

Міністерство освіти України

Український Державний Університет харчових технологій

На правах рукопису

УДК 637.52.03.

МАЗУРЕНКО ОЛЕКСАНДР ГРИГОРОВИЧ

РОЗРОБКА ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ І ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ
ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Спеціальність: 05.18.12 – Процеси, машини та агрегати
харчової промисловості

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 1994

Дисертацією в рукопис.

Робота виконана в Українському Державному Університеті
харчових технологій.

НАУКОВИЙ КОНСУЛЬТАНТ – доктор технічних наук, професор ФЕДОРОВ В.Г.

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ:

1. Академік, доктор технічних наук, професор
ФЕДОТКІН Ігор Михайлович.
2. Доктор технічних наук, професор
КАШУРІН Олександр Миколайович.
3. Доктор технічних наук, професор
ДРАГАНОВ Борис Харлампійович.

ПРОВІДНА ОРГАНІЗАЦІЯ – ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГОЗБЕРІГАННЯ
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ. м, Київ.

Захист відбудеться "23" 03 1994 р. о 14⁰⁰ на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д.068.17.04
Українського Державного університету харчових технологій
за адресою: 252017, Київ, Володимирська, 68, аудиторія А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці
Українського Державного університету харчових технологій.
Автореферат розісланий "16" 02 1994 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

СОРОКОЛІТ М.І.

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00756555 (X)

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Актуальність теми. В умовах дефіциту енергоресурсів проблема раціонального використання енергії набуває особливої актуальності. Зменшити енергомісткість харчових підприємств при одночасному збільшенні обсягів виробництва продукції є можливим шляхом вдосконалення існуючих і впровадження нових, інтенсивних та енергозберігаючих методів обробки сировини.

Уточнення регламентів обробки сировини і на цій основі зменшення фактичної енергомісткості поширених термотехнологічних процесів, є можливими тільки шляхом застосування нових методик та засобів контролю режимних параметрів, у тому числі витрат енергії та зміни властивостей продуктів. Вдосконалення термотехнологічного обладнання в значній мірі стримується відсутністю інформації про часові та просторові нерівномірності параметрів ведення процесів, недоліками методик оцінки енергетичної ефективності апаратів.

Методи електротехнології є більш інтенсивними та менш енергомісткими. Доцільність їх широкого впровадження у виробництво обумовлюється також зміною структури енергетичного балансу харчової промисловості – все більшу кількість енергії підприємства одержують у вигляді електричної енергії.

У зв'язку з цим в роботі поставлена ціль – розробити теоретичні основи термо-, електротехнологічних процесів і вдосконалити обладнання харчових виробництв з метою раціонального використання енергії.

У відповідності до цієї вирішували три групи задач:

1. Розробка теоретичних основ та вдосконалення енергомістких термотехнологічних процесів і агрегатів харчових виробництв.
2. Розробка теоретичних основ та створення обладнання електротехнологічної обробки харчових продуктів.
3. Розробка методів та засобів вимірювання режимних параметрів і властивостей продуктів в процесах термотехнологічної обробки.

Методи та об'єкти досліджень.

Основні результати роботи отримані експериментальним та аналітичним шляхом. При виконанні досліджень використані методи математичної статистики та математичного моделювання, основні положення теорії теплообміну, теоретичної електротехніки, теорії електричних ма-

шин, процесів і апаратів харчових виробництв та теорії вимірювань.

Об'єктами досліджень, вдосконалення та розробки були: процеси та обладнання теплової, холодильної, електротермічної, електроімпульсної обробки харчових продуктів, а також методи і прилади вимірювання режимних параметрів процесів, тепло- та електрофізичних характеристик продуктів.

Нові наукові результати.

На підставі математичного моделювання і результатів експериментальних досліджень доведено, що для забезпечення однакових питомих енерговитрат на обробку продуктів значення режимних параметрів процесу, який здійснюють до фіксованої кінцевої температури в обумовленій точці виробу, повинні бути жорстко пов'язані між собою.

Розроблено принципово новий метод та засоби контролю тривалості термотехнологічних процесів харчових виробництв за зміною середньоентальпійної температури продукту.

Одержано та узагальнено нові дані з кінетики і зміни у просторі енергетичних навантажень, які зазнають продукти під час теплової, холодильної, електротермічної обробки в сучасних технологічних апаратах. Доведено, що за зміною реакції продукту на енергетичну дію можна визначати ефективність термотехнологічних процесів та апаратів харчових виробництв.

З використанням математичного моделювання та експериментальних досліджень процесу заморожування встановлені закономірності переносу теплоти в глибинних шарах продукту. Узагальнено нові дані з кінетики товщини зони фазових перетворень та швидкості просування її границь в глибину продукту, який заморожують.

На підставі аналітичних та експериментальних досліджень навантажень, яких зазнають енергетичні установки технологічних агрегатів періодичної, циклічної та безперервної дії доведено, що за зміною енергонавантаження установки можна визначати міру досконалості виробництва.

Аналітично обґрунтовані та перевірені на практиці нові способи і прилади комплексного визначення теплофізичних характеристик рідких, твердих, сипучих харчових продуктів, що дозволяють проводити дослідження в діапазонах температур, які містять області фазових перетворень компонентів продукту при контрольованих теплових та температурних навантаженнях на вироб і які придатні для контролю зміни властивостей сировини під час термотехнологічної обробки.

Досліджено та узагальнено теплофізичні характеристики 30 найменувань харчових продуктів, в тому числі вироблених уперше. Уза-

гально дані про тепло- і електрофізичні характеристики крові тварин та продуктів її сепарування.

Досліджено фізичні процеси, що відбуваються у асинхронному генераторі при використанні його як джерела енергії в імпульсній електротехнологічній установці. Розроблено математичні моделі, які адекватно описують ці процеси.

Розроблені і випробовані заступні теплова і електрична схеми, а також математична модель, які адекватно відображають процеси, що відбуваються при нагріванні матеріалу з ефектом пам'яті форми електричним струмом.

Результати роботи створюють можливості для подальшого розвитку та вдосконалення процесів і обладнання харчових виробництв, методів та приладів вимірювання і контролю режимних параметрів енергетичної обробки продуктів.

Практична цінність та реалізація результатів роботи.

Розроблені пристрої та методики контролю режимних параметрів термічної обробки продуктів були впроваджені в практику дослідних і налагоджувальних установ агропромислового комплексу. Це дозволило підвищити ефективність розробок нових та налагоджування існуючих термотехнологічних процесів і апаратів харчових виробництв.

Розроблені способи та прилади комплексного визначення теплофізичних характеристик продуктів було впроваджено в практику ряду дослідних установ. Теплометричний компаратор крім основного призначення використано у системі контролю якості сушеної фруктової продукції. Розроблено і впроваджено способи та методики комплексного визначення ТФХ матеріалів на серійних ламбда-приладах, що дозволяє підвищити ефективність використання дослідного обладнання.

Розроблені і впроваджені міроприємства по інтенсифікації процесів заморожування блоків м'яса та вдосконаленню швидкозаморозильної техніки. Це дозволило при мінімізованих енергетичних витратах підвищити обсяги виробництва та якість замороженої продукції. Запропоновано поточний двостадійний спосіб, а також технічні рішення по вдосконаленню виробництва заморожених продуктів у блоках, які дозволяють підвищити ефективність використання енергетичного обладнання.

Розроблені і впроваджені міроприємства по вдосконаленню теплотехнологічних процесів та апаратів виробництва варених ковбас, розраховані оптимальні режимні параметри обжарки і варки ковбас, які дозволяють при мінімальних витратах енергії одержувати якісний готовий продукт. Розроблені і впроваджені інтенсивні, енерговигідні технологічні регламенти процесів коптіння та сушіння сиров'ячених

ковбас в універсальних термокамерах при пульсаційній подачі робочого середовища.

Визначені та передані у дослідні та проектні установи дані про ТФХ і ЕФХ ряду продуктів, що дозволило підвищити точність розрахунків термотехнологічних процесів і апаратів харчових виробництв.

Розроблені і впроваджені рекомендації по вдосконаленню процесів та апаратів електротермічної обробки харчових продуктів. Розроблені і впроваджені інтенсивні, енерговигідні регламенти електростерилізації плодово-ягідних пюре та смаження м'ясних напівфабрикатів.

На базі автономного асинхронного генератора розроблено економічно доцільне джерело енергії для електроімпульсного обладнання харчових виробництв. Використання цього джерела дозволяє здійснювати різноманітні режими обробки продуктів, усунути негативний вплив роботи імпульсної електротехнологічної установки на електромережу підприємства.

На базі матеріалу з ефектом пам'яті форми розроблено та впроваджено термомеханічний привід, який можна використовувати у системах керування та захисту, а також для забезпечення зворотньо-поступального руху робочого органу технологічних машин харчових виробництв.

Економічний ефект від впровадження результатів роботи у цінах 1990 року складає 1355,23 тис. рублів і є мінімальним, оскільки в більшості випадків його визначали з розрахунку на одне підприємство чи одиницю обладнання.

Апробація роботи. Основні результати роботи були предметом доповідей та обговорень на наукових конференціях УДУХТ (Київ, 1973-1993), секції ДКНТ РМ СРСР "Розроботка методов сублимационного и криогенного консервирования пищевых продуктов и биологических материалов" (Москва - 1976, Калининград - 1977, Телави - 1978), Європейських конгресах працівників НДІ м'ясної промисловості (Мальме - 1976, Хельсінкі - 1987), всесоюзному семінарі "Современное состояние теплофизического приборостроения" (Київ - 1980, 1981), а також всесоюзних конференціях: "Технология и техника пищевой и микробиологической промышленности и системы заготовок на основе современных технических методов и средств" (Москва - 1980), "Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания" (Харків - 1981, 1984, 1989, 1990), "Проблемы экономии энергоресурсов при создании и эксплуатации торгово-технологического оборудования" (Самарканд - 1983), "Современные проблемы энергетики" (Київ - 1984), "Сверхупругость, эффект памяти формы и их применение в новой технике" (Томск - 1985), "О повышении роли молодых ученых и специалис-

тов в ускорении научно-технического прогресса в мясной и молочной промышленности" (Москва - 1985), "Электрофизические методы обработки пищевых продуктов" (Москва - 1985), "Методы и средства теплофизических измерений" (Севастополь - 1987), "Новейшие исследования в области теплофизических свойств" (Тамбов - 1988), "Разработка и внедрение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевую и перерабатывающую отрасли АПК" (Київ - 1991), міжнародній конференції "Розробка та впровадження нових технологій і обладнання у харчову та переробні галузі АПК" (Київ - 1993).

Розроблені прилади вимірювання режимних параметрів термотехнологічної обробки харчових продуктів експонувалися на ВДНГ СРСР у 1976 році, ВПДНГ УРСР у 1978 та 1980 роках, де були відзначені свідоцтвами, у 1985 році розробки відзначені бронзовою медаллю ВДНГ СРСР.

Публікації результатів досліджень.

По темі дисертації опубліковано 66 друкованих робіт, в яких висвітлені основні положення виконаних досліджень, у тому числі 1 монографія, 4 брошури, 12 авторських свідоцтв.

Наукові положення, які захищає автор:

1. Для забезпечення стабільних енерговитрат та одержання якісного готового виробу значення режимних параметрів термотехнологічних процесів, які здійснюють до фіксованої кінцевої температури в обумовленій точці виробу, повинні бути жорстко пов'язані між собою.

2. Визначення тривалості термотехнологічних процесів за зміною середньоентальпійної температури продукту дозволяє при мінімальних енерговитратах одержувати якісний готовий виріб.

3. За зміною в часі та просторі реакції продукту на енергетичну дію можна визначати ефективність процесів і апаратів термічної обробки харчових продуктів, зміна в часі навантаження на енергетичну установку, що обслуговує апарат, відображає міру досконалості виробництва.

4. Застосування комбінованого підводу енергії до продукту, що обробляють, а також зміна значень режимних параметрів за спеціальними програмами, дають можливість інтенсифікувати термотехнологічні процеси, покращити технічні та енергетичні показники апаратів.

5. Для покращення технічних та енергетичних характеристик імпульсної електротехнологічної установки, а також з метою усунення впливу її роботи на показники якості електричної енергії підприємства, як джерело енергії в установці слід використовувати працюючий автономно асинхронний генератор.

Структура та об'єм роботи.

Дисертація має чотири розділи, які складаються з 10 глав, викладених на 300 сторінках машинописного тексту, вступу, висновків за темою роботи, списку використаної літератури, що містить 271 найменування та додатку, ілюстрована рисунками та таблицями.

ЗМІСТ РОБОТИ.

Термо - та електротехнологічні процеси і апарати харчових виробництв, напрямки їх удосконалення.

У першій главі показано, що подальша інтенсифікація, зменшення енергомисткості процесів та обладнання харчових виробництв, які базуються на традиційних методах термічної обробки сировини, є можливими при використанні більш досконалих методик і засобів контролю режимних параметрів – тривалості обробки, змін в часі та просторі енергетичного впливу на продукт, швидкості руху і вологості робочих середовищ, зміни теплофізичних та інших властивостей продуктів.

Існуючі прилади вимірювання густини теплового потоку, температурно-вологісного стану та швидкості руху середовищ є непристосованими до використання в умовах термотехнологічної обробки харчових продуктів, де значення режимних параметрів змінюються (коливаються) у значних діапазонах.

При визначенні тривалості процесу та готовності виробу за кінцевою температурою в геометричному чи тепловому центрі продукту з технологічного апарата може бути вивантажено продукт не досить оброблений, або який піддався надлишковій енергетичній дії. Похибка у визначенні тривалості процесу за таким способом залежить від ступеню зміни режимних параметрів під час обробки і теплофізичних характеристик (ТФХ) продукту. Тривалість процесів термотехнологічної обробки харчових продуктів потрібно визначати за кількістю підведеної чи відведеної від продукту енергії, тобто за зміною середньоемпіричної температури продукту. Хід процесу та готовність виробу при окремих видах обробки можна визначати за величиною ТФХ продукту.

Способи та прилади вимірювання ТФХ харчових продуктів повинні забезпечувати комплексність одержання інформації про зміну всіх ТФХ продукту у широкому, включаючи зони фазових перетворень, діапазоні температур, при теплових навантаженнях на зразок і температурах, що мають місце при обробці у промислових апаратах.

При співставленні термотехнологічних процесів і апаратів за інтенсивністю та енергетичною ефективністю треба мати дані про кіне-

тику (діапазон коливання) теплового навантаження, що зазнає продукт (енергетична установка апарата).

В другій главі показано, що широке впровадження у виробництво більш прогресивних електротехнологічних методів обробки харчової сировини стримується недостатньою вивченістю процесів, що відбуваються у продуктах під дією електромагнітного поля, недосконалістю електротехнологічного обладнання та його впливом на показники якості електроенергії підприємства.

Одним із найбільш перспективних серед електротехнологічних методів обробки харчових продуктів є електроімпульсний метод. Він дозволяє при малих витратах енергії, на малопотужному обладнанні здійснювати потужну енергетичну дію на продукт. Впровадження методу стримується відсутністю розробок промислових джерел електричних імпульсів. Для усунення впливу імпульсної установки на показники якості енергії та роботу електрифікованого обладнання підприємства джерело імпульсів повинно працювати у автономному режимі.

Розвиток будь-якої галузі промисловості неможливий без впровадження нової елементної бази та створення на цій основі нових зразків обладнання. Відкриття ефекту пам'яті форми у деяких матеріалів створило умови для розробки нових типів приводних пристроїв технологічного обладнання харчових виробництв.

У розділі сформульована мета та задачі роботи.

Розробка методів та пристроїв вимірювання режимних параметрів і властивостей продуктів при термотехнологічній обробці.

У третій главі наведені результати розробки методик та пристроїв вимірювання і контролю режимних параметрів термотехнологічної обробки харчових продуктів.

Для вимірювання густини нестационарних теплових потоків розроблено термоелектричний перетворювач, який працює за принципом допоміжної стінки. Прилад складається з двох термобатарей - основної та коригуючої. Основну термобатарею перетворювача виготовляють у вигляді плоскої спіралі, складеної із чергуючих між собою напіввитків, що покриті парним термоелектродним матеріалом і не вкритих. У цій термобатареї місця переходів від непокритої ділянки до покритої розташовані в паралельних площинах, рознесених на товщину термобатареї.

Коригуюча термобатарея пристрою має таку ж товщину, що і основна, але у ній кожний напіввиток перервно покритий термоелектродним

матеріалом так, що утворює свого роду пару ввімкнених зустрічно по електричному сигналу диференціальних елементів. Вони генерують термо-ЕРС тільки при проходженні через коригуючу термобатарею змінного у часі теплового потоку. При проходженні через коригуючу термобатарею стаціонарного теплового потоку сумарний сигнал, генеруємий її термо елементами, дорівнює нулю.

При вимірюванні теплових навантажень (рис.1.а,б) основну 1 та коригуючу 2 термобатареї розміщують в ізотермічній площині досліджуваного об'єкту. При сталому у просторі і часі теплового потоці сумарний сигнал пристрою дорівнює сигналу основної термобатареї. У випадку проходження нестационарного теплового потоку сигнал основної термобатареї є пропорційним середньоінтегральній густині теплового потоку, що проходить через пристрій, а коригуючої - зміні ентальпії деякого шару по товщині пристрою. На вторинний прилад 3 надходить сумарний сигнал обох термобатарей, який, в залежності від полярності під'єднання коригуючої термобатареї до основної, відповідає густині теплового потоку, що пройшов через теплосприймальну (рис.1.а) або тепловіддавальну (рис.1.б) поверхні пристрою.

Виготовлення та градування розроблених пристроїв здійснюється за методиками та з використанням того ж обладнання, що і для термоелектричних перетворювачів стаціонарного теплового потоку.

На базі застосування термоелектричних перетворювачів нестационарного теплового потоку розроблено принципово новий метод та створено систему автоматизованого контролю тривалості процесів термотехнологічної обробки харчових продуктів, де готовність продукту визначається за кількістю підведеної (відведеної) енергії, тобто за зміною середньоентальпійної температури продукту.

Ці ж прилади використано при створенні теплотричного гігрометру, який придатний для вимірювання і контролю температурно-вологісного стану середовища в умовах холодильної та теплової обробки продуктів, де температура та швидкість руху середовища під час процесу можуть коливатися у значних діапазонах. Принцип дії гігрометру базується на положенні, що коли з поверхні одного з двох ідентичних, розміщених в однакових гідродинамічних умовах тепломірів відбувається випаровування маси, то різниця сигналів тепломірів (сигнал комплексу) буде пропорційна густині теплового потоку, що йде на випаровування рідини.

Гігрометр (рис.2) складається з повітряного короба (1), на торцях якого знаходяться потоковирівнювальні ґратки 2 та 3. Ґратка 3 призначена для усунення збурень, які можуть виникнути при роботі мікровентилятора 4. На двох протилежних внутрішніх поверхнях короба

розміщені два однакових за конструкцією теплометричних комплексу 5. Кожен з цих комплексів складається із двох однакових термобатарей 6 і 7, диференціальний сигнал яких подається на систему збирання та обробки інформації. Одна із термобатарей кожного з комплексів вкрита шаром капілярно-пористого матеріалу 8, який постійно зволожується через канали 9, зроблені у температуровирівнювальних пластинах 10. Для досягнення потрібної температури випаровуваної рідини з поверхонь термобатарей встановлені електронагрівачі 12. Цю температуру вимірюють термopарами 11, що вшиті у матеріал 8.

Електронагрівачі теплометричних комплексів під'єднують до індивідуальних регуляторів напруги. Один з регуляторів забезпечує стабілізацію температури випаровування рідини з поверхні теплометричного комплексу, а другий - підтримує задану різницю температур між комплексами. Різницю між температурами поверхонь випаровування рідини вибирають з міркування забезпечення рівності коефіцієнтів масовіддачі для обох теплометричних комплексів гігрометра. Звичайно вона становить 2-15К. Для вимірювання температури досліджуваної парогазової суміші встановлена термopара 14. З метою поширення температурного діапазону вимірювань замість електронагрівачів прилад оснащують проточними або термоелектричними холодильниками. Обробку результатів вимірювань ведуть з використанням номограми, яка відображає зв'язок між парціальним тиском рідини в парогазовій суміші, температурою суміші та відношенням сигналів теплометричних комплексів.

Основні недоліки існуючих типів термоанемометрів (залежність сигналів від температури потоку середовища і фонового випромінювання) вилучені в диференційному термоанемометрі (рис.3), головним вузлом якого є два циліндричних чутливих елемента діаметром 0,18-2,0 мм та довжиною 10-25 мм кожний. Вони утворені шляхом намотування спіралі нагрівача на гальванічну диференціальну термopару.

При вимірах швидкості потоку на нагрівач одного з чутливих елементів від системи автоматичного регулювання підводять електричну напругу. Цей чутливий елемент є робочим (РЧЕ). На нагрівач другого чутливого елемента напругу не підводять - цей елемент є еталоном (ЕЧЕ). Оскільки РЧЕ та ЕЧЕ повинні знаходитися в однакових гідродинамічних умовах, їх розташовують на спеціальних каркасах.

Вимірювання швидкості руху газового потоку з застосуванням диференційного термоанемометру можна здійснювати за кількома способами. За першим способом - підтримуючи постійну різницю між температурами РЧЕ та ЕЧЕ, про швидкість руху потоку судять за величиною електричної потужності нагрівача РЧЕ. За другим способом - до нагрівача РЧЕ від стабілізованого джерела електричної енергії підво-

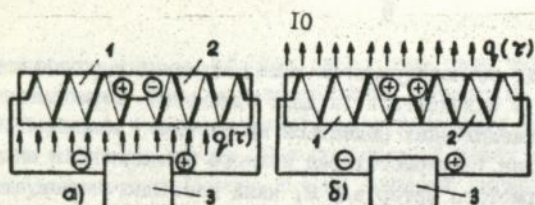


Рис.1.Тепломір

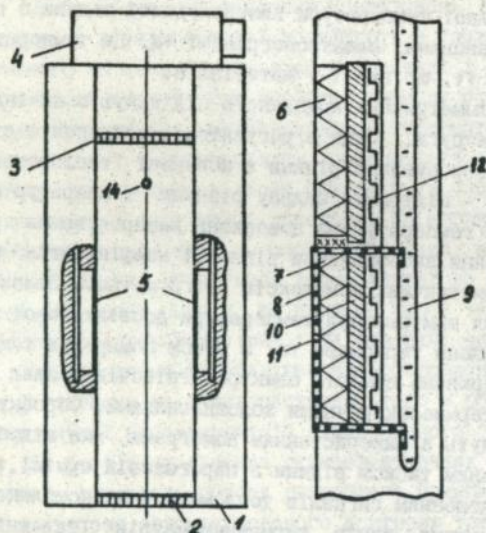


Рис.2.Гігрометр

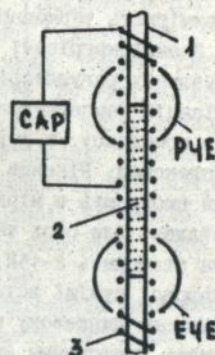


Рис.3.Термоанемометр

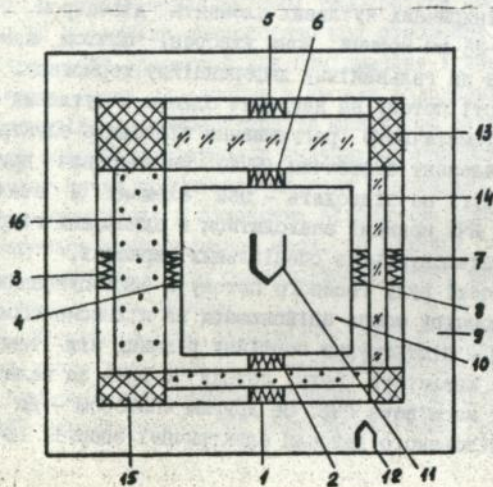


Рис.4.ТФХ-компаратор

дають постійну потужність, а про швидкість потоку судять за величиною сигналу диференційної гальванічної термопари пристрою.

За першим способом можливо проводити коректні вимірювання швидкості руху газового потоку в діапазоні 0-20 м/с, за другим - тільки при швидкостях до 2 м/с. Разом з тим, вимірювання за другим способом краще годиться у випадку, коли швидкість потоку змінюється з великою частотою.

Для усунення впливу температури потоку на результати вимірювання його швидкості потрібно підтримувати постійну різницю потенціалів, яку генерує диференційна гальванічна термопара пристрою. Усунення температурної залежності сигналу гальванічної термопари досягається шляхом нанесення на основний термоелектродний дріт шару парного термоелектродного матеріалу визначеного перерізу. Так, при використанні у пристрої термопари копель-мідь відношення перерізів нанесеної гальванічно міді та копелю повинно дорівнювати 0,07.

Градуюють диференційні термоманометри за швидкістю руху потоку з використанням загальноприйнятих методик і стандартного обладнання.

У четвертій главі наведені результати розробки теплотричних способів та приладів комплексного дослідження ТФХ продуктів.

В загальному випадку теплотричний ТФХ-прилад складається із трьох частин, що відрізняються за функціональним призначенням: а) блок теплового режиму, який вміщує джерело та приймач теплоти; б) касета для розміщення досліджуваного зразку, яка розташована між елементами блоку теплового режиму; в) вимірювальна комірка, яка вміщує два термоелектричних перетворювача густини теплового потоку та дві термопари.

За джерела та приймачі теплоти у блоках теплового режиму використовують: камеру з високотеплопровідним днищем, через яку прокачують теплоносії (воду, антифриз, мастило); електронагрівач у металевому корпусі; ІЧ-генератори; термоелектричні холодильники; високотеплопровідну плиту зі стержнями, які занурюють в ультратермостат або кріостат.

При визначенні ТФХ по кожному з розроблених способів режиму теплопереносу характеризуються швидкостями та напрямками зміни температури, а також рівнями теплових навантажень на досліджуваний зразок продукту, що відповідають виробничим умовам.

Метод циклів придатний для вивчення ТФХ продуктів, які зазнають в досліджуваній області стану фазових або структурних перетворень з виділенням (поглинанням) теплоти. Значення характеристик розрахову-

ють за результатами вимірювання температур t_1, t_2 і густин теплового потоку q_1, q_2 на поверхнях зразку товщиною h у n стаціонарних та перехідних теплових режимах за формулами:

$$\lambda_n = qh / (t_1 - t_2), \quad \text{ср} = \int (q_1 - q_2) d\tau / \{0.5h[(t_1 + t_2)_1 - (t_1 + t_2)_{n1}]\}.$$

$$\alpha = 0.5(\lambda_n + \lambda_{n1}) / \text{ср}$$

Вивчення за допомогою ТФХ-приладів характеристик продуктів, в яких не відбуваються суттєві фазові чи структурні перетворення під час експерименту, доцільно вести методом регулярного теплового режиму другого роду. Без зниження точності інформації про величини ТФХ продукту цей метод, в порівнянні з методом циклів, характеризується меншими часовими витратами на проведення досліджень, він простіший у реалізації. Розрахунок ТФХ ведуть за формулами:

$$\lambda = h(q_1 + q_2) / (2 \Delta t), \quad \text{ср} = (q_1 - q_2) / (h \delta t / \delta \tau), \quad \alpha = h(q_1 + q_2) / [2 \delta t (q_1 - q_2)]$$

При вимірюванні ТФХ у широкому діапазоні температур, що включає зони фазових перетворень компонентів продукту дослідження варто проводити з використанням комбінованого способу, організуючи в зразку чергування квазістаціонарного, стаціонарного та перехідного теплових режимів.

Розглянуті питання градування ТФХ-приладів та метрологічного забезпечення комплексного вимірювання характеристик харчових продуктів. Наведені результати розробок методик, які дозволяють проводити комплексне визначення ТФХ у теплотричних λ -приладах.

Сипкі продукти мають невеликі чисельні значення ТФХ, тому експерименти звичайно проводять при значних змінах температури у просторі і в часі. При малих Δt і $v = \delta t / \delta \tau$, суттєво зростають похибки вимірювань λ , ср та α . Для усунення цих недоліків розроблена методика дослідження та конструкція приладу-компаратору, які дозволяють визначити ТФХ сипких продуктів при невеликій (5-10 мм) товщині зразка. Мета досягнута шляхом заміни температурних вимірювань (вимірювання малих величин) теплопоточними.

Пристрій-компаратор (рис.4) складається із чотирьох вимірювальних комірок, утворених парами пластин із вмонтованими в них первинними перетворювачами теплового потоку 1-8. Вони встановлені на поверхнях "холодильника" 9 і нагрівача 10, які повернуті один до одного. В тіло холодильника і нагрівача вмонтовані первинні перетворювачі температури 11 та 12. Відстань між тепловірами в комірках визначається товщиною пластин 13 і 14, що виготовлені із матеріалів, атестованих як зразкові міри теплопровідності та теплоємності.

Між собою комірки розділені тепловогоізоляційними вкладишами 15, розміри яких збігаються з розмірами пластин 13, 14. Зразок продукту 16 розміщують у вимірювальних комірках, що утворені парами тепломірів 1 і 2, 3 і 4.

Характеристики продукту розраховують за результатами теплопо- точних вимірювань та з використанням даних про ТФХ еталону (ϵ) -

$$\lambda = \lambda_{\epsilon} \Delta H_m [(q_5 + q_6)^{-1} - (q_7 + q_8)^{-1}] / (\Delta H_{\epsilon} [(q_1 + q_2)^{-1} - (q_3 + q_4)^{-1}])$$

$$cr = (cr)_{\epsilon} \Delta H_{\epsilon} [(q_1 - q_2) - (q_3 - q_4)] / (\Delta H_m [(q_5 - q_6) - (q_7 - q_8)])$$

Дослідження та вдосконалення енергомісткості термотехнологічних процесів і агрегатів.

У п'ятій главі роботи наведені результати дослідження та вдосконалення виробництва заморожених продуктів в блоках. Як об'єкт дослідження цей вид обробки, крім енергомісткості, обрано тому, що обсяги виробництва швидкозаморожуваних продуктів у вигляді блоків (брикетів) зростають у всіх країнах світу. Цікаве воно також тому, що при одномірному заморожуванні блоків застосування навіть технічно можливої на сьогодні потужності енергетичної дії у кінцевому рахунку сприяє збереженню якісних показників продукту. Серед багатьох видів швидкоморозильних агрегатів найбільш досконалими є плиточні апарати.

Було визначено закономірності тепловідведення при заморожуванні блоків м'яса від $T_{10} = -12^{\circ}\text{C}$ до $T_{1k} = -18^{\circ}\text{C}$ у вертикально-, горизонтально-плиточних та роторних апаратах. Встановлено, що при заморожуванні блоків у роторних апаратах (APCA-10/3, APCA-15/3) кінетика теплового навантаження на плити морозильної секції має вигляд згасаючої синусоїди, мінімуми та максимуми якої відповідають крайньому нижньому та крайньому верхньому положенням блока у площині обертання ротора. Такий вигляд кінетичної кривої пояснюється недосконалістю систем розподілення холодоагенту по плитах APCA. Внаслідок недосконалості системи холодорозподілення інтенсивність тепловідведення до крайніх плит триплиточної секції APCA-15/3 на 10-40% вище, ніж до середньої плити. Це призводить до зсуву теплового центру блока відносно його геометричного центру, у бік середньої плити секції та, як наслідок, до зменшення продуктивності апарата.

З метою організації симетричного тепловідведення від продукту збільшено переріз дросельних шайб в лінії холодопостачання середніх плит триплиточних секцій APCA-15/3 від 6 до 10 мм. Усунення залежності енергетичної дії на продукт від місця розташування в апараті

досягнуто шляхом збільшення кратності циркуляції холодоагента з 15 до 25. Це сприяло підвищенню продуктивності апаратів на 15–20%.

Після завантаження продукту морозильна секція переміщується у верхню частину роторного апарата. На початку процесу плити секції звзають максимального теплового навантження. В сукупності це зменшує кількість холодоагенту, який надходить у плити секції. При проектуванні нових зразків роторних апаратів доцільно змінити напрямок обертання ротора на зворотний. В цьому випадку, завантажена секція переміщується внаслідок обертання ротора у нижню частину апарата, куди краще надходить холодоагент.

Усреднюючі криві інтенсивності тепловідведення від блоків продукту при заморожуванні у роторних апаратах та кінетики тепловідведення у горизонтально- і вертикально-плиточному апаратах обов'язково мають злом, який відповідає часу замерзання теплового центра блоку. Ці криві узагальнено рівнянням

$$q/\bar{q} = 2,17 - 5,17\tau/\tau_k + 8,95(\tau/\tau_k)^2 - 5,22(\tau/\tau_k)^3 \mp 0,1$$

Встановлено, що при зменшенні температури холодоагенту від -30°C до -40°C середня за процес інтенсивність тепловідведення збільшується, а тривалість обробки зменшується на 40%. Але, як впливає з ексергетичного аналізу, використання низькотемпературного холоду ($T < 200\text{K}$) поки-що економічно недоцільно. Дані експериментального визначення коефіцієнту тепловіддачі у прямокутних каналах розташованої горизонтально морозильної плити при вимушеному русі переохолодженого хладону R22 ($\alpha = 91,6q^{0,17}\phi^{0,23}$ при: $800 \leq q \leq 10^4 \text{ Вт/м}^2$, $0,035 \leq \phi \leq 0,2 \text{ м/с}$, $5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 10^4$) задовільно узгоджуються з результатами розрахунків за рівнянням В.Д.Попова

$$Nu = 0,008 Re^{0,9} Pr^{0,43} (Pr_p/Pr_{ст})^{0,25} \epsilon$$

При $Re < 5 \cdot 10^3$ вони відрізняються на $\pm 15\%$ за рахунок впливу вільної конвекції. Результати визначення α при вимушеному русі киплячого R22 з кратністю циркуляції $n=10-140$ узагальнені рівнянням

$$Nu = 21,2 Re^{0,43} n^{-0,68}$$

Встановлено, що поліетиленова плівка створює найменший термічний опір у системі продукт-холодоагент [$R = (0,0135-0,0150) \text{ м}^2\text{К/Вт}$] по рівняню з іншими видами пакувальних матеріалів, які використовують. При використанні ламінованого паперу $R = (0,02-0,025) \text{ м}^2\text{К/Вт}$. Одержані дані про R системи продукт-холодоагент в середньому на порядок перебільшують сумарний термічний опір морозильної плити та пакувального матеріалу, що вказує на присутність повітряних шарів по обидва боки пакувального матеріалу. Зменшити ці шари та, відповідно, тер-

мічний опір системи вдалося шляхом збільшення тиску P підпресовки блоку з 5 до 200 кПа, що узагальнено рівнянням $-R = 0,00186P^{-0,67}$. При подальшому збільшенні P спостерігається механічне обезводнювання продукту та виникають труднощі з забезпеченням механічної міцності морозильних секцій.

Товщина H продукту є основним фактором, який визначає тривалість процесу. При зменшенні товщини блоку від 0,1 до 0,05 м тривалість його заморожування зменшується в 2,9-3,0 рази. При $H \rightarrow 0$ середня за процес інтенсивність відводу теплоти збільшується, прямує до максимального початкового значення густини теплового потоку, тривалість заморожування зменшується.

Було проведено експериментальні дослідження та математичне моделювання теплових і температурних навантажень, яких зазнають глибинні шари продукту. При виконанні числових розрахунків процесу використовували одержані нами дані про ТФХ яловичини та свиного м'яса. В області температур $t = (-0-70)^{\circ}\text{C}$, ТФХ яловичини і свинини мають практично однакові між собою значення і можуть бути описані рівняннями:

$$\lambda = 0,479 + 0,0156t, \quad c_p = (3,15 + 0,0061t)10^6$$

У області температур $t = (-20 \dots -25)^{\circ}\text{C}$ яловичина (я) і свинина (с) м'ясо мають практично однакову об'ємну теплоємність але відрізняються за теплопровідністю:

$$c_p = -(0,0741 + 0,04t)^{-1}10^6,$$

$$\lambda_y = 0,969 - 0,0105t, \quad \lambda_c = 0,856 - 0,0110t$$

При моделюванні процесу початкові і граничні умови приводили до безрозмірного виду шляхом віднесення змінних до їх початкового значення. При заданих ТФХ $f(t)$ і товщині H продукту масштаб часу визначали відношенням $(c_p)_0 H^2 / (\lambda_0 \tau_0) = 1$. Для розв'язку системи

$$c_p \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right);$$

$$t(x, 0) = 1; \quad \partial t / \partial x = 0; \quad x = 0;$$

$$\lambda \partial t / \partial x = q; \quad x = 1; \quad q = kq/\bar{q}; \quad k = -\bar{q}H / (t_0 \lambda_0),$$

була застосована стійка двохшарова різницева схема, за допомогою якої диференціальне рівняння було зведено до скінченнорізницевого.

Встановлено, що до моменту досягнення криoscopічної температури у тепловому центрі блока товщина шару продукту, в якому відбувається фазове перетворення, безперервно зростає, а після досягнення швидко зникає. Кінетичні криві верхньої та нижньої границь зони фазового перетворення мають вигляд кубічних парабол. Це суперечить за-

гальноприйнятій думці, що межа зі сталим значенням температури переміщується в глибину об'єкту, який заморожують за законом $h=A\sqrt{t}$. За нашими даними такий закон діє, коли у продукті існують заморожений, заморожуваний та охолоджуемий шари, чи коли заморожують об'єкт нескінченної товщини. Характер зміни теплового навантаження у замороженому продукті практично однаковий для всіх шарів, аж до теплового центра блоку. Це означає, що у замороженому шарі продукту має місце квазістаціонарний перенос теплоти і припущення Р.Планка про відсутність у цього шару теплоємності цілком припустиме.

Проведені дослідження та новий підхід до визначення готовності продукту дозволили розробити методику і одержати формули розрахунку тривалості процесу технологічного заморожування блоків і середнього за процес теплового навантаження

$$\tau_k = \frac{\Delta\rho n}{2\Delta t_o \Delta t_k} \left[R_{II} \Delta t_k + (R_{II} + 0,5 R_m) \Delta t_o \right]; \quad \bar{q} = \frac{2\Delta t_o \Delta t_k}{R_{II} \Delta t_k + (R_{II} + 0,5 R_m) \Delta t_o}$$

де: $\Delta t_o = t_{io} - t_o$; $\Delta t_k = t_{ik} - t_o$; R_{II} та R_m - термічний опір системи продукт-холодоагент та блоку продукту.

В цих формулах, на відміну від формул Р.Планка і Д.Г.Рютова, враховані всі режимні параметри процесу. Результати розрахунку τ_k та $\bar{q}$ за одержаними формулами і визначені експериментально добре узгоджуються між собою.

На підставі експериментальних та аналітичних досліджень доведено, що енергетична установка, яка обслуговує морозильний апарат циклічної дії, зазнає менших коливань навантаження і, отже, працює у більш сприятливих умовах, ніж установка апарата періодичної дії. Амплітуда і частота коливань навантаження на енергетичну установку визначаються режимними параметрами процесу, кількістю секцій в апараті та тривалістю навантажувально-розвантажувальних операцій. Узагальнюючі дані про енергетичну ефективність морозильних агрегатів та виробництв заморожених продуктів у блоках наведені в табл.1.

Проаналізовано енергетичний режим роботи універсального роторного морозильного апарата (УРМА), при розробці і налагоджуванні якого використані результати досліджень автора. Показана економічна та енергетична доцільність двостадійного заморожування продуктів у блоках, де продукт формують у блоки шляхом підморожування у плиточному апараті, а потім доводять до готовності у морозильній камері.

У шостій главі роботи наведені результати дослідження і вдосконалення режимів теплової обробки ковбас. Тут для одержання готового продукту доброї якості на сировину потрібно здійснювати дозо-

Таблиця І

РЕЖИМ РОБОТИ, АПРАТ	МОДИФІКАЦІЯ, ПОЛОЖЕННЯ БЛОКУ	ЗМІНА РЕАКЦІЇ ПРОДІВУ НА ЕНЕРГЕТИЧНУ ДІЮ	ЗМІНА ТЕПЛООВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЕНЕРГЕТИЧНУ УСТАНОВКУ МОДИФІКАЦІЙНОГО АПАРАТУ
ПЕРІОДИЧНИЙ, МЕМБРАННИЙ, АМП		 $\bar{q} = \frac{\Delta i \rho H}{\tau_k}$	 $\bar{q}_y = 1 + \frac{\tau_{\pi}}{\tau_k}$
ЦИКЛІЧНИЙ, АРСА 10/3		 $\frac{\bar{q}_a}{\bar{q}} = (1.9 - 2.7)$	 $\frac{\bar{q}_y}{q_{\min}} = \frac{q_{\max}}{q_{\min}}$ при: $\tau_{\pi} = \frac{\tau_k}{n-1},$ $n > 1$
ЦИКЛІЧНИЙ, АРСА 15/3		 $\frac{\bar{q}_a}{\bar{q}_b} = 1.1 - 1.2$	
ПЕРІОДИЧНИЙ ТА ЦИКЛІЧНИЙ- ДВОСТАДІЙН. УРМД		 $\frac{\bar{q}_1}{\bar{q}_2} = \frac{\tau_{k2}}{\tau_{k1}}$	 $\bar{q}_y$
ПОТОЧНИЙ		 $\frac{\bar{q}_a}{\bar{q}} = (1.9 - 2.7)$	 $\bar{q} = \bar{q}_y$

вану енергетичну дію при жорстко обмежених значеннях режимних параметрів. Аналіз техніки теплової обробки ковбас свідчить, що її розвиток іде шляхом універсализації, тобто у робочому об'ємі одного виробничого агрегата послідовно виконують кілька видів термотехнологічних процесів. Це сприяє кращій організації виробництва та раціональному використанню енергії. Однією з основних задач, що доводиться розв'язувати при створенні універсальних термоагрегатів, є забезпечення одночасної готовності продукту по об'єму камери.

У першій частині глави наведені результати дослідження та розробки режимів теплової обробки варених ковбас.

Результати вимірювання густини теплового потоку, температурного напору та розрахунку коефіцієнта тепловіддачі свідчать, що у термоагрегатах УНДІММП (серія АК) розробникам не вдалося забезпечити повністю рівномірне розподілення енергетичної дії на продукт за робочим об'ємом камери. У цих термоагрегатах продукцію розміщують на підвишених рамах, в робочому об'ємі камери середовище рухається за схемою "знизу - вверху" і омиває батони по довжині.

При обжарюванні величина α залежить від місця батона в робочому об'ємі камери. Так, для батонів, розташованих біля сопел, $\alpha = (32-38)$ Вт/(м²К), що відповідає умовам омивання виробу середовищем зі швидкістю (3,5-4) м/с. В глибині рам $\alpha = (10-15)$, а подекуди 5-8 Вт/(м²К), що нижче рівня при вільній конвекції у великому об'ємі.

При варці коефіцієнт тепловіддачі більш нестабільний у часі ніж під час обжарювання. Так, при обжарюванні $\alpha_{\max}/\bar{\alpha} = (1,3 - 3,2)$, при варці $\alpha_{\max}/\bar{\alpha} = (3-8)$ і для будь-якого ряду батонів може змінюватися від 20 до 200, в окремих випадках до 400 Вт/(м²К). Це залежить від середовища, яке в даний момент омиває батон: залишки димоповітряної суміші, пароповітряна суміш чи пара. Кінцева температура виробу по об'єму камери досягалась не одночасно, мав місце брак продукції.

Шляхом переходу на ручне керування процесом та корекцією режимних параметрів нерівномірність теплового та температурного навантажень на продукт по об'єму камери було зменшено. Під час обжарювання димоповітряною сумішшю з $t_0 = (100-110)^\circ\text{C}$ середнє за об'ємом камери значення коефіцієнта тепловіддачі становило 25 Вт/(м²К), при варці паром з $t_0 = 80^\circ\text{C}$ - 100 Вт/(м²К). Для повного усунення нерівномірності енергетичної дії на продукт система розподілення робочого середовища термоагрегатів АК потребує конструкторського доопрацювання.

У термоагрегатах поточної термообробки ковбас виробу розміщують у лужках і теплообмін йде при поперечному омиванні батона середовищем. У зв'язку з цим було досліджено вплив температури 100-130^oC, швидкості руху (2-6) м/с, а також кута атаки $\varphi = (0-90)^\circ$ потоку повіт-

ря на кінетику та динаміку теплових і температурних навантажень, якіх зазнає продукт. Одержані результати добре узгоджуються з положеннями класичної теорії конвективного теплообміну циліндру. Таким чином, втрата маси продуктом під час обробки в межах 3-5% від початкової не впливає на характеристики теплообмінного процесу.

Нерівномірність α по колу батона, яка має місце при поперечному омиванні виробу потоком середовища, ускладнює визначення кінцевої температури виробу та тривалості процесу обжарювання. Тут, замість ізотерми - лінії теплових центрів, яка збігається з вісью батона при повздовжньому омиванні виробу середовищем, теплові центри розташовані по поверхні. Кривизна поперечного перерізу цієї поверхні і її положення, по відношенню до геометричної осі батону, залежать від умов ведення обробки.

Для визначення раціональних параметрів термообробки ковбас сформульована та вирішена задача конвективного теплообміну нескінченного батону-циліндру радіусом R

$$\frac{\partial t(r, \tau)}{\partial \tau} = \alpha \left[\frac{\partial^2 t(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right]; \quad 0 < r < R; \quad \tau > 0;$$

$$t(r, 0) = f(r); \quad \left. \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right|_{r=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right|_{r=R} = \alpha [t_{o1} - t(r, \tau)]$$

При вирішенні вважали, що початкова температура продукту ($t_o = 12^\circ\text{C}$), оптимальна температура на осі батона в кінці обжарювання ($t_{цк1} = 50^\circ\text{C}$), оптимальна температура середовища при варці ($t_{c2} = 80^\circ\text{C}$) та кінцева температура в центрі виробу ($t_{цк2} = 72^\circ\text{C}$) відомі. Для мінімізації енерговитрат на ведення теплової обробки потрібно, щоб температура на поверхні виробу $t_{пк1}$ в кінці обжарювання дорівнювала t_{c2} . В протилежному випадку, при $t_{пк1} > t_{c2}$, мають місце перевитрати енергії, або, при $t_{пк1} < t_{c2}$, збільшується загальна тривалість обробки. Вважаючи, що коефіцієнт тепловіддачі α і температура середовища t_{o1} під час обжарювання не змінюються, знаходили такі значення α і t_{o1} , при яких температура в центрі та на поверхні виробу наприкінці обжарювання досягнуть заданих значень за мінімальний час за умовою, що t_{o1} менше допустимої величини.

За результатами розрахунків раціональних режимних параметрів процесу обжарювання варених ковбас побудовано номограму $\tau_{к1} = f(t_{o1}, \alpha, q_o, 2R)$. Для поширених діаметрів батонів розрахункові дані описані системами рівнянь виду: $\tau_{к1} = A - B/t_{o1} = (C\alpha + D)^{-1} = E + F/q_o$. Значення коефіцієнтів систем наведені в табл.2.

Таблиця 2.

2R, мм	A	B	C	D	F	K
50	23,9	747	$3,16 \cdot 10^{-4}$	0,0472	13,5	13,4
75	55,0	1864	$1,57 \cdot 10^{-4}$	0,0281	28,7	23,4
100	103	3862	$0,93 \cdot 10^{-4}$	0,0124	50,2	31,3

Ведення обробки за розрахованими параметрами забезпечує максимальну швидкість досягнення фіксованої середньоентальпійної температури продукту (максимальну швидкість підведення дозованої кількості енергії) при додержанні обумовленої технологією температури його центру.

У другій частині глави наведені результати досліджень і розробки режимів коптіння і сушіння сирокопчених ковбас при пульсаційній подачі середовища у робочий об'єм універсальної термокамери.

Результати вимірювання полів температури та швидкості руху середовища свідчать, що розробітникам універсального термоагрегата "Sara" також не вдалося забезпечити повністю рівномірне розподілення параметрів за робочим об'ємом камери. Тут рух середовища у камері здійснюється за схемою "зверху-вниз-вверх". Швидкості руху потоку середовища на виході із сопел розподільчих каналів (v_1, v_2) та на виході у витяжний v змінювалися за синусоїдним законом:

$$v_1 = 7 + 4,5 \sin 0,314t, \quad v_2 = 7 + 4,5 \sin(0,314t - \pi),$$

$$v = 1,23 + 0,25 \sin(0,314t - 0,5\pi)$$

Для усунення кривизни полів параметрів в об'ємі камери переріз розподільчих та витяжного каналів слід робити змінним за довжиною.

Величини діючих значень швидкостей руху середовища за об'ємом камери залежать від ступеню завантаження та способу розташування ба тонів на рамах. При коридорному розміщенні 162 батонів на рамі система має гідродинамічний опір такий же, як у випадку розміщення 198 батонів у шаховому порядку.

На підставі аналізу літературних джерел та існуючих технологічних інструкцій були спрогнозовані та випробувані декілька варіантів технологічних регламентів коптіння і сушіння ковбас при пульсаційній подачі середовища. Контрольні партії виробів обробляли за класичною технологією. На підставі хімічних і мікроструктурних аналізів, результатів визначення розподілу вологи за поперечним перерізом батонів та ТФХ продукту, які робили на протязі процесів, а також з урахуванням енерговитрат були обрані кращі технологічні регламенти обробки ковбас.

За обраним регламентом процес коптіння розбито на 11 етапів різ-

ної тривалості. На кожному етапі після 3-5 годин пульсаційної подачі повітря при $v=0,3$ м/с у камеру протягом години подається дим та на три години вимикається енергоживлення. За годину до подачі диму на кожному з етапів змінюється температура та вологість середовища. На протязі всього процесу значення цих параметрів змінюються від 24°C і 92% до 16°C і 79%. Тривалість коптіння складає 3 доби.

Сушіння виробів також здійснюється при пульсаційній подачі середовища у камеру. Параметри середовища під час сушіння становлять - $v=0,3$ м/с, $t=13^{\circ}\text{C}$, $\varphi=76\%$, тривалість процесу - 24-28 діб.

Результати визначення ТФХ ковбаси "Майкопська" в діапазонах температур $t=(5-30)^{\circ}\text{C}$ та вмісту води $W=(28,5-51,5)\%$ узагальнені рівняннями:

$$\lambda = 0,22 + 0,0038W; \quad \alpha = [1,175 + 0,135t + 0,029W - (23t^2 + Wt - 0,03Wt^2)10^{-3}]$$

Сирокопчені ковбаси "Зерниста" та "Московська" мають таку ж об'ємну теплоємність, що і "Майкопська", але у зв'язку з різним вмістом жиру ($Ж$) їх теплопровідності відрізняються

$$\lambda = 0,359 Ж^2 - 0,799Ж + 0,61 \mp 0,00385 \quad \text{при: } 0,4 < Ж < 1$$

У сьомій главі наведено результати прямих вимірювань теплових і температурних навантажень на поверхневий та глибинні шари продукту під час конвективного сушіння та результати розрахунку коефіцієнту тепловіддачі. За результатами аналізу точності вимірювання теплових і температурних навантажень (максимальний небаланс енергії складав 28%) висловлено сумнів відносно зменшення α на протязі сушіння, як це дано в літературі. За нашими даними, при сушінні яблук у шарі [$t_c=(80-83)^{\circ}\text{C}$, $v_c=1\text{м/с}$] величина α практично не змінювалась і складала $(12-15)$ Вт/(м²К).

На підставі аналітичних досліджень розроблена модель та побудована діаграма зміни густини яблучної сировини в процесах теплової обробки, які супроводжуються зміною вологості продукту. Результати експериментальних досліджень зміни фізичної густини під час сушіння деяких сортів яблук та об'ємної маси шару, сформованого з їх часток, задовільно узгоджуються з теоретичною моделю. У вигляді таблиць та узагальнюючих рівнянь наведені результати досліджень ТФХ 20 найменувань виробів рослинного походження в залежності від температури, вмісту води та густини продукту. Враховуючи лінійну залежність теплопровідності і теплоємності деяких виробів з рослинної сировини від температури та від вмісту води (табл.3), ми розробили методику контролю якості цих продуктів з використанням ТФХ-компаратора.

Таблиця 3.

Узагальнення ТФХ деяких рослинного походження.

Продукт	ТФХ	Коефіцієнти рівняння: $TФХ = A + Bt + Cw + Dwt + E$					Межа застосування
		A	B	C	D	E	
Яблука	λ	0,451	0,00136	--	--	0,002	W=0,857
	c	3,848	0,00013	--	--	0,200	20<t<80
Ред Делішес	λ	0,199	0,00116	--	--	0,002	W=0,535
	c	2,913	0,00043	--	--	0,020	20<t<80
	λ	0,058	0,00025	--	--	0,001	W=0,069
	c	1,425	0,00149	--	--	0,010	20<t<80
Яблука	λ	0,350	0,00119	--	--	0,002	W=0,768
	c	3,500	0,00021	--	--	0,02	20<t<80
Кальвіль сніговий	λ	0,122	0,00050	--	--	0,001	W=0,318
	c	2,363	0,00080	--	--	0,02	20<t<80
	λ	0,066	0,00019	--	--	0,001	W=0,046
	c	1,365	0,00149	--	--	0,04	20<t<80
Вичавки яблук	λ	0,310	0,00025	--	--	0,001	W=0,675
	c	1,225	0,01125	3,07	-0,0113	0,11	W=0,105 0,1<W<0,7 20<t<80
Вичавки мандаринів	λ	0,0467	0,00035	0,18	--	0,003	0,06<W<0,24
	c	0,950	0,150	3,95	--	0,150	20<t<80
Горох	λ	0,050	--	0,144	0,00258	0,008	0,04<W<0,53 10<t<70 t=20
	c	0,420	--	0,0377	--	0,050	
Диня	λ	0,090	0,0003	--	--	0,004	W=0,07
	c	1,625	0,000625	2,575	2,575	0,1	0,07<W<0,93 20<t<60
Виноград	λ	0,130	0,00033	0,420	0,00155	0,01	0,14<W<0,77
	c	1,50	0,0125	2,70	-0,01250	0,10	20<t<60
Барда	λ	0,190	--	0,365	0,00188	0,01	0,30<W<0,68
	c	1,133	0,0133	2,497	-0,00747	0,14	0<t<80
Меляса	λ	0,22	0,0002	0,335	0,00170	0,01	0,18<W<0,30
	c	1,30	0,0112	2,880	0,01120	0,10	-10<t<40
Рис-зерно	λ	0,0616	0,043	0,12	0,00061	0,03	0,12<W<0,33
	c	1,08	0,0117	0,0184	--	0,07	5<t<50

Дослідження та розробка процесів і обладнання електричної обробки харчових продуктів.

У восьмій главі роботи наведені результати досліджень і вдосконалення поширених у харчовій промисловості електротермічних процесів та апаратів.

Вважають, що апарати електроконтактної термічної обробки забезпечують рівномірне за об'ємом нагрівання рідких продуктів. При нагріванні крові забійних тварин електричним струмом промислової частоти (електроди апарата виконані з графіту) в окремих точках приелектродних шарів продукту температура зростала з більшою швидкістю, ніж в товщі продукту. Це може бути пояснено появою у систем електрод - продукт додаткового електричного опору, який утворюють кульки газу.

З метою поглибленого вивчення фізичної суті цього явища розглянуто модель контактуючої з продуктом неоднорідної поверхні електрода, опуклості і западини якої є частинами еліпсоїдів обертання. Для аналізу розвитку тепло- та електрофізичних процесів рішення системи

$$(\text{op}_1) \frac{\partial t}{\partial \tau} - \lambda_1 \Delta t = \vec{\delta} \cdot \vec{E} - Q(t); \quad \nabla \cdot \vec{\delta} = 0; \quad \nabla \cdot \vec{E} = 0; \quad \vec{\delta} = g_1(t) \vec{E};$$

шукали як суму незбуреного $\vec{E}$, t_0 та збуреного $\delta \vec{E}$, δt розв'язків

$$t = t_0 + \delta t; \quad \vec{E} = \vec{E}_0 + \delta \vec{E}; \quad \delta \vec{E} = \delta \vec{E}_m \exp(j\vec{k} \cdot \vec{r} - j\omega t); \quad \delta t = \delta t_m \exp(j\vec{k} \cdot \vec{r} - j\omega t);$$

де: g_1 - електропровідність продукту; $\vec{\delta}$, $\vec{E}$ - локальні густини струму та напруженості електричного поля; $Q(t)$ - втрати енергії, пов'язані з акумулюванням теплоти поверхнею електрода; $\delta \vec{E}_m$, δt_m - амплітудні значення збурень; $\vec{k}$ - хвильовий вектор; $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ - радіус-вектор; ω - частота збурень; $j = \sqrt{-1}$ - уявне число.

З аналізу рішень випливає, що оскільки електропровідність матеріалу електродів більша ніж продукту, то максимуми густини струму будуть розташовані на вершинах виступів електродів. Це приводить до концентрації джоулевої енергії, яка виділяється в продукті біля виступів, і як наслідок, до перегрівання продукту.

Для усунення теплової нестійкості в приелектродних шарах продукту поверхні електродів апарата слід обробляти за високим класом чистоти. З метою довгочасової експлуатації апарата електроди доцільно виготовляти з твердих матеріалів.

На підставі енергетичного аналізу виробничої ділянки електроконтактного нагрівання крові показано, що для узгодження продуктивності апаратів електричну схему їх під'єднання до джерела енергії

потрібно обирати з урахуванням температурних залежностей величин та співвідношень значень тепло- і електрофізичних характеристик продуктів.

Узагальнено результати досліджень тепло- і електрофізичних характеристик продуктів сепарування крові тварин та освітленої крові. В координатах λ від W дані про теплопровідність води, фізіологічного розчину, плазми крові, формених елементів, яловичини та свинного м'яса, а також риби при $t = \text{const}$ добре укладаються в прямі лінії та при $0,7 \leq W \leq 1$, $0 \leq t, ^\circ\text{C} \leq 60$ ідентифікуються рівнянням

$$\lambda = 0,206 - 0,000144 t + 0,349 W t,$$

з якого випливає температурна залежність λ_c сухих речовин продуктів тваринного походження - $\lambda_c = 0,206 - 0,000144 t$. Показано, що відношення електропровідності продуктів з крові до їх теплопровідності із збільшенням температури зростає за лінійним законом. Такий характер зміни комплексу провідностей має місце ще у деяких харчових продуктів, але суперечить закону Відемана - Франца, який одержаний для чистих металів. У освітленої крові виявлено гістерезис характеристик. При охолодженні продукту його криоскопічна температура дорівнює мінус $(3,5-4,5)^\circ\text{C}$, при дефростації - мінус $(2-1,5)^\circ\text{C}$.

При проходженні електричного струму промислової частоти крізь продукт разом з нагріванням відбувається обеззаражування продуктів, зокрема плодово-ягідних пюре.

Дослідженнями встановлено, що при обробці пюре протягом 15 с електромагнітним полем напруженістю $E=120$ В/см у продукті практично повністю знищуються дріжджі. Кількість життєздатних спор плісень при цьому зменшується до $(0,2-0,5)\%$ від початкової.

На підставі дослідно-промислових випробовувань розроблено регламент електростерилізації потоку плодово-ягідного пюре, за яким шар продукту товщиною 11 мм з початковою температурою 30°C протягом $(45-60)$ с обробляють електричним струмом $I=120$ А, $f=50$ Гц від джерела з напругою 110 В. На відміну від стерилізації за традиційною схемою в трубчатому теплообміннику, де в наслідок обробки протягом $(70-150)$ с температура продукту становить $(105-115)^\circ\text{C}$, тут кінцева температура пюре не перевищує 65°C . Це сприяє збереженню якісних показників продукту, дозволяє без зайвих витрат енергії на охолодження здійснювати фасування виробу у полімерну тару. При обробці за розробленим регламентом стерильність плодово-ягідних пюре відповідає нормам ТУ РСТ 1595-86.

Обробку багатьох видів продуктів, в тому числі смаження м'ясних напівфабрикатів ведуть з використанням апаратів непрямого нагріван-

ня електричним струмом – електроплит.

Досліджено кінетику теплових та температурних навантажень, що зазнають поверхневі та глибинні шари напівфабрикату при смаженні за традиційним способом. Встановлено, що для забезпечення піджаристої корочки виробу доброї якості, при температурі гріючої поверхні плити $(160-170)^{\circ}\text{C}$, середня за етап потужність енергетичної дії повинна становити $9,5 \text{ кВт/м}^2$. Розроблено та запропоновано до впровадження комбінований спосіб смаження напівфабрикатів в якому на відміну від традиційного способу обробку продукту здійснюють в одному технологічному апараті, усунена операція перегортання продукту. За цим способом енергію до продукту одночасно підводять з двох боків – від електроплити та ІЧ-випромінювача.

Досліджено вплив температури та вологості середовища в апараті, виду ІЧ-випромінювача та його відстані до продукту на кінетику теплових і температурних навантажень, яких зазнають поверхневий та глибинний шари продукту, тривалість процесу та втрати маси продуктом, якісні показники виробу при смаженні за комбінованим способом, встановлено, що потрібна потужність енергетичної дії та якісні показники виробу досягаються при використанні ІЧ-випромінювача з довжиною хвилі $2,8-3 \text{ мкм}$, що забезпечує тен з температурою поверхні $720-750^{\circ}\text{C}$, при відстані 100 мм до продукту. Найбільш доцільнішими значеннями параметрів середовища є: температура – $(265-275)^{\circ}\text{C}$, вологість – $(36-38)\%$. При обробці напівфабрикату в таких умовах протягом 600 с втрати маси продуктом не перевищують 25% від маси готового виробу, що є не гірше ніж при смаженні за традиційним способом.

У дев'ятій главі роботи наведені результати дослідження та розробки енергетичної частини імпульсної електротехнологічної установки. У загальному випадку ця частина складається з джерела та накопичувачів електричної енергії. Для усунення впливу установки на показники якості енергії підприємства, враховуючи економічність, простоту конструкції та надійність у експлуатації, за джерело енергії обрано автономний асинхронний генератор (ААГ) з короткозамкненим ротором. Для збудження машини використали конденсатори, які додатково виконують функцію накопичувачів енергії.

Для аналізу електро механічних процесів, що відбуваються в ААГ при роботі в імпульсному режимі, на підставі узагальненої теорії електричних машин були складені рівняння, які зв'язують струми і напруги m - n -фазної асинхронної машини та ємнісних накопичувачів:

$$u_s = d/dt(\phi_k^s) + r_k^s i_k^s = d/dt \left(\sum_{j=a}^m L_{kj}^{ss} i_j^s + \sum_{j=a}^n L_{kj}^{sr} i_j^r + r_k^s i_k^s \right)$$

$$u_r = d/dt(\phi_k^r) + r_k^r i_k^r = d/dt \left(\sum_{j=a}^n L_{kj}^{rs} i_j^s + \sum_{j=a}^n L_{kj}^{rr} i_j^r + r_k^r i_k^r \right)$$

$$M = d/dt(J\dot{\varphi}) + \alpha\dot{\varphi} + 0,5 \sum_{i=a}^m \sum_{j=a}^n \partial/\partial\varphi(L_{ij}^{sr}) i_i^s i_j^r - 0,5 \sum_{i=a}^n \sum_{j=a}^m \partial/\partial\varphi(L_{ij}^{rs}) i_i^r i_j^s - \\ - 0,5 \sum_{i=a}^m \sum_{j=a}^m \partial/\partial\varphi(L_{ij}^{ss}) i_i^s i_j^s - 0,5 \sum_{i=a}^n \sum_{j=a}^n \partial/\partial\varphi(L_{ij}^{rr}) i_i^r i_j^r$$

де величини: u , i - миттєве значення, відповідно, напруги та струму; r - активний опір; L - індуктивності власні і взаємні; φ - потокозчеплення; M - електромагнітний момент; j - момент інерції; індекси: верхні - показують належність величин до: s - статорних контурів, r - роторних контурів; нижні - показують належність величин до контуру k , де k може приймати значення $a, b, \dots, n, m$ або $1, 2, 3, \dots, n$.

Шляхом еквівалентних перетворень ці рівняння привели до вигляду зручного для числового розрахунку гармонікового складу струмів та напруг (параметрів) імпульсної установки.

Проаналізовано гармонічний склад параметрів системи для восьми схем з'єднання статорних обмоток ААГ та емнісних накопичувачів. Для схеми зірка-зірка з нейтральним проводом (Y-0-Y) при розрядах накопичувачів через період T генерованої напруги параметри системи містять в собі постійну складову, основну і та всі вищі $2, 3, \dots, n$ гармоніки. Для схеми Y-Y при розрядах через $T/2$ параметри системи містять $1, 5, 7, 11, \dots$ гармоніки. Таким чином, струми та напруги системи для з'єднання Y-Y, на відміну від попередньої схеми, не мають парних гармонік і гармонік нульової послідовності (кратних 3), та, отже, з'єднання Y-Y є більш енергодоцільним.

З метою ґрунтовного дослідження енергетичних показників імпульсної системи з рівнянь енергетичного балансу розраховано залежності активної потужності, напруги на конденсаторах в момент розряду, фазних напруг і струмів генератора, $\cos \varphi$ від частоти обертання ротору машини, величини ємності, частоти та кута розряду накопичувачів для схем з'єднання Y-0-Y та Y-Y. Встановлено, що для кожної схеми існує оптимальне значення кута імпульсного розряду накопичувачів, якому відповідає максимальна напруга на конденсаторах. Для схеми з'єднання Y-Y розрядна напруга на конденсаторах U_n більша, ніж при з'єднанні Y-0-Y. Тому, при однаковій ємності C , у разі використання схеми

У-У досягається більш потужна енергетична дія на продукт ($W=0,5CU^2$) ніж при з'єднанні за схемою У-О-У. У зв'язку із залежністю ємності накопичувачів від частоти обертання ω ротору машини $C=I/(\omega U_H)$, система, при всіх схемах з'єднання, має більшу потужність при меншій ω .

В результаті дослідження фізичних процесів доведено, що при аналізі роботи ААГ в імпульсних режимах з'єднання обмотки машини споживача та накопичувачів енергії не можна вважати паралельним, як це має місце у звичайних режимах роботи генератора. В імпульсних режимах обмотки машини практично відключені від споживача імпульсів і генератор працює тільки на зарядку ємності. Це дає можливість при використанні малопотужного генератора створювати в апараті потужну енергетичну дію на продукт.

При експериментальних дослідженнях функції генератора виконувала асинхронна машина номінальною потужністю 4 кВт, яку обертали за допомогою двигуна постійного струму. Була розроблена та виготовлена схема керування електроімпульсною установкою.

Осцилограми струмів і напруг системи добре узгоджуються з результатами теоретичних досліджень. Для кожної схеми з'єднання було одержано залежності струму, напруги і ковзання магнітного поля машини, величини розрядної напруги накопичувачів та потужності системи від швидкості обертання ротора генератора, ємності конденсаторів та активного опору споживача. Встановлено, що кращі енергетичні показники система має при з'єднанні У-У, коли розряди відбуваються через $T/2$ генеруємої напруги. При куті розряду накопичувачів 60° система розвивала активну потужність до 80% від номінальної потужності машини. Потужність в імпульсі при цьому складає 450 кВт.

В десятій главі роботи наведені результати дослідження та розробки принципово нової елементної бази обладнання харчових виробництв на основі матеріалів з ефектом пам'яті форми (ЕПФ). Суть ЕПФ полягає в тому, що матеріал, будучи нагрітим до певної температури, "згадує" форму, яка була надана йому при відпаленні, генеруючи при цьому значне механічне зусилля. При охолодженні матеріал втрачає міцнісні властивості і легко деформується незначним зусиллям. Подібні цикли можуть багаторазово повторюватися. Найбільш повно ЕПФ проявляється у нікеліду титану (нітінолу).

Досліджено тепло-, електрофізичні та механічні характеристики нітінолу. В залежності від напрямку зміни температури характеристики матеріалу мають гістерезис. В діапазоні температур $(-100..100)^\circ\text{C}$ істинна теплоємність матеріалу становить $(500-550)\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. В діа-

пазоні температур "згадування" форми, що визначається складом сплаву, функція $c(t)$ має пік, площа якого є прихованою теплотою мартенситного перетворення, її величина становить 22801 Дж/кг. На 0м-градусній характеристиці максимум відповідає початку, а мінімум - закінченню мартенситного перетворення, при охолодженні - навпаки. Зазначені характеристики узгоджені з залежністю деформація-температура. Показано, що при зовнішніх навантаженнях до 200 МПа температурного зсуву характеристик ще не відбувається.

