На правах рукописи

БЕЛОВА МАРЬЯНА ВАЛЕНТИНОВНА

РАЗРАБОТКА СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ

05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный аграрный университет»

Научный консультант –	**Зиганшин Булат Гусманович,** доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный аграрный университет»
Официальные оппоненты:	**Гришин Иван Иванович,** доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева»; **Оболенский Николай Васильевич**, доктор технических наук, профессор, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт»; **Лекомцев Петр Леонидович**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия».
Ведущая организация –	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева».

.

Защита состоится 14 июня 2016 г. в 9^{30} часов на заседании диссертационного совета Д006.037.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» по адресу: 109456, г. Москва, 1-й Вешняковский проезд, д. 2, ФГБНУ ВИЭСХ, viesh@dol.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства».

Автореферат разослан «10» марта 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета, А.И. Некрасов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Создание малогабаритной техники для переработки сырья у производителя – наиболее эффективное направление развития сельскохозяйственных (с.-х.) предприятий. Для снижения эксплуатационных затрат при термообработке с.-х. сырья необходимо предусмотреть применение перспективных источников тепла. Использование энергии электромагнитных излучений для этих целей ограничено из-за сложности обеспечения поточности технологического процесса. Существующие рабочие камеры сверхвысокочастотных (СВЧ) установок позволяют транспортировать сырье через объемный резонатор в случае наличия запредельных волноводов, ограничивающих мощность потока излучения, они сложны по конструкции, и возникают трудности при настройке электродинамической системы «СВЧ генератор - объемный резонатор - сырье» на необходимую частоту. Широкому внедрению таких технологий препятствует сложность и дороговизна источников электромагнитных излучений. Альтернативным дешевым вариантом СВЧ источника является магнетрон бытовой микроволновой печи.

Поэтому *обоснование методов повышения эффективности функционирования сверхвысокочастотных установок*, предназначенных для термообработки и обеззараживания с.-х. сырья в поточном режиме, за счет обеспечения высокой напряженности электрического поля и транспортировки сырья в сферических резонаторах, позволяющих повысить добротность электродинамической системы и равномерность внутреннего теплообмена в сырье, ***актуально.***

Основываясь на существующих технологиях термообработки сырья, руководствуясь теорией электромагнитных волн, предлагается воздействовать энергией электромагнитных излучений на с.-х. сырье при транспортировке в *сферических резонаторах* в разработанных и изготовленных образцах СВЧ установок. Критериями оценки эффективности разрабатываемого технологического оборудования с электромагнитным излучением (ЭМИ) являются снижение эксплуатационных затрат на термообработку с.-х. сырья и улучшение качества продукции, оцениваемое через органолептические, физико-химические и микробиологические показатели.

Научная проблема – повышение эффективности процессов термообработки с.-х. сырья и улучшение качества продукта.

Степень разработанности темы. Большой вклад в разработку способов термообработки с.-х. сырья с использованием физических факторов внесли известные ученые, такие как: А.В. Лыков, А.С. Гинзбург, И.А. Рогов, В.Н. Расстригин, Вернер Мальтри и др. Несмотря на наличие различных подходов к способам и средствам термообработки с.-х. сырья в работах ученых недостаточное внимание уделено многим технологическим факторам. Анализ исследований, выполненных авторами, позволяет выделить основные узлы, требующие дальнейшего совершенствования при термообработке сырья с использованием энергии ЭМИ, это осуществление *поточного режима* при максимальной добротности объемного резонатора, обеспечивающего *высокую напряженность* электрического поля, при которой происходит обеззараживание продукта; разработка многорезонаторных и многогенераторных установок для фермерских хозяйств.

Целью исследования является повышение эффективности функционирования установок для термообработки с.-х. сырья воздействием электромагнитных излучений и совершенствование их основных рабочих органов, обеспечивающих улучшение качества продукта с наименьшими эксплуатационными затратами.

Задачи исследований:

1. Разработать методику проектирования и технологического расчета основных узлов СВЧ установок, предназначенных для термообработки различного с.-х. сырья.
2. Теоретически обосновать электродинамические характеристики системы с учетом конструктивных особенностей объемных резонаторов, обеспечивающих поточность технологического процесса термообработки с.-х. сырья.
3. Обосновать конструктивно-технологические параметры и режимы работы СВЧ установок на основе исследований микробиологических изменений сырья в процессе термообработки для системно-комплексного решения задачи повышения качества продукции.
4. Разработать и апробировать в производственных условиях СВЧ установки для термообработки с.-х. сырья, оценить технико-экономическую эффективность их применения в фермерских хозяйствах.

Объектом исследования являются технологические комплексы и процессы, протекающие при термообработке с.-х. сырья с использованием энергии ЭМИ; экспериментальные и опытные образцы установок и их рабочие органы – объемные резонаторы с устройствами ввода и вывода продукции в поточном режиме; готовая продукция.

Предметом исследования является выявление закономерностей воздействия ЭМИ на с.-х. сырье для эффективного функционирования установок в поточном режиме.

Методология и методы исследований. Исследование закономерностей технологических процессов выполнено на основе научной гипотезы о поведении электродинамических систем при обеспечении поточного режима термообработки сырья, реализованного в СВЧ установках со сферическими резонаторами. Применительно к проблематике использован комплекс существующих базовых методов исследования, позволивших выявить новое конструктивное исполнение рабочих органов СВЧ установок в виде передвижных сферических резонаторных камер, расположенных в экранирующем корпусе с запредельными волноводами. *Теