його частоти 0,5 Гц та надлишкового тиску водяної пари (800...1100) Па наведено на рис. 7.

Збільшення величини питомого теплового потоку q під час двостороннього жарення під дією електричного струму нелінійно впливає на тривалість процесу τ та вихід готового продукту z .

Мінімальна тривалість процесу жарення – 75 с зразків площею 0,002 м²; максимальний вихід готового продукту 91,5% спостерігається за питомого теплового потоку $(38,5...41,5) \cdot 10^3$ Вт/м².

Зі збільшенням величини теплового потоку понад $41,5 \cdot 10^3$ Вт/м² тривалість жарення значно збільшується, що, очевидно, можна пояснити перегріванням пари в поверхневих шарах продукту, що контактують з поверхнями жарення, та утворенням в зоні контакту суцільного прошарку перегрітої пари, який значно погіршує теплопередачу від поверхонь жарення до м'яса.

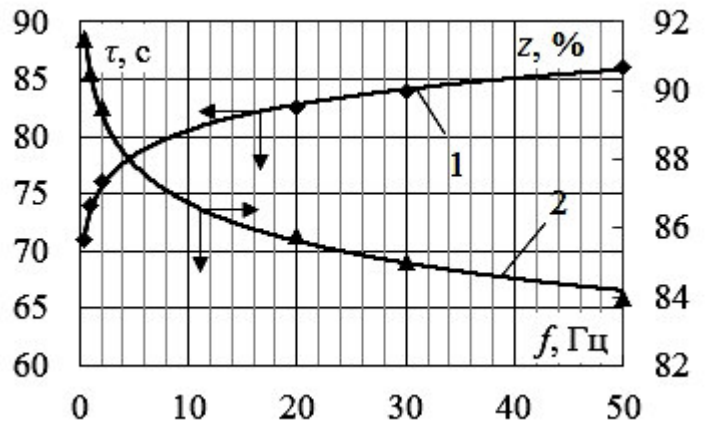


Рис. 5. Тривалість двостороннього жарення м'яса τ (1) і вихід готового продукту z (2) залежно від частоти електричного струму f за постійної напруги $U = 27$ В

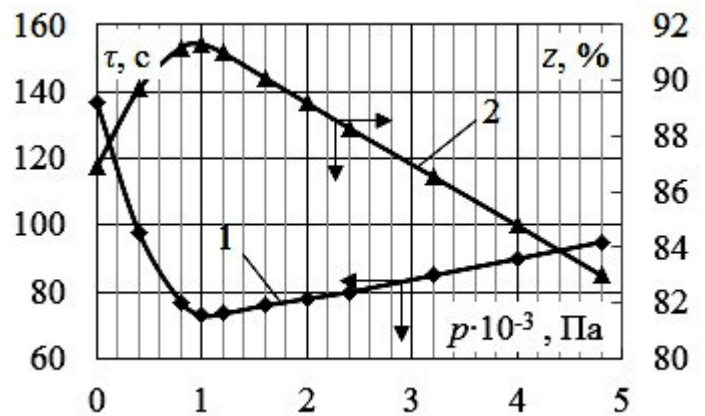


Рис. 6. Тривалість двостороннього жарення м'яса τ (1) і вихід готового продукту z (2) залежно від надлишкового тиску p за постійної напруги $U = 27$ В і частоти електричного струму $f = 50$ Гц

Безпосередньо визначити тривалість одного термодинамічного процесу τ_u в кожному окремому капілярі практично неможливо. Побічно її можна визначити із спектрограми частот звуку під час жарення. Для цього було проведено запис звуку під час двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму з раціональними параметрами (випрямлена напруга $U = 27$ В, частота струму 0,5 Гц, надлишковий тиск пари $p = 1100$ Па, питома поверхнева потужність кожної поверхні жарення 38500 Вт/м²), а отриманий файл у форматі wav аналізувався за допомогою програми Spectrum Player.

Звук за спектром частот у програмі Spectrum Player під час двостороннього жарення розподіляється на чотири основних піддіапазони: (2,5...4) кГц, (4,5...6) кГц, (6,5...7,5) кГц, (8...9) кГц, що, очевидно, відповідає 4-м групам за діаметром капілярів – $(122...195) \cdot 10^{-6}$ м, $(81...108) \cdot 10^{-6}$ м, $(65...75) \cdot 10^{-6}$ м, $(54...60) \cdot 10^{-6}$ м, а тривалість термодинамічних процесів в капілярах становить від $111 \cdot 10^{-6}$ до $400 \cdot 10^{-6}$ с.

Коефіцієнт теплопередачі за наведених умов за середньоінтегральної різниці температур (температурному напорі) $\Delta \bar{T}_c = 8$ К, співвідношенні $d_k / \tau_u = 0,488$ м/с, $\Delta v = 1,653$ м³/кг

становив $k = 4813$ Вт/(м²·К). Коефіцієнт тепловіддачі від пари до рідини менісків у кожному з двох поверхневих шарів становив $\alpha_2 = 2 \cdot k = 9626$ Вт/(м²·К). Відповідно до цього загальний коефіцієнт тепловіддачі від пари до рідини менісків, з урахуванням двостороннього підведення теплоти, становив $\alpha = 19252$ Вт/(м²·К).

За таких умов тривалість першої і другої стадії процесу двостороннього жарення під дією електричного струму розрахована за формулою (23), при коефіцієнті температуропровідності $a = 16,8 \cdot 10^{-8}$ м²/с, критерії $Bi = 104,5$, критеріях $Fo^{(0)} = 0,087$ і $Fo'' = 0,95$ становить 73 с, що цілком збігається з експериментальними даними.

Тривалість двостороннього жарення під дією електричного струму виробів із замороженого м'яса з початковою температурою 255 К становить 150 с, тобто удвічі більше, ніж із охолодженого м'яса, при виході 93% проти 91%.

Таким чином, на основі проведених досліджень можна стверджувати, що раціональними параметрами процесу двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму є: напруга електричного струму, що подається на м'ясо,

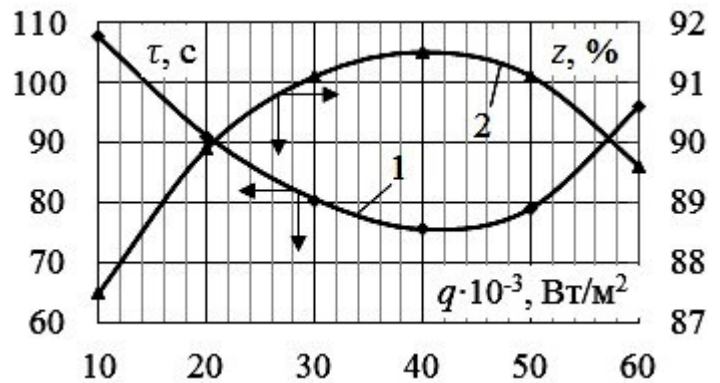


Рис. 7. Тривалість двостороннього жарення м'яса τ (1) і вихід готового продукту z (2) залежно від питомого теплового потоку q за постійної напруги $U = 27$ В і частоти електричного струму $f = 50$ Гц

– $U = 27$ В, його частота – $f = 0,5$ Гц, прикладений надлишковий тиск – $p = (800...1100)$ Па, питомий тепловий потік – $q = (38,5...41,5) \cdot 10^3$ Вт/м².

Якість виробів із м'яса після двостороннього жарення за раціональних параметрів за фізико-хімічними, мікробіологічними й органолептичними показниками виявилася не гіршою, ніж за умови традиційного жарення.

У **п'ятому розділі** «Розробка та дослідження енерго- і ресурсоефективних процесів кондуктивного жарення м'яса з високим вмістом сполучної тканини під дією надлишкового тиску у функціонально замкненому об'ємі» досліджено фактичну кінетику температури в м'ясі, поверхонь жарення та поверхневих шарів виробу під час двостороннього жарення під граничним тиском.

Закономірностями (30) або (31) обґрунтовується значення тиску під час двостороннього жарення м'яса з ВВСТ у ФЗЄ. Для відсутності умов виникнення потоку речовини в м'ясі з ВВСТ у процесі жарення, що буде сприяти збільшенню коефіцієнта теплопровідності м'яса згідно з (31) і, як наслідок, зменшенню тривалості процесу, необхідно прикладати зусилля стиснення для виникнення надлишкового тиску пари на рівні граничного p_{gr} . Для підтвердження обґрунтування було проведене експериментальне визначення впливу тиску під час двостороннього жарення м'яса з ВВСТ у ФЗЄ на тривалість процесу і вихід готового продукту. Досліджуваний діапазон надлишкового тиску знаходився в межах $(12...40) \cdot 10^3$ Па. Граничний надлишковий тиск для м'яса становив $32 \cdot 10^3$ Па. Результати дослідження наведені на рис. 8.

Як бачимо з рис. 8, під час двостороннього жарення під тиском м'яса з ВВСТ спостерігається прямо пропорційне зменшення тривалості жарення в діапазоні $(12...28) \cdot 10^3$ Па у 1,75 разу, з 210 до 120 с, а у діапазоні $(28...40) \cdot 10^3$ Па майже не змінюється. У разі збільшення тиску з $12 \cdot 10^3$ до $32 \cdot 10^3$ Па вихід готового продукту збільшується на 7% – до 82%, а у разі подальшого підвищення тиску до $40 \cdot 10^3$ Па вихід зменшується на 6%.

Найвищий середній бал за органолептичними показниками отримали вироби, оброблені під надлишковим тиском $32 \cdot 10^3$ Па. Вони відрізнялися більшою соковитістю, мали більш забарвлену скоринку та менш жорстку консистенцію. Найменшу кількість балів отримали вироби, що пройшли

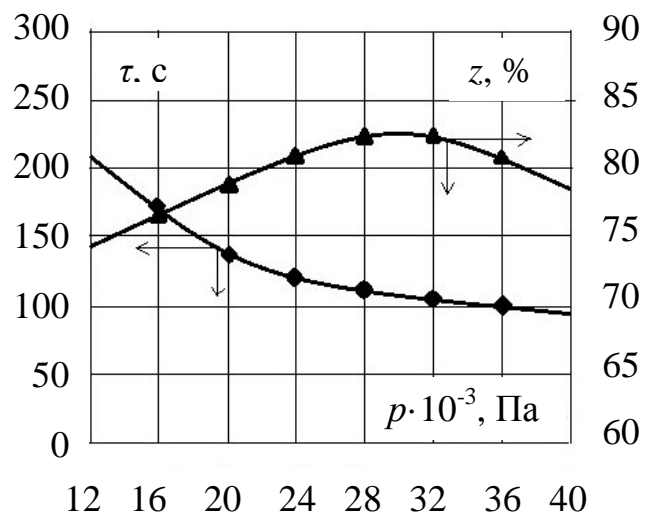


Рис. 8. Тривалість процесу τ та вихід готового продукту z залежно від надлишкового тиску p під час двостороннього жарення м'яса яловичини з ВВСТ ($T_{п.ж.} = 423$ К; $\delta_m = 0,01$ м)

теплову обробку під надлишковим тиском – $24 \cdot 10^3$ та $36 \cdot 10^3$ Па. Консистенція виробів менш соковита і більш жорстка, що пояснюється більшими втратами вологи в процесі жарення.

Таким чином, результати експериментального визначення впливу тиску під час двостороннього жарення на тривалість процесу і вихід готового продукту підтверджують необхідність проведення процесу за раціонального надлишкового тиску на рівні граничного p_{ep} . За граничного тиску для м'яса в експерименті $p_{ep} = 32 \cdot 10^3$ Па проведенням процесу жарення під надлишковим тиском $32 \cdot 10^3$ Па досягається найменша тривалість (120 с) і найбільший вихід готового продукту (82%).

Аналіз спектрограми звуку, записаної під час двостороннього жарення м'яса з ВВСТ під надлишковим тиском $32 \cdot 10^3$ Па на рівні граничного за питомого теплового потоку $q = 38,5 \cdot 10^3$ Вт/м² у програмі Spectrum Player, дозволив визначити діапазон частот звуку $(3...20) \cdot 10^3$ Гц, що відповідає діапазону тривалості термодинамічних процесів $(50...333) \cdot 10^{-6}$ с, і діапазон діаметрів капілярів $(24...160) \cdot 10^{-6}$ м.

Коефіцієнт теплопередачі за наведених умов за середньоінтегральної різниці температур (температурному напорі) $\Delta T^c = 8$ К, співвідношенні $d_k/\tau = 0,482$ м/с, $\Delta v = 1,653$ м³/кг становив $k = 4750$ Вт/(м²·К). Коефіцієнт тепловіддачі від пари до рідини менісків у кожному з двох поверхневих шарів становив $\alpha_2 = 2 \cdot k = 9500$ Вт/(м²·К). Відповідно до цього загальний коефіцієнт тепловіддачі від пари до рідини менісків становив $\alpha_2 = 19200$ Вт/(м²·К).

Для перевірки адекватності запропонованої теплової моделі фактичну кінетику температури в м'ясі під час двостороннього жарення під граничним тиском привели у нормалізований (безрозмірний) вигляд (рис. 9а).

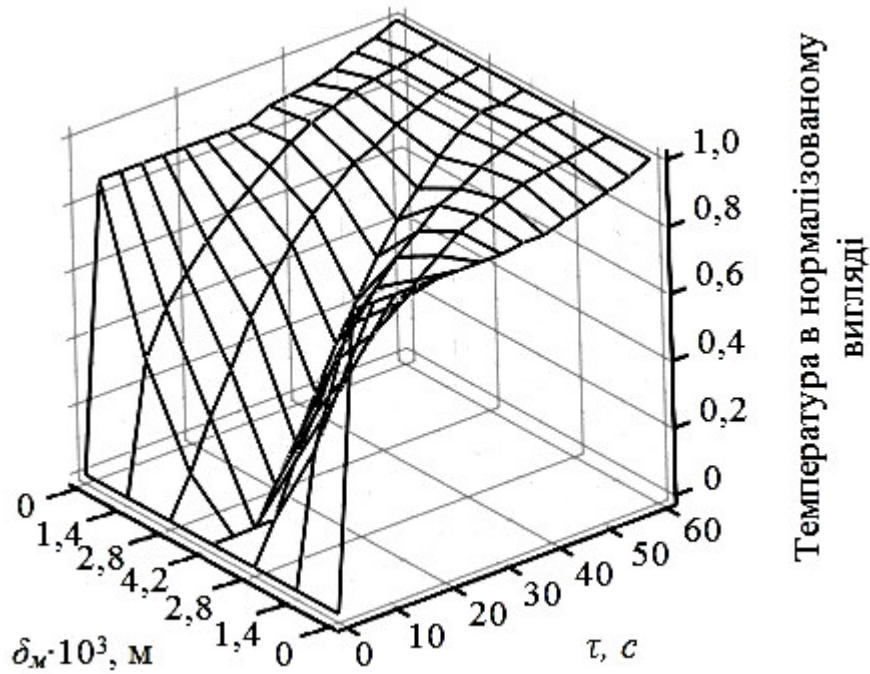
Для моделювання функції теплопровідності виконувалися вибір структури й оцінка їх параметрів. У подальшому будувалися функції тривалості процесу від температури у вигляді логістичних кривих і функції температури від ефективної товщини м'яса у вигляді полінома 2-го порядку.

Графічна тривимірною ілюстрацією теоретичної кінетики температури в м'ясі за тепловою моделлю (функції від 2-х змінних $T(\tau, \delta_{ef})$) в нормалізованому (безрозмірному) вигляді наведена на рис. 9б.

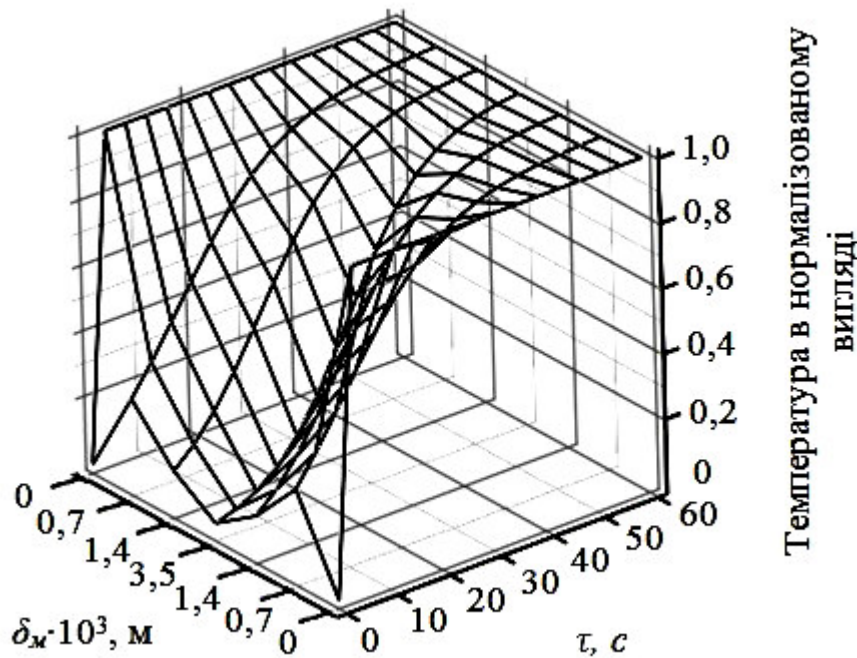
Співставлення результатів експериментального визначення динаміки температури в м'ясі під час двостороннього жарення в умовах стиснення та за запропонованою тепловою моделлю процесу двостороннього жарення в умовах стиснення довело те, що відносна похибка теплової моделі не перевищує 10%, що для інженерних розрахунків є цілком припустимим. Аналогічний вигляд мають теплові моделі процесу двостороннього жарення м'яса з ВВСТ у ФЗЄ в умовах стиснення та процесу двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму.

За таких умов тривалість першої та другої стадії процесу двостороннього жарення під надлишковим тиском розрахована за формулою (23), при коефіцієнті температуропровідності $a = 13,56 \cdot 10^{-8}$ м²/с, критерії $Bi = 124,44$, критеріях

$Fo^{(0)} = 0,11$ і $Fo^{II} = 1,035$ становить 103 с, що цілком збігається з експериментальними даними.



a



б

Рис. 9. Фактична *a* і теоретична за запропонованою тепловою моделлю *б* кінетика температури в нормалізованому вигляді в м'ясі під час двостороннього жарення м'яса ВВСТ під граничним тиском

Проведені дослідження з визначення ступеня переходу колагену в глютин дозволяють підтвердити доцільність проведення процесу двостороннього жарення м'яса з ВВСТ в умовах стиснення у ФЗЄ.

У зразках м'яса з ВВСТ після двостороннього жарення в умовах стиснення та двостороннього жарення в умовах стиснення у ФЗЄ кількість гідролізованого колагену становила, відповідно, 30,4 та 33,2%. Опір розрізуванню готових виробів під час двостороннього жарення в умовах стиснення у ФЗЄ, порівняно із сирим, зменшився у 2,43 разу, із традиційним жаренням на сковороді – у 1,7 разу, із двостороннім жаренням в умовах стиснення без ФЗЄ – у 1,3 разу. Різниця опору розрізуванню після варення протягом 1 год та після двостороннього жарення в умовах стиснення у ФЗЄ для зразків з лопаткової частини майже не відрізняється. Останнє має велике значення, оскільки для доведення до кулінарної готовності зразків м'яса з лопаткової частини суттєву роль відіграє розм'якшення сполучної тканини.

Визначення мікробіологічних та органолептичних показників довело високу якість готових виробів після двостороннього жарення м'яса з ВВСТ в умовах стиснення.

Таким чином, раціональними параметрами процесу двостороннього жарення м'яса з ВВСТ в умовах стиснення у ФЗЄ є: температура поверхонь жарення або ФЗЄ – 423 К, надлишковий тиск – $p_{сп} = (31...33) \cdot 10^3$ Па, питомий тепловий потік – $(38,5...41,5) \cdot 10^3$ Вт/м².

У **шостому розділі** «Розробка енерго- та ресурсозбережного обладнання для кондуктивного жарення м'яса» наведено технічні вимоги та завдання на проектування конструкцій енергетично ефективного і ресурсозбережного нового обладнання для реалізації запропонованих процесів, їх будову та принцип дії.

Апарат для двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму (рис. 10) дозволяє реалізувати процес двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму за раціональними параметрами.

Апарат складається з корпусу, на якому розташовані верхня та нижня кришки із закріпленими на них верхньою та нижньою поверхнями жарення. Поверхні жарення виконані з алюмінію з шорсткістю 0,63 мкм. За периметром поверхонь розташована канавка для збору та зливу м'ясних соків і жиру, що виділяються в процесі жарення. Нагрів поверхонь жарення здійснюється електричними фольговими нагрівачами НЕФ ГК-1,1 загальною потужністю 2,2 кВт, які кріпляться на екрануювальному листі та забезпечують максимальну нерівномірність температурного поля не більше 5 К. Регулювання та підтримання робочої температури здійснюється для нижньої та верхньої плити окремо за допомогою біметалевих термостатів.

Нижня кришка розміщена безпосередньо на корпусі апарата, а верхня приєднується за допомогою двох пар нерухомих і рухомих кронштейнів, які дозволяють за допомогою ручки повертати її на кут до 180° відносно нижньої для завантаження продукту та проведення санітарної обробки. Стиснення м'яса під час жарення здійснюється за рахунок ваги верхньої платформи, яка забезпечує надлишковий тиск водяної пари в поверхневих шарах виробу 800...1100 Па за

одночасного завантаження трьох напівфабрикатів. Підведення електричного струму до продукту здійснюється через понижувач напруги та перетворювач частоти струму.

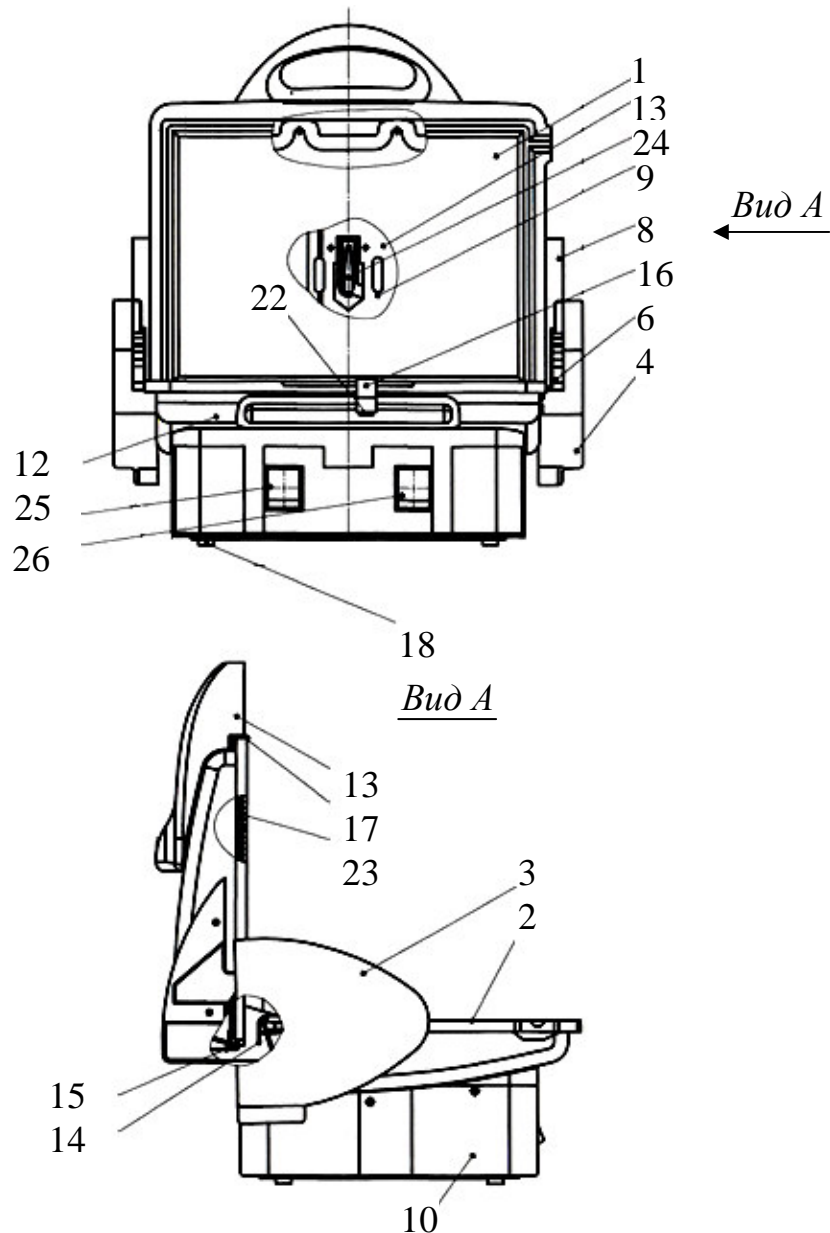


Рис. 10. Схема дослідно-промислового зразка апарата для двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму:

1, 2 – верхня та нижня поверхня жарення; 3, 4 – правий і лівий корпус кронштейна; 6 – кронштейн правий; 8 – кронштейн рухомий правий; 9 – екранувальний лист; 10 – корпус; 11 – ручка; 12, 13 – нижня та верхня кришка; 14, 15 – ліва та права скоба; 16, 17 – фіксатор плит жарення; 18 – ніжка; 22 – гайка кріплення фіксатора; 23 – електричний нагрівальний елемент; 24 – термостат біметалевий; 25 – вимикач подачі напруги на нагрівальні елементи; 26 – вимикач подачі напруги до поверхонь жарення

На передній панелі корпусу розташовано два кнопкових вимикачі керування: перший – для подачі напруги на нагрівальні елементи; другий – для подачі електричного струму на поверхні для жарення м'яса. Апарат розташовується на чотирьох опорних ніжках.

Живлення апарата здійснюється через двожильний кабель з проводом заземлення. Усі струмоведучі частини апарата заземлені, апарат має плавкий запобіжник на випадок короткого замикання.

Апарат для двостороннього жарення м'яса з ВВСТ у ФЗЄ в умовах стиснення дозволяє реалізувати процес двостороннього жарення м'яса з ВВСТ у ФЗЄ в умовах стиснення за раціональними параметрами. Принципова схема апарата для двостороннього жарення м'яса з ВВСТ у ФЗЄ в умовах стиснення наведена на рис. 11.

Апарат складається з верхньої та нижньої поверхонь нагріву, обігрівання кожної з яких здійснюється двома плоскими фольговими нагрівачами – НЕФ ГК-1,1. Верхня поверхня нагріву прикріплена до робочого стола з полірованої харчової нержавіючої сталі на шарнірі, який дозволяє за допомогою ручки повертати її на кут до 110° відносно нижньої поверхні нагріву для проведення санітарної обробки і жорстко фіксується на період жарення в горизонтальному положенні за допомогою фіксатора.

Робочий стіл закріплений на зварному каркасі. Нижня поверхня нагріву через чотири пружини прикріплена до площадки, яка спирається на встановлений на притискному пристрої мембранний МНС-тензодатчик. За допомогою притискного пристрою нижня поверхня нагріву апарата переміщується у вертикальній площині.

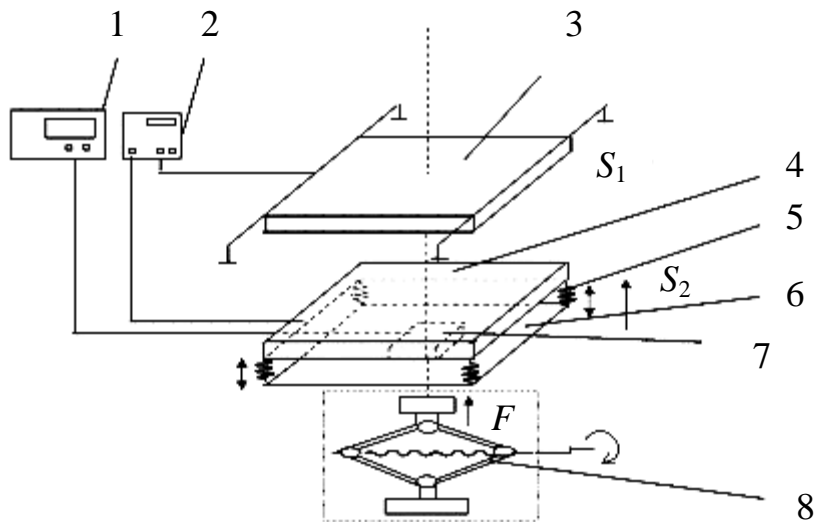


Рис. 11. Принципова схема апарата для двостороннього жарення під тиском:
 1 – індикатор зусилля стиснення; 2 – терморегулятор; 3, 4 – відповідно верхня та нижня поверхні нагріву апарата; 5 – пружини; 6 – площадка, на яку спираються пружини; 7 – тензодатчик; 8 – притискний пристрій

Використання пружин забезпечує підтримання сталого в часі надлишкового тиску водяної пари в поверхневих шарах продукту під час жарення. За допомогою тензодатчика в реальному часі визначається задане зусилля стиснення, яке відображується на індикаторі – ваговому терміналі КОДА. Необхідна температура поверхонь нагріву й підтримується на заданому рівні за допомогою двопозиційного терморегулятора ТРЦ-0,2, який фіксує та відображує сигнал від двох термопар ХК-0,5, зачеканених у кожній нагрівальній поверхні на глибині 0,00025 м.

Другий терморегулятор ТРЦ-0,2 фіксує та відображує сигнал від термометричного зонда (термопари ХК-0,5), який уводиться у центр напівфабрикату перед початком процесу жарення. Жарення м'яса може здійснюватися як безпосередньо на поверхнях нагріву апарата, так і у ФЗЄ. ФЗЄ становлять собою два деко: верхнє та нижнє.

Живлення апарата здійснюється через двожилий кабель з проводом заземлення. Усі струмоведучі частини апарата заземлені, апарат має плавкий запобіжник на випадок короткого замикання.

Наведені технічні характеристики розроблених апаратів, які визначалися у ході випробувань у виробничих вимогах, і результати органолептичної оцінки якості готових виробів після жарення.

У **сьомому розділі** «Енергетична, соціально-економічна ефективність та впровадження науково-технічних розробок у виробництво» наведено результати розрахунку показників енергетичної ефективності за запропонованою методикою (табл.). Як бачимо з табл., проведення процесу кондуктивного жарення в апараті для двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму (АДЖЕС) відрізняється високими показниками енергетичної ефективності. Апарат для двостороннього жарення м'яса з ВВСТ у ФЗЄ в умовах стиснення (АДЖУС) має показники енергетичної ефективності на рівні апарата Elio L – найближчого аналога, що, по-перше, пояснюється технологічним призначенням апарата і, по-друге, використанням ФЗЄ в процесі жарення, що призводить до необхідності збільшення температурного рівня поверхонь нагріву для забезпечення температури на поверхнях ФЗЄ не вище 423 К задля попередження утворення ГА.

Таблиця

Показники енергетичної ефективності розробленого обладнання

№ з/п	Найменування показника	АДЖЕС	АДЖУС
1	Питома витрата енергоносія, b_e , кВт·год/кг	0,132	0,260
2	Тепловий ККД, η_m	0,9436	0,8744
3	Ексергетичний ККД, η_{ex}	0,7255	0,6193
4	Коефіцієнт ефективності процесу, η_{ef}	0,8290	0,7540
5	Енергетичний ККД, η_{en}	0,7822	0,6593

Розраховано економічний ефект від упровадження в діяльність підприємств ресторанного господарства розробленого апарата для двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму, який полягає в істотній економії матеріальних і енергетичних ресурсів і становить від 1075,81 до 8976,44 грн на 1000 кг готових виробів відносно найближчих аналогів і 19799,13 грн відносно сковороди СЕСМ-0,2.

Соціальна ефективність від його впровадження полягає в забезпеченні високої якості та безпечності готових виробів, що досягається запобіганням утворення в них ГА; зниженні трудомісткості експлуатації розробленого апарата; покращенні умов праці персоналу через зниження температурного рівня поверхонь жарення, відповідного зменшення теплових викидів в навколишнє середовище.

Розроблено технологічний ланцюг виробництва смажених порційних натуральних м'ясних виробів з мінімальними витратами електроенергії та втратами вихідної сировини з охолоджених і заморожених напівфабрикатів і технологічну послідовність виробництва й реалізації напівфабрикатів смажених порційних натуральних м'ясних виробів високого ступеня готовності.

Економічна ефективність від упровадження апарата для двостороннього жарення м'яса з ВВСТ у ФЗЄ в умовах стиснення в діяльність підприємств ресторанного господарства полягає в істотній економії фінансових і матеріальних ресурсів за рахунок заміни сировини та становить не менше 20000,00 грн на 1000 кг готових виробів.

Соціальна ефективність від упровадження полягає в зниженні собівартості готових виробів із м'яса з ВВСТ і їх безпечності через упередження утворення ГА.

Здійснено заходи з упровадження науково-технічних розробок у виробництво шляхом передачі проектної документації на підприємство торгового машинобудування, апробації їх на науково-практичних конференціях і виробничих підприємствах.

Основні положення дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Вищого навчального закладу Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі» і Харківського державного університету харчування та торгівлі і використовуються під час викладання дисциплін «Технологічне обладнання галузі», «Процеси та апарати харчових виробництв», «Технологічне обладнання підприємств галузі», «Розрахунок і конструювання обладнання малих переробних і харчових виробництв» для студентів напряму підготовки 6.051701 «Харчові технології та інженерія» і спеціальності 8.05050313 «Обладнання переробних та харчових виробництв».

ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного аналізу існуючих процесів жарення м'яса сформульовано технологічні вимоги до процесу та обладнання кондуктивного жарення, які полягають у зниженні температурного рівня процесу до 423 К, мінімізації кількості перевертань виробу під час жарення, тривалості жарення, контакту з жиром і збереженні рідини в поверхневих шарах виробу під час жарення;

деталізовані технологічні вимоги до процесу кондуктивного жарення м'яса з ВВСТ, які полягають у забезпеченні якомога більш щільного контакту поверхні виробу з поверхнею нагріву, відсутності можливості деформування поверхні виробу під час жарення, максимальному збереженні нативної вологи м'яса в процесі жарення, кількості якої цілком достатньо для зварювання і дезагрегації колагену та відсутності умов утворення ГА.

2. Розроблено нову методику оцінки енергоефективності процесів і апаратів кондуктивного жарення м'яса за питомою витратою електроенергії b_e (кВт·год/кг), тепловим η_m , ексергетичним η_{ex} , енергетичним ККД $\eta_{ен}$ і коефіцієнтом ефективності процесу η_{ef} , здійснено аналіз енергетичної ефективності цих процесів в апаратах для їх реалізації, що дало можливість сформулювати напрями підвищення енергетичної ефективності й ресурсозбереження процесу кондуктивного жарення, а саме: збільшення поверхні теплообміну й поверхні контакту м'яса з поверхнями жарення за двостороннього підведення теплоти і пов'язане із цим збільшення коефіцієнта теплопередачі від поверхонь жарення до поверхні м'яса, зміна теплофізичних властивостей м'яса, зокрема, збільшення коефіцієнта теплопровідності м'яса λ_m ; зменшення товщини м'яса з δ_m до ефективної товщини δ_{ef} шляхом дії тиску або електричного струму в процесі кондуктивного жарення.

3. Обґрунтовано аналітичну модель процесів двостороннього жарення м'яса під дією електрофізичних методів впливу. Запропоновано поділ цих процесів за тривалістю на три основні стадії, з яких найбільш значущою в енергетичних витратах є друга, під час якої теплота передається через поверхневий шар м'яса внаслідок постійних випарування й конденсації водяної пари, що утворюється завдяки виведенню вологи в поверхневі шари продукту до поверхонь жарення. Запропоновано вирішення рівняння нестационарної теплопровідності у м'ясі (теплової моделі) під час процесів двостороннього жарення м'яса, у т. ч. з ВВСТ.

4. На основі обґрунтування аналітичної моделі процесів кондуктивного жарення під дією фізичних і електрофізичних методів впливу розроблено методику визначення коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі від поверхонь жарення до м'яса в поверхневому шарі м'яса під час другої стадії процесу на основі фактичних термодинамічних процесів, які відбуваються в менісках капілярів поверхневих шарів виробу.

5. Установлено закономірності виникнення потоку речовини в м'ясі під дією: електричного струму, теплового потоку від нагрівача, надлишкового тиску і їх комбінованою дією, що дало можливість на основі розроблених технологічних вимог обґрунтувати діапазон параметрів процесів двостороннього жарення м'яса, у т. ч. з ВВСТ, під дією фізичних і електрофізичних методів впливу на м'ясо.

6. На основі проведених досліджень процесу двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму встановлені раціональні параметри процесу (температура поверхонь жарення – не вище 423 К, напруга електричного струму, що подається на м'ясо, $U = 27$ В, його частота – $f = 0,5$ Гц, прикладений надлишковий тиск $p = (800 \dots 1100)$ Па, тепловий потік від нагрівача $Q = (77 \dots 83)$ Вт або питомий

тепловий потік $q = (38,5 \cdot 10^3 \dots 41,5 \cdot 10^3)$ Вт/м²), які дозволяють отримати готовий продукт з максимальним виходом ($z = 91,5\%$ із охолоджених і $z = 93\%$ із заморожених напівфабрикатів) із мінімальною тривалістю процесу жарення ($\tau = 75$ с для охолоджених і $\tau = 150$ с для заморожених напівфабрикатів).

7. На основі проведених досліджень процесу двостороннього жарення м'яса з ВВСТ у ФЗЄ в умовах стиснення встановлені раціональні параметри процесу (температура поверхонь жарення або ФЗЄ 423 К, надлишковий тиск водяної пари p_{zp} , утворений внаслідок стиснення, питомий тепловий потік $(38,5 \cdot 10^3 \dots 41,5 \cdot 10^3)$ Вт/м²), які дозволяють отримати готовий продукт з максимальним виходом $z = 82\%$ з мінімальною тривалістю процесу жарення $\tau = 120$ с.

8. Установлені тривалість процесів випарування та конденсації в менісках капілярів різного діаметра поверхневих шарів м'яса під час кондуктивного жарення, яка коливається від $111 \cdot 10^{-6}$ до $400 \cdot 10^{-6}$ с для варіанта процесу жарення під дією електричного струму і від $50 \cdot 10^{-6}$ до $333,3 \cdot 10^{-6}$ с для варіанта процесу жарення м'яса з ВВСТ у ФЗЄ, а значення загальних коефіцієнтів теплопередачі та тепловіддачі в поверхневих шарах виробів становлять $k = 9626$ Вт/(м²·К) і $\alpha = 19252$ Вт/(м²·К) при першому і $k = 9500$ Вт/(м²·К) і $\alpha = 19000$ Вт/(м²·К) під час другого варіанта жарення.

9. Розроблено апарат для двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму й апарат для двостороннього жарення м'яса з ВВСТ у ФЗЄ під надлишковим тиском. У ході випробувань у виробничих умовах дослідно-експериментальних зразків обладнання встановлені їх техніко-економічні показники та показники енергетичної ефективності. Для першого $b_e = 0,132$ кВт·год/кг, $\eta_m = 91,3\%$, $\eta_{ex} = 73,3\%$, $\eta_{en} = 75,8\%$, $\eta_{ef} = 83\%$; для другого $b_e = 0,260$ кВт·год/кг, $\eta_m = 87,44\%$, $\eta_{ex} = 61,93\%$, $\eta_{ef} = 75,40\%$, $\eta_{en} = 65,93\%$.

10. Оцінено соціально-економічну ефективність від упровадження у діяльність підприємств ресторанного господарства. Економічна ефективність від упровадження становить для апарата для двостороннього жарення м'яса з ВВСТ у ФЗЄ на 1000 кг готових жарених натуральних порційних м'ясних виробів не менше 20000,00 грн за рахунок заміни високосортної сировини сировиною меншої сортності і для апарата для двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму на 1000 кг готових жарених натуральних порційних м'ясних виробів – 19799,13 грн відносно сковороди СЕСМ-0,2, – 8976,44 грн відносно апарата для двостороннього жарення Elio L, – 1075,81 грн відносно апарата для двостороннього жарення в умовах стиснення ПУСКУ-1 – за рахунок істотної економії електроенергії та м'ясної сировини. Соціальна ефективність науково-технічних розробок полягає в безпечності для споживачів жарених м'ясних виробів, зниженні їх вартості й покращенні умов праці персоналу. Розроблені моделі та результати досліджень упроваджено в навчальний процес ПУЕТ і ХДУХТ, а технічні завдання й проектна документація на розроблене обладнання передані для впровадження на ВАТ «Полтавський машинобудівний завод».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Скрипник В. О. Розробка обладнання для реалізації процесу двостороннього жаріння м'яса в умовах осьового стиснення : монографія / В. О. Скрипник. – Полтава : ПУЕТ, 2012. – 173 с.
2. Дорохіна М. О. Вплив різних методів смаження м'яса на зміну його деяких фізико-хімічних показників / М. О. Дорохіна, М. А. Кудрик, В. О. Скрипник // Науковий вісник ПУСКУ. Серія : Технічні науки. – Полтава : РВВ ПУСКУ, 2002. – № 3 (7). – С. 70–72.
3. Перспективне використання термостійкої плівки / В. О. Дорохін, В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова, Н. В. Герман // Харчова і переробна промисловість. – 2004. – № 12. – С. 18–19.
4. Дорохін В. О. Аналітичне обґрунтування вдосконалення процесу жаріння м'ясних продуктів на нагрівальній поверхні / В. О. Дорохін, Н. Ю. Молчанова, В. О. Скрипник // Науковий вісник ПУСКУ. Серія : Технічні науки. – Полтава : РВВ ПУСКУ, 2005. – № 3 (16). – С. 87–90.
5. Дорохін В. О. Жаріння виробів із птиці під тиском і двостороннім підведенням тепла / В. О. Дорохін, В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Х. : ХДУХТ, 2006. – Вип. 1 (3). – С. 214–220.
6. Дорохін В. О. Енергетична ефективність процесів і апаратів жаріння харчових продуктів / В. О. Дорохін, В. О. Скрипник // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / Дон. нац. ун-т екон. і торг. ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк : ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2007. – Вип. 16. – С. 146–159.
7. Дорохін В. О. Розробка апарата для двостороннього жаріння м'ясних продуктів під тиском у функціонально замкнених ємкостях / В. О. Дорохін, В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / Дон. нац. ун-т екон. і торг. ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк : ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2007. – Вип. 16. – С. 44–48.
8. Дорохін В. О. Вплив технологічних факторів на ефективність процесів жаріння м'ясних порційних натуральних виробів / В. О. Дорохін, В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Прогресивні техніка та технологія харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Харків : ХДУХТ, 2008. – Вип. 1(7). – С. 192–199.
9. Скрипник В. О. Розробка процесу жаріння м'яса із високим вмістом сполучної тканини / В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. / Дон. нац. ун-т екон. і торг. ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк : ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2008. – Вип. 19. – С. 148–155.
10. Дорохін В. О. Дослідження ефективності використання функціонально замкнених ємкостей при двосторонньому жарінні м'яса під тиском / В. О. Дорохін,

В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Вісник ДонНУЕТ. – 2008. – № 1 (37). – С. 116–120.

11. Черевко О. І. Енергетична ефективність апаратів для кондуктивного жарення м'яса / О. І. Черевко, В. О. Скрипник // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Харків : ХДУХТ, 2012. – Вип. 1 (15). – С. 90–100.

12. Черевко О. І. Ексергетичний аналіз процесу кондуктивного жарення м'яса в апаратах періодичної дії / О. І. Черевко, В. О. Скрипник // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Харків : ХДУХТ, 2012. – Вип. 2 (16). – С. 70–84.

13. Скрипник В. О. Результати досліджень якості та безпечності виробів з м'яса після двостороннього жарення в умовах електроосмосу / В. О. Скрипник, А. Г. Фарісеєв // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2012. – Вип. 42, Т. 2. – С. 406–412.

14. Черевко А. И. Возможные направления повышения энергоэффективности и ресурсосбережения процессов кондуктивного жарения мяса / А. И. Черевко, В. А. Скрыпник // Техника и технология пищевых производств. – Кемерово, 2013. – № 2 (29). – С. 97–102. **Стаття у виданні Російської Федерації, яке включено до міжнародної наукометричної бази.**

15. Скрыпник В. А. Аналитическое исследование тепломассообменных процессов при двустороннем жарении в функционально замкнутых емкостях / В. А. Скрыпник, Н. В. Герман, Н. Ю. Молчанова // Universitatea Cooperatist-Comercială din Moldova. Analele Științifice ale Universității Cooperatist-Comerciale din Moldova / MOLDCOOP ; col. red. : Larisa Șavga (red.-șef), Vasile Botnariuc, Oxana Livițchi [redactori responsabili]. – Chișinău : UCCM, 2013. – Vol. XII. – P. 198–202. **Стаття у виданні Республіки Молдова.**

16. Черевко А. И. Результаты исследования массопроводности свиного мяса под воздействием теплового потока и тока электроосмоса / А. И. Черевко, В. А. Скрыпник, А. Г. Фарісеєв // Вестник ВГУИТ. – Воронеж, 2013. – № 4. – С. 138–144. **Стаття у виданні Російської Федерації, яке включено до міжнародних наукометричних баз.**

17. Скрипник В. О. Результати досліджень двостороннього жарення заморожених натуральних м'ясних напівфабрикатів / В. О. Скрипник, А. Г. Фарісеєв // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2013. – Вип. 44, Т. 2. – С. 193–197.

18. Черевко А. И. Влияние электроосмоса на процессы массопроводности в свином мясе / А. И. Черевко, В. А. Скрыпник, А. Г. Фарісеєв // Техника и технология пищевых производств. – Кемерово, 2014. – № 1. – С. 115–120. **Стаття у виданні Російської Федерації, яке включено до міжнародної наукометричної бази.**

19. Скрипник В. О. Енергетична та соціально-економічна ефективність апарата для двостороннього жарення м'яса під дією електричного струму / В. О. Скрипник, А. Г. Фарісеєв // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. – Полтава, 2015. – № 1 (73). – С. 60–68.

20. Черевко О. І. Використання фізичних та електричних методів в жаренні м'яса / О. І. Черевко, В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Технологічний аудит та

резерви виробництва. – 2015. – № 2/4 (22). – С. 75–79. **Стаття у фаховому виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз і систем.**

21. Рамазанов С. К. Моделювання динаміки теплопровідності в процесі двостороннього жарення м'яса на основі нелінійної оптимізації / С. К. Рамазанов, В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 3/3 (23). – С. 41–47. **Стаття у фаховому виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз і систем.**

22. Черевко О. І. Теплопередача в поверхневому шарі м'ясних виробів при двосторонньому жаренні в умовах стиснення // О. І. Черевко, В. О. Скрипник, А. Г. Фарісеєв // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. – Харків : ХДУХТ, 2015. – Вип. 1 (21). – С. 107–120.

23. Теплопередача в поверхневому шарі м'ясних виробів при двосторонньому жаренні під дією електричного струму / О. І. Черевко, В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова, А. Г. Фарісеєв // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 4/4 (24). – С. 47–51. **Стаття у фаховому виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз і систем.**

24. Skrypnyk V. The Theoretical Substantiation of Intensification Process Possibilities of Conductive Frying Meat Natural Products / V. Skrypnyk // Ukrainian Journal of Food Science. – 2015. – Vol. 3, Is. 2. – Pp. 361–367. **Стаття у фаховому виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз і систем.**

25. Пат. на корисну модель 21171 Україна, МПК А 47 J 37/06. Пристрій для двостороннього жаріння харчових продуктів під тиском у функціонально замкнених емкостях / Дорохін В. О., Скрипник В. О., Молчанова Н. Ю.; заявник та патентовласник Полтавський ун-т споживчої кооперації України. – № а200608292 ; заявл. 24.07.06 ; опубл. 15.03.07, Бюл. № 3. – 3 с.

26. Пат. на корисну модель 43147 Україна, МПК А 23 L 1/01. Спосіб двостороннього жаріння м'яса та м'ясних продуктів / Скрипник В. О., Молчанова Н. Ю.; заявник та патентовласник Полтавський ун-т споживчої кооперації України. – № u200900010 ; заявл. 05.01.09 ; опубл. 10.08.09, Бюл. № 15. – 4 с.

27. Пат. на корисну модель 44894 Україна, МПК А 23 L 1/01. Спосіб жаріння м'яса із високим вмістом сполучної тканини / Скрипник В. О., Молчанова Н. Ю.; заявник та патентовласник Полтавський ун-т споживчої кооперації України. – № u200900356 ; заявл. 19.01.09 ; опубл. 26.10.09, Бюл. № 20. – 4 с.

28. Пат. на корисну модель 89357 U Україна, МПК А47J 37/06. Пристрій для двостороннього жарення м'яса в умовах електроосмосу / Черевко О. І., Скрипник В. О., Фарісеєв А. Г. : заявник та патентовласник Вищий навчальний заклад Укоопспілки Полтавський ун-т економіки та торгівлі. – а201204493 ; заявл. 09.04.12 ; опубл. 25.04.14, Бюл. № 8. – 3 с.

29. Пат. на винахід 105398 С2 Україна, МПК А23L 1/01, А23L 1/025, А47J 37/00. Спосіб жарення м'яса / Черевко О. І., Скрипник В. О., Фарісеєв А. Г. : заявник та патентовласник Вищий навчальний заклад Укоопспілки Полтавський ун-т економіки та торгівлі. – а201204451 ; заявл. 09.04.12 ; опубл. 12.05.14, Бюл. № 9. – 4 с.

30. Дорохін В. О. Підвищення харчової цінності смажених натуральних виробів / В. О. Дорохін, О. П. Шеляков, В. О. Скрипник // Товари ХХІ століття : міжнар. наук.-практ. конф., 24–25 жовт. 2002 р. : матеріали. – Полтава : ПУСКУ, 2002. – Ч. 2. – С. 6–7.

31. Дорохін В. О. До питання дослідження деяких тепло- і масообмінних процесів при двосторонньому жарінні м'ясопродуктів під тиском / В. О. Дорохін, В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Проблеми техніки і технології харчових виробництв : міжвуз. наук.-практ. конф., 8–9 квітня 2004 р. : матеріали. – Полтава, 2004. – С. 3–5.

32. Дорохін В. О. Обґрунтування вдосконалення процесу жаріння м'ясних продуктів на нагрівальній поверхні / В. О. Дорохін, В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Наука і соціальні проблеми суспільства: харчування, екологія, демографія : IV Міжнар. наук.-практ. конф. ХДУХТ, 23–24 трав. 2006 р. : матеріали. – Х. : ХДУХТ, 2006. – С. 120–122.

33. Дорохін В. О. Визначення енергетичної ефективності процесів і апаратів жаріння харчових продуктів / В. О. Дорохін, В. О. Скрипник // Нові ресурсозберігаючі технології харчових виробництв : всеукр. наук.-практ. конф., 1–2 березня 2007 р. : матеріали. – Полтава : РВЦ ПУСКУ, 2007. – С. 178–180.

34. Дорохін В. О. Попередні результати дослідження жаріння м'яса із високим вмістом сполучної тканини / В. О. Дорохін, В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Нові ресурсозберігаючі технології харчових виробництв : всеукр. наук.-практ. конф., 1–2 бер. 2007 р. : матеріали. – Полтава : РВЦ ПУСКУ, 2007. – С. 181–182.

35. Скрипник В. О. Теоретичні передумови інтенсифікації тепло- та масоперенесення при жарінні м'яса з високим вмістом сполучної тканини / В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка : Міжнар. наук.-техн. конф. : тези доп. – Донецьк : ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2009. – С. 58–60.

36. Скрипник В. О. Вплив тиску на ступінь переходу колагену в глютин при термобаричному обробленні м'яса / В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // I Міжнар. наук.-практ. конференція, присв. 35-річчю технологічного факультету, 23–24 квіт. 2009 р. : зб. тез доп.– Полтава : РВВ ПУСКУ, 2009. – С. 248–251.

37. Скрыпник В. А. Результаты исследования влияния электроосмоса на показатели эффективности процесса двустороннего жарения мяса в условиях осевого сжатия / В. А. Скрыпник, А. Г. Фарисеев // Теория и практика инновационного развития кооперативного образования и науки : междунар. науч.-практ. конф., 14–16 апреля 2010 г. : тезисы. – Белгород: Изд-во БУПК, 2010. – С. 239–240.

38. Скрипник В. О. Результати мікробіологічних досліджень м'яса із високим вмістом сполучної тканини після двостороннього жаріння під тиском у функціонально замкнених ємкостях / В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Техніка та технологія харчових виробництв : зб. тез студ. наук. пр. (Серія технічна). – Донецьк : ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2010. – Вип. 5. – С. 23–24.

39. Скрипник В. О. Перспективи використання апаратів для двостороннього жарення під тиском / В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Актуальні проблеми

безпеки харчування : І міжгалуз. наук.-практ. конф. 14–15 жовт. 2010 р. : матеріали. – Донецьк : ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2010. – С. 126.

40. Скрипник В. О. Передумови розробки процесу жарення натуральних порційних смажених виробів, виготовлених із м'яса з високим вмістом сполучної тканини / В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі : всеукр. наук.-практ. конф., присв. 20-річчю з дня заснування факультету обладнання та технічного сервісу, 18 листоп. 2010 р. : тези доп. – Х. : ХДУХТ, 2010. – С. 141–143.

41. Скрыпник В. А. Интенсификация теплообменных процессов при жаренье мяса в условиях сжатиya / В. А. Скрыпник, Н. Ю. Молчанова // Техника и технология пищевых производств : VIII Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 27–28 апреля 2011 г. : тез. докл. в 2-х ч. – Могилев : УО «МГУП», 2011. – Ч. 2. – С. 65.

42. Фарісеєв А. Г. Результати дослідження якості виробів з м'яса після двостороннього жаріння в умовах електроосмосу / А. Г. Фарісеєв, В. О. Скрипник // Сучасні та майбутні технології харчових виробництв : зб. наук. статей магістрів за результ. наук. дослід. 2010–2011 н. р. – Полтава : РВВ ПУЕТ, 2011. – С. 71–78.

43. Фарісеєв А. Г. Результати дослідження безпечності виробів з м'яса після двостороннього жаріння в умовах електроосмосу / А. Г. Фарісеєв, В. О. Скрипник // Зб. наук. пр. мол. учених, асп. та студ. // Одеська національна академія харчових технологій. – Одеса : ОНАХТ, 2011. – Т. 1. – С. 150–151.

44. Скрипник В. О. Вплив якості м'яса на енергетичні показники процесів двостороннього жарення, в тому числі в умовах електроосмосу / В. О. Скрипник, А. Г. Фарісеєв // Нові технології і обладнання харчових виробництв : міжвуз. наук.-практ. семінар, 26 квітня 2012 р. : матеріали. – Полтава, 2012. – С. 14–16.

45. Скрипник В. О. Розробка способів подовженого зберігання готових виробів після двостороннього жарення і їх регенерації після зберігання / В. О. Скрипник, І. М. Гавриш // XXXV наукова конференція за підсумками науково-дослідних робіт студентів за 2011 р. : тези доп. / ВНЗ Укоопспілки «ПУЕТ». – Полтава : ПУЕТ, 2012. – С. 268–272.

46. Скрипник В. О. Результати дослідження реологічних параметрів м'яса під час жарення / В. О. Скрипник, Г. Ю. Жила // XXXVI наукова конференція за підсумками науково-дослідних робіт студентів за 2012 р. : тези доп. / ВНЗ Укоопспілки «ПУЕТ». – Полтава : ПУЕТ, 2013. – С. 292–295.

47. Скрипник В. О. Попередні дослідження процесу двостороннього жарення м'яса в умовах електроосмосу / В. О. Скрипник, А. Г. Фарісеєв // Прогресивна техніка і технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг : міжнар. наук.-практ. конф., присв. 45-річчю ХДУХТ., 18 жовтня 2012 р. : тези доп. – Харків : ХДУХТ, 2012. – С. 377–378.

48. Скрипник В. О. Можливі напрямки індустріалізації виробництва смажених натуральних виробів із м'яса / В. О. Скрипник, А. Г. Фарісеєв // Нові технології і обладнання харчових виробництв : міжвуз. наук.-практ. семінару, 23 травня 2013 р. : матеріали. – Полтава : ПУЕТ, 2013. – С. 23–25.

49. Скрипник В. О. Автоматизація апарата для двостороннього жарення м'яса в умовах електроосмосу / В. О. Скрипник, А. Г. Фарісеєв // Автоматизація управління та інтелектуальні системи : I міжнар. наук.-техн. інтернет-конф., 28–29 листопада 2013 р. : зб. тез. – Вип. 1 (1). – Полтава : ПНТУ, 2013. – С. 67–68.

50. Скрипник В. О. Обґрунтування параметрів процесу двостороннього жарення м'яса в умовах електроосмосу / В. О. Скрипник, А. Г. Фарісеєв // Нові технології і обладнання харчових виробництв : міжвуз. наук.-практ. семінар, 20 березня 2014 р. : матеріали. – Полтава : ПУЕТ, 2014. – С. 17–19.

51. Черевко О. І. Обґрунтування процесів кондуктивного жарення м'яса під впливом фізичних і електрофізичних методів / О. І. Черевко, В. О. Скрипник // Актуальні проблеми та перспективи розвитку харчових виробництв, готельно-ресторанного та туристичного бізнесу : міжнар. наук.-практ. конф., 20–21 листоп. 2014 р. : тези доп. / ВНЗ Укоопспілки «ПУЕТ». – Полтава : ПУЕТ, 2015. – С. 270–275.

52. Скрипник В. О. Підвищення якості готових жарених виробів з натурального м'яса / В. О. Скрипник, І. Г. Бабанов, А. Г. Фарісеєв // Перспективи розвитку м'ясної, молочної і олієжирової галузей у контексті євроінтеграції : IV міжнар. наук.-практ. конф., 24–25 березня 2015 р. : матеріали. – К. : НУХТ, 2015. – С. 23–25.

53. Скрипник В. О. Дослідження електропровідних властивостей м'яса під час двостороннього жарення в умовах електроосмосу / В. О. Скрипник, І. Г. Бабанов, А. Г. Фарісеєв // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : 81 міжнар. наук. конф. молодих учених, асп. і студ., 23–24 квітня 2015 р. : матеріали. – К. : НУХТ, 2015. – Ч. 2. – С. 33.