Створена математична модель приводного пристрою на основі матеріалу з ЕПФ при ініціюванні ЕПФ в робочому органі електричним струмом. Модель дозволяє прогнозувати роботу будь-яких приводних пристроїв. В математичному відношенні вона зводиться до задачі Коші - розв'язку системи диференціальних рівнянь з нелінійними коефіцієнтами. Електричні процеси, що відбуваються при нагріванні матеріалу, розглядаються як квазіусталені. Експериментальна апробація моделі з достатнім ступенем точності підтверджує її адекватність реальним фізичним процесам.

Розроблено приводний пристрій на основі матеріалу з ЕПФ, який може замінити існуючі механічні та електромагнітні приводи зворотньо-поступального руху. Він відрізняється малими масогабаритними та часовими характеристиками. Час спрацювання приводу при імпульсному ініціюванні ЕПФ електричним струмом може бути доведеним до (0,03-0,04)с. Обґрунтовано та розроблено схему керування приводом.

Висновки за темою роботи.

1. Проблема раціонального використання теплової та електричної енергії у харчовій промисловості є комплексною. Вона може бути вирішена шляхом подальшого вдосконалення процесів і обладнання, які засновані на традиційних методах термічної обробки харчової сировини, при одночасній розробці та впровадженні ефективних процесів і обладнання електротехнологічної обробки продуктів, які б негативно не впливали на показники якості енергії підприємства.

2. Для вдосконалення термотехнологічних процесів і обладнання харчових виробництв та раціонального використання енергії необхідні нові методи і засоби контролю та вимірювання режимних параметрів обробки продуктів, які б дозволяли одержувати вірогідну інформацію про хід процесів в умовах зміни (коливання) значень параметрів у широких діапазонах. В зв'язку з цим розроблено та впроваджено пристрої вимірювання густини нестационарного теплового потоку, темпера-

турно-вологісного стану та швидкості руху робочих середовищ, тепло-фізичних характеристик продуктів, які за показниками перевершують наявні аналоги.

3. За зміною в часі та просторі реакції продукту на енергетичну дію можна визначати ефективність процесів та апаратів термічної обробки харчових продуктів. Це підтверджують результати досліджень процесів теплової і холодильної обробки продуктів в сучасних термотехнологічних агрегатах.

4. Визначення тривалості термотехнологічних процесів за зміною середньоентальпійної температури продукту дозволяє при мінімальних енерговитратах одержувати якісні готові вироби. В зв'язку з цим, розроблено і впроваджено принципово новий метод та створено систему автоматизованого контролю тривалості процесів термічної обробки харчової сировини, де готовність продукту визначається за кількістю підведеної (відведеної) енергії.

5. Зміна в часі навантаження на енергетичну установку, яка обслуговує термотехнологічні апарати, визначає міру досконалості виробництва. Це підтверджено результатами досліджень навантажень, що зазнають енергетичні установки апаратів періодичної, циклічної та безперервної дії.

6. При веденні термічної обробки до фіксованої температури в обумовленій точці продукту значення режимних параметрів процесу повинні бути жорстко пов'язані між собою. Це забезпечить однакові енерговитрати та одержання якісного готового виробу.

7. Використання комбінованого підводу енергії до продукту, що обробляють, а також змінення режимних параметрів за спеціальними програмами дає можливість інтенсифікувати термотехнологічні процеси, покращити технічні та енергетичні показники апаратів. Це підтверджують результати впровадження розроблених способів контіння та сушіння сирокочнених ковбас, смаження м'ясних напівфабрикатів.

8. Для запобігання браку харчової продукції при електроконтактній обробці сировини потрібно зменшувати шорсткість електродів апарата. Це підтверджують дані аналітичних та експериментальних досліджень явищ, що відбуваються у приелектродному шарі продукту під час обробки в електроконтактному апараті, а також результати впровад-

ження електроконтактних способів нагрівання крові забійних тварин та стерилізації фруктових пюре.

9. Застосування в теплотричних ТФХ-приладах комбінації кількох теплових режимів, а також заміна температурних вимірювань теплоточними сприяють розширенню можливостей приладів та підвищенню точності визначення теплофізичних характеристик продуктів. Це дає змогу використовувати теплотричні ТФХ-прилади в системах контролю термотехнологічних процесів харчових виробництв.

10. Як джерело енергії в імпульсній електротехнологічній установці слід використовувати асинхронний генератор, який працює в автономному режимі. Це дає змогу покращити технічні та енергетичні характеристики установки, усунути вплив її роботи на показники якості електричної енергії підприємства. Результати дослідження процесів, що відбуваються у автономному асинхронному генераторі, для харчової промисловості мають подвійне значення, оскільки на базі цих машин розробляються вітряні електростанції малих харчових виробництв.

11. У приводах, що забезпечують зворотно-поступальний рух робочого органу виробничої машини, як виконавчий пристрій доцільно використовувати матеріал з ефектом пам'яті форми. Це дозволяє зменшити масо-габаритні, часові та енергетичні показники виробничого агрегату.

12. Розробка і впровадження результатів роботи дозволило автору теоретично узагальнити та на практиці вирішити проблему підвищення енергетичної та технологічної ефективності процесів і обладнання термічної обробки харчових продуктів, що підтверджено довідкою про впровадження з загальним річним економічним ефектом 1355,23 тис. рублів у цінах до 1991р.

Публікації за темою роботи.

1. Федоров В.Г., Мазуренко А.Г. Исследования тепловых потоков при выработке вареных колбас. - В кн.: Реферативная информация о НИИ в вузах УССР, Пищевая промышленность, Киев: Вища школа, 1975, вып. 10, С.45-46.
2. Исследование кинетики теплоотвода при замораживании мясных продуктов в блоках. /Федоров В.Г., Мазуренко А.Г., Ионов А.Г., Боголюбовский О.К., Мекеницкий С.Я., Хромов В.И. - Мясная индустрия СССР, 1976, N10, С.37-40.

3. Mazurenko A.G., Chromov V.I., Fedorov W.G. Dynamic of heat flow in freezing meat products by layers. XX European Meeting Meat Workers. Malmö, 1976, vol.1, D 6:1 - D 6:6.
4. Мазуренко А.Г., Коночкин Е.Н., Телешук Е.К. Теплофизические характеристики свиного жира. В кн.: Реферативная информация о НИР в вузах УССР, Пищевая промышленность, Киев: Высшая школа, 1978, вып.13, С.32-33.
5. Численный расчет кинетики тепловых потоков и температур при замораживании. / Мазуренко А.Г., Федоров В.Г., Вирозуб И.Е., Вишняк В.Ф. - Промышленная теплотехника, 1979, N2, С.63-67.
6. Теплофизические характеристики слоя риса-зерна в зависимости от влажности и температуры. / Резчиков В.А., Сорочинский В.Ф., Пахомов В.Н., Мазуренко А.Г. - В кн.: Хранение и переработка зерна, серия "Элеваторная промышленность", -М.: ЦНИИТЭИ Минзема СССР, 1979, вып. 4, С.20-24.
7. Теплометрический метод определения теплопроводности лабильных материалов. / Федоров В.Г., Пахомов В.Н., Декуша Л.В., Мазуренко А.Г. - В кн.: Теплофизика и теплотехника, - Киев: Наукова думка, 1979, вып. 36, С.27-30.
8. Тепломассомеры. / Федоров В.Г., Пахомов В.Н., Декуша Л.В., Мазуренко А.Г., Шубенко Б.П. МинВуз УССР, ВДНХ СССР, 1980. - 8с.
9. Теплометрические приборы для комплексного определения теплофизических характеристик лабильных материалов. / Пахомов В.Н., Мазуренко А.Г., Декуша Л.В., Федоров В.Г. - Промышленная теплотехника, 1981, том 3, N1, с.96-102.
10. Новая теплометрическая аппаратура для исследования и контроля процессов тепловой обработки продуктов питания. / Федоров В.Г., Пахомов В.Н., Декуша Л.В., Мазуренко А.Г. В Сб.: Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания. Харьков, 1981, с.248-249.
11. А.с. N800845 /СССР/. Устройство для определения теплофизических характеристик. /Мазуренко А.Г., Декуша Л.В., Пахомов В.Н., Федоров В.Г. - Оpubл. Б.И., 1981, N4.
12. А.с. N813219 /СССР/. Способ определения теплофизических характеристик зерновых материалов /Пахомов В.Н., Мазуренко А.Г. Декуша Л.В., Федоров В.Г. - Оpubл. Б.И., 1981, N10.
13. А.с. N817563 /СССР/. Способ комплексного определения теплофизических характеристик. / Пахомов В.Н., Федоров В.Г., Мазуренко А.Г., Шубенко Б.П. - Оpubл. Б.И., 1981, N12.
14. А.с. N875222 /СССР/. Датчик теплового потока. / Декуша Л.В., Мазуренко А.Г., Федоров В.Г., Геращенко О.А., Грищенко Т.Г. - Оpubл. Б.И., 1981, N39.

15. Пахомов В.Н., Мазуренко А.Г., Федоров В.Г. Метод исследования теплофизических характеристик лабильных пищевых продуктов в регулярном режиме второго рода. - Промышленная теплотехника. 1982, том 4, N1, с.62-68.
16. А.с. N911275 /СССР/. Устройство для определения теплофизических характеристик материалов. / Декуша Л.В., Федоров В.Г., Грищенко Т.Г., Герашенко О.А., Мазуренко А.Г., Пахомов В.Н., Шаповалов В.И. - Оpubл. В.И., 1982, N9.
17. Heat Flux Meters for Comprehensive Measurement of Thermophysical Properties of Readily-Spoiled Foodstuffs. / Pakhomov V.N., Dekucha L.V., Fedorov V.G., Mazurenko A.G. Heat Transfer, Sov. Res. 1982, vol. 14, s. 39-47.
18. Пахомов В.Н., Федоров В.Г., Мазуренко А.Г. А.с. N922604 Способ определения теплопроводности и объемной теплоемкости материалов. - Оpubл. В.И., 1982, N15.
19. Федоров В.Г., Мазуренко А.Г. Применение тепломера для контроля процессов обработки мяса. - Мясная индустрия СССР. 1983, N1, с.39-40.
20. Тепломассообменные характеристики некоторых продуктов питания для условий кулинарной обработки. / Федоров В.Г., Пахомов В.Н., Мазуренко А.Г., Черная С.В., Неверов И.Г., Декуша Л.В., Скарбовичук А.М. В кн.: Проблемы экономии энергоресурсов при создании и эксплуатации торговотехнологического оборудования. -Самарканд. 1983, с.123-124.
21. Теплофизические характеристики крови и продуктов ее переработки. / Павленко В.И., Бабанов Г.К., Мазуренко А.Г., Федоров В.Г. - Мясная индустрия СССР. 1983. N7, с.32-34.
22. Комплексное определение теплофизических характеристик мяса. / Мазуренко А.Г., Федоров В.Г., Черная С.В., Павленко В.И. - Мясная индустрия СССР. 1984, N1, с.32-34.
23. Мазуренко А. Г. Определение продолжительности замораживания мяса в блоках. - Мясная индустрия СССР. 1984. N4, с.34-35.
24. Исследование процессов жарения кулинарных изделий с использованием теплометрических датчиков. / Юлин А.В., Литус Ю.Ф., Мазуренко А.Г., Федоров В.Г. В сб.: Проблемы индустриализации общественного питания страны. - Харьков. 1984, с.345-346.
25. Электропроводность крови убойных животных. / Павленко В.И., Шиланов Е.М., Бабанов Г.К., Мазуренко А.Г. - Мясная индустрия СССР. 1984, N12, с.37-38.
26. Исследование теплообмена при обработке колбас потоком горячего воздуха. /Жирный П.А., Рубаник В.В., Мазуренко А.Г., Федоров В.Г. В сб.: Новая технология и техника для внедрения в мясной промышленности малоотходного и безотходного производства. -Киев. УкрНИНТИ, 1984, с.14-19.

27. Исследование теплофизических характеристик крови и продуктов ее переработки. / Павленко В.И., Бабанов Г.К., Мазуренко А.Г., Федоров В.Г. В сб.: Новая технология и техника для внедрения в мясной промышленности малоотходного и безотходного производства. - Киев. УкрНИИТИ, 1984, с.20-28.
28. Перспективы применения материалов с эффектом памяти формы. / Вакуленко С.Е., Мазуренко А.Г., Романенко М.Т., Фаткуллина Л.П., Алешина Т.В. В сб.: Сверхупругость, эффект памяти формы и их применение в новой технике. - Томск. 1985, с.201.
29. Электрические свойства никелида титана. / Вакуленко С.Е., Мазуренко А.Г., Кравченко Ю.Д., Чернявский А.Г., Фаткуллина Л.П. В кн.: Сверхупругость, эффект памяти формы и их применение в новой технике. - Томск. 1985, с.228-229.
30. Теплометрия процесса жарения изделий в условиях различной влажности среды. / Литус Ю.Ф., Клин А.В., Мазуренко А.Г., Федоров В.Г. - Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1986, N 3, с.28-30.
31. Мазуренко А.Г., Федоров В.Г. Теплообмен в каналах плит скороморозильных агрегатов. В сб.: О повышении роли молодых ученых и специалистов в ускорении научно-технического прогресса в мясной и молочной промышленности. - М.: 1985, с.124-126.
32. Влияние режимных параметров на эффективность замораживания мяса в блоках. / Мазуренко А.Г., Федоров В.Г., Духненко Н.П., Скибин С.В. В кн.: О повышении роли молодых ученых и специалистов в ускорении научно-технического прогресса в мясной и молочной промышленности. - М. 1985, с.127-129.
33. Выбор ИК-генераторов для жарения мясных продуктов. / Литус Ю.Ф., Клин А.В., Мазуренко А.Г., Федоров В.Г. - Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1985, N5, с.93-95.
34. Обоснование параметров жарки мясной кулинарной продукции с использованием ИК-нагрева. / Литус Ю.Ф., Клин А.В., Мазуренко А.Г., Федоров В.Г. В сб.: Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. - М.: 1985, с.103-104.
35. Электро- и теплофизические характеристики продуктов сепарирования крови. / Федоров В.Г., Мазуренко А.Г., Бабанов Г.К., Павленко В.И. В кн.: Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. М. 1985, с.220-222.
36. Бабанов И.Г., Мазуренко А.Г., Коломиец Д.П. Комплексное определение теплофизических характеристик сырокопченых колбас. В кн.: Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. - М. 1985, с.258.
37. Теплометрическое исследование традиционного способа жарения мясных рубленых кулинарных изделий. / Клин А.В., Литус Ю.Ф., Федоров В.Г., Мазуренко А.Г. В сб.: Общественное питание. - Киев. Техника. 1985, вып.21, с.97-100.

38. Измерение теплофизических характеристик сырокопченых колбас. /Бабанов И.Г., Мазуренко А.Г., Коломиец Д.П., Минаев А.И. - Мясная индустрия СССР. 1986, N2, с.42-43.
39. Выравнивание тепловой нагрузки на холодильную установку морозильного аппарата. /Мазуренко А.Г., Федоров В.Г., Духненко Н.П., Скибин С.В. - Холодильная техника. 1986, N4, с.41-52.
40. Влияние плотности тепловых потоков на качество мясной жареной кулинарной продукции. /Литус Ю.Ф., Юлин А.В., Мазуренко А.Г., Федоров В.Г. В сб.: Пищевая промышленность. - Киев. Техника. 1986, вып.32, с.66-69.
41. Вакуленко С.Е., Мазуренко А.Г., Фаткуллина Л.П. К вопросу определения коэффициента полезного действия термомеханических преобразователей. В сб.: Приборы, соединительные конструкции на основе эффекта памяти формы. - М. 1986, с.188-192.
42. А.с. N12229419 / СССР /. Термомеханический электропривод. Борисенко В.Я., Вакуленко С.Е., Мазуренко А.Г., Орлов Н.Н., Романенко М.Т. - Опул. Б.И., 1986, N17.
43. А.с. N1262351 / СССР /. Способ определения теплофизических характеристик материалов. / Мазуренко А.Г., Иванов В.Е., Пахомов В.Н., Федоров В.Г., Коломиец Д.П., Бабанов Г.К., Павленко В.И. - Опул. Б.И., 1986, N37.
44. A study into thermophysical and heat - mass exchange characteristics of raw-smoked sausages during manufacture. / I.G. Babanov, S.I. Sukanova, A.M. Brazhnikov, A.G. Masurenko. 33-rd international congress of meat science technology (European meeting of meat workers), Helsinki, 1987, vol.2, p.350-352.
45. Коломиец Д.П., Мазуренко А.Г., Снежкин Ю.Ф. Прибор для определения теплопроводности и контроля влажности сыпучих материалов. В сб.: Методы и средства теплофизических измерений. - Севастополь. 1987, ч.1, с.45.
46. Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Мазуренко А.Г. Термоэлектрический преобразователь для измерения нестационарного теплового потока. В кн.: Методы и средства теплофизических измерений. Севастополь. 1987, с.163.
47. А.с. N1318885 / СССР /. Способ определения теплофизических характеристик влажных капиллярно-пористых материалов. / Иванов В.Е., Пахомов В.Н., Федоров В.Г., Мазуренко А.Г., Коломиец Д.П. - Опул. Б.И., 1987, N23.
48. Термообработка сырокопченых колбас в камере с пульсационной подачей рабочей среды. /Бабанов И.Г., Суханова С.И., Белоусов А.А., Авилов В.В., Чудля Л.И., Мазуренко А.Г. - Мясная индустрия СССР. 1987. N7, с.40-42.
49. Мазуренко А.Г., Федоров В.Г. Замораживание пищевых продуктов в блоках. М.: Агропромиздат. 1988, 207 с.

50. Мазуренко А.Г., Коломиец Д.П., Федоров В.Г. Расширение возможностей теплометрических приборов определения теплопроводности. В сб.: Новейшие исследования в области теплофизических свойств. Тамбов. 1988, с. 121-122.
51. Коломиец Д.П., Мазуренко А.Г., Снежкин Ю.Ф. Измерение теплофизических свойств сыпучих материалов. В сб.: Новейшие исследования в области теплофизических свойств. - Тамбов. 1988, с.105.
52. А.с. №1406469 /СССР/. Способ определения теплофизических характеристик. /Иванов В.Е., Пахомов В.Н., Федоров В.Г., Мазуренко А.Г., Коломиец Д.П., Глуздань А.А. - Оpubл. Б.И., 1988, №24.
53. Исследование теплофизических характеристик яблок. /Коломиец Д.П., Мазуренко А.Г., Пахомов В.Н., Снежкин Ю.Ф. В сб.: Проблемы индустриализации общественного питания страны. - Харьков. 1989, с.597-598.
54. Исследование и обобщение характеристик мясных и молочных продуктов. /Пахомов В.Н., Федоров В.Г., Мазуренко А.Г., Иванченко В.В. В сб.: Проблемы индустриализации общественного питания страны. - Харьков. 1989, с.602-603.
55. Определение теплофизических свойств сыпучих материалов. /Герашенко О.А., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Сало В.П., Мазуренко А.Г., Коломиец Д.П. Теплотрия и энергосбережение. Сб.науч. трудов АН УССР, Институт проблем энергосбережения. -Киев, 1989, с.3-10.
56. Коломиец Д.П., Мазуренко А.Г., Кузнецова Л.Г. Измерение теплофизических характеристик дыни. В сб.: Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания. - Харьков. 1990, с.227-228.
57. А.с. №1545148 / СССР /. Устройство для определения теплофизических характеристик зернистых материалов. /Герашенко О.А., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Сало В.П., Мазуренко А.Г., Коломиец Д.П., Снежкин Ю.Ф. - Оpubл. Б.И., 1990, №7.
58. Коломиец Д.П., Мазуренко А.Г., Снежкин Ю.Ф. Теплометрические исследования процесса сушки яблок. В кн.: Тепло- и массообменные процессы в пищевой промышленности: Темат. сб. науч. трудов - К.: УМК, ВО, 1990, с.42-48.
59. Коломиец Д.П., Мазуренко А.Г., Донец С.Л. Изменение теплофизических характеристик винограда при сушке. В сб.: Разработка и внедрение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевую и перерабатывающую отрасли АПК. - Киев. 1991, с 529.
60. Стрий В.А., Притула В.И., Мазуренко А.Г. Исследование теплофизических характеристик мелассы. В кн.: Хранение и использование новых кормовых средств при производстве комбикормов. Сб. науч. трудов ВНИО Зернопродукт и НИО "Комбикорм". - М.: Вып.35, 1991, с.75-79.

61. Исследование автономного асинхронного генератора при работе в импульсном режиме. / Мазуренко А.Г., Паляниченко И.К., Кравчук А.Ф. Препринт ИЗД АНУ № 740, 1993. - 38 с.
62. Энергетические соотношения в автономном асинхронном генераторе при работе в импульсных системах электроснабжения. / Мазуренко А.Г., Паляниченко И.К., Кравчук А.Ф., Резцов В.Ф. Препринт ИЗД АНУ № 742, 1993. - 48 с.
63. Вакуленко С.Е., Мазуренко О.Г., Резцов В.Ф., Шевчук В.І. Електроприводні пристрої на основі матеріалу з ЕПФ та їх розрахунок. Препринт ІЕД АНУ, № 743, 1993. - 26 с.
64. Электрические и энергетические параметры импульсных и синхронных генераторов при различных схемах питания нагрузки. / Мазуренко А.Г., Паляниченко И.К., Кравчук А.Ф., Резцов В.Ф. Препринт ИЗД АНУ, № 749, 1993. - 56 с.
65. Шуліка В.О., Мазуренко О.Г., Електростерілізація плодово-ягідного пюре. В кн.: Розробка та впровадження нових технологій та обладнання у харчову та переробну промисловості. Київ, КТІХП, 1993. с.226-227.
66. Дослідження гармонійного складу напруги джерела при роботі електропривода центрифуги. / Мазуренко О.Г., Паляниченко І.К., Кравчук А.Ф., Шуліка В.О. В кн.: Розробка та впровадження нових технологій та обладнання у харчову та переробну промисловості. Київ, КТІПШ. 1993. с. 557-558.

Основні символи та позначення:

q - густина теплового потоку; T, t - період, температура; λ - коефіцієнт теплопровідності; ρ, ρ_r - масова, об'ємна теплоємність; α - температуропровідність; v - швидкість; α - коефіцієнт тепловіддачі; $2h, h$ - товщина об'єкту, шару; τ - час; R, r - термічний опір, радіус; P - тиск; n - кратність циркуляції; w - вологість; I - електричний струм; U, E - електрична напруга, напруженість; δ - приріст; Δ - різниця; x - координата; K - коефіцієнт; $\bar{}$ - середнє значення величини. Nu, Re, Pr - числа Нусельта, Рейнольдса, Прандтля.

Індекси: i - ентальпія; o - початок; k - кінець; e - еталон; m - матеріал, продукт; n - кількість; p - перехід, поверхня; s - середовище; r - рідина; st - стінка; c - центр.

Підл. до друку 24.01.84 . Формат 60×84¹/₁₆.
Папір друк. № 3 . Спосіб друку офсетний. Умовн. друк. арк. 2 09 .
Умовн. фарбо-відб. 2,2 . Обл.-вид. арк. 20 .
Тираж 100 . Зам. № 4-379 .

Фірма «ВІПОЛ»
252151, Київ, вул. Волинська, 60.

AB 29.333