54. Черевко О. І. Підвищення енергоефективності процесів жарення і харчової безпеки виробів з натурального м'яса / О. І. Черевко, В. О. Скрипник // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність : міжнар. наук.-практ. конф., 14 травня 2015 р. : тези у 2-х ч. – Х. : ХДУХТ, 2015. – Ч. 1. – С. 330–331.

55. O. Cherevko. Using physical and electrical methods in conductive meat frying / O. Cherevko, V. Skrypnyk, N. Molchanova // Global and Local Challenges in Food Science and Technology : 3rd North and East European Congress on Food, 20 to 23 may 2015 (Brasov, Romania): book of abstracts. Special issue of Journal of EcoAgri Tourism, ISSN 1844-8577. – Brasov : Transilvania Universiti Press, 2015. – P. 123.

Особистий внесок автора:

1) проведення літературного пошуку, наукове обґрунтування теоретичних положень, розробка методології досліджень, керівництво експериментальними дослідженнями, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до публікації (поз. 3; 4; 6–9; 13; 15; 17; 19; 21; 31–50; 52; 53);

2) організація і проведення експериментальних досліджень, обробка даних і підготовка їх до друку (поз. 2; 5; 10; 30);

3) генерування ідей, утілених у заявках, складання, редагування опису та формул винаходів, теоретичне обґрунтування рішень, які пропонуються (поз. 25–29);

4) участь в обґрунтуванні та узагальненні результатів досліджень, керівництво експериментальними дослідженнями, підготовка матеріалів до публікації (11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 23; 51; 54; 55).

АНОТАЦІЯ

Скрипник В.О. Наукове обґрунтування енергоефективних процесів і обладнання кондуктивного жарення натуральних м'ясних виробів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора 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.

Дисертацію присвячено науковому обґрунтуванню енергоефективних та ресурсозберіжних процесів кондуктивного жарення м'ясних порційних натуральних виробів і розробці обладнання для їх реалізації. Сформульовано технологічні вимоги до процесу кондуктивного жарення м'яса, в тому числі і з високим вмістом сполучної тканини, з метою упередження утворення в них гетероциклічних амінів. Розроблено нову комплексну методику оцінки енергетичної ефективності процесів кондуктивного жарення м'яса в апаратах для їх реалізації, за якою проведено аналіз енергетичної ефективності цих процесів в основних видах обладнання для жарення. Сформульовано напрями підвищення енергетичної ефективності і ресурсозбереження процесу кондуктивного жарення. Розроблено науково-теоретичні основи процесів кондуктивного жарення м'яса під впливом фізичних і електрофізичних методів. Розроблено оригінальні методики й установки, за допомогою яких отримані експериментальні дані, що підтверджують адекватність обґрунтованої аналітичної та розробленої теплової моделей процесів кондуктивного жарення м'яса під впливом фізичних і електрофізичних методів, а також ефективність використання цих процесів та актуальність створення нового енерго- і ресурсозберіжного обладнання.

Визначені раціональні режими та конструктивні параметри обладнання для двостороннього жарення та розроблено апарати для їх реалізації.

Розроблено технічну документацію на виготовлення експериментальних зразків обладнання для двостороннього жарення м'яса під впливом фізичних і електрофізичних методів. Установлено підвищення енергетичної ефективності та технологічних показників розроблених процесів з використанням нового обладнання та їх соціально-економічної ефективності.

Ключові слова: м'ясо, кондуктивне жарення, двостороннє жарення, енергетична ефективність, ресурсозбереження, тиск, електричний струм, раціональні параметри, гетероциклічні аміни.

ANNOTATION

Skrypnyk V.O. Scientific substantiation of energy efficient processes and equipment of natural meat products conductive frying. – Manuscript.

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

The dissertation deals with scientific substantiation of energy efficient and resource saving processes of meat products conductive frying and developing the equipment for its realization. On the basis of theoretical analysis and technological requirements for conductive meat frying to prevent heterocyclic amines formation in the outer layers of the product and technological requirements for conductive frying of meat with high content of connective tissue were formulated in the research work. There was developed the new method for evaluation of the energy effectiveness for conductive meat frying processes in the appliances for their implementation based on joint use of first and second laws of thermodynamics by which exergy (entropy) analysis of the energy efficiency of these processes in the main types of equipment for frying was carried out. Based on the theoretical analysis and data of analysis of the energy efficiency of processes of conduction frying formulated the directions for increasing of energy efficiency and resource saving for the processes of conductive frying.

There were developed scientific and theoretical foundations for meat conductive frying under physical (pressure) and electrophysical (electric current, pressure) methods. There were analysed the factors of intensification the conductive frying processes, such as increasing the surface of contact semi-finished product with the frying surface by ensuring effective contact and as a result, increasing the coefficient of heat transfer from the surface of frying to the product, changing thermophysical properties of the product during frying under influence of physical and electrophysical methods. There was substantiated analytical model of the processes of bilateral meat frying under the influence of the physical and electrophysical methods and developed their thermal model. The method of calculation coefficients of heat irradiation and heat transfer in the surface layer of the meat during frying based on actual thermodynamic processes using T-S – diagram for water and steam is provided here. There were developed original methods and installations used to obtain regularities of occurrence of flow of substance in meat under the influence of an electric current, a heat flux from the heater, and combinations thereof under compression within a certain range of parameters by which proved the effective liquid layer occurrence of lesser thickness than the thickness of the meat with the thermophysical properties of meat juice. There were obtained experimental data confirming the adequacy of the proposed analytical and thermal models of conductive meat frying processes under the influence of the physical and electrophysical methods.

There were identified rational regimes and constructive parameters of the equipment for bilateral meat frying under the influence of an electric current and bilateral meat frying with a high content of connective tissue in functionally closed capacities under compression conditions; developed the devices for their implementation.

There were developed technical documentation for manufacturing of experimental equipment samples for bilateral meat frying under the influence of an electric current and bilateral meat frying with a high content of connective tissue in functionally closed capacities under compression conditions, in accordance with which indicated devices.

The tests of experimental equipment samples in production defined technical and economic indicators of their work, confirming the high energy and resource efficiency.

Socio-economic effect of the introduction in the activities of catering institutions, equipment saving energy and raw materials.

The main results of the dissertation research are implemented in production and educational process.

Keywords: meat, conductive frying, bilateral frying, energy efficiency, resource saving, pressure, electric current, rational parameters, heterocyclic amines.

АННОТАЦИЯ

Скрыпник В.А. Научное обоснование энергоэффективных процессов и оборудования кондуктивного жаренья натуральных мясных изделий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора 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 научному обоснованию энергоэффективных и ресурсосберегающих процессов кондуктивного жаренья мясных порционных натуральных изделий и разработке оборудования для их реализации. Сформулированы технологические требования к процессу кондуктивного жарения мяса, в том числе и с высоким содержанием соединительной ткани, с целью предупреждения образования в них гетероциклических аминов. Разработана новая комплексная методика оценки энергетической эффективности процессов кондуктивного жаренья мяса в аппаратах для их реализации, по которой проведен анализ энергетической эффективности этих процессов в основных видах оборудования для жаренья. Сформулированы направления повышения энергетической эффективности и ресурсосбережения процесса кондуктивного жаренья. Разработаны научно-теоретические основы процессов кондуктивного жаренья мяса под влиянием физических и электрофизических методов. Разработаны оригинальные методики и установки, с помощью которых получены экспериментальные данные, подтверждающие адекватность обоснованной аналитической и разработанной тепловой моделей процессов кондуктивного жаренья мяса под влиянием физических и электрофизических методов, а также эффективность использования этих процессов и актуальность создания нового энерго- и ресурсосберегающего оборудования.

Определены рациональные режимы и конструктивные параметры оборудования для двустороннего жаренья и разработаны аппараты для их реализации.

Разработана техническая документация на изготовление экспериментальных образцов оборудования для двустороннего жаренья мяса под влиянием физических и электрофизических методов. Установлено повышение энергетической эффективности и технологических показателей разработанных процессов с использованием нового оборудования и их социально-экономической эффективности.

Ключевые слова: мясо, кондуктивное жаренье, двустороннее жаренье, энергетическая эффективность, ресурсосбережение, давление, электрический ток, рациональные параметры, гетероциклические амины.

Підписано до друку 29.04.2016 р. Формат 60×90/16. Папір офсет. Друк офсет.
Умов. друк. ак. 2,6. Тираж 130 прим. Замовл. №

Видавець і виготівник

Харківський державний університет харчування та торгівлі.

Вул. Клочківська, 333, Харків, 61051.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4417 від 10.10.2012 р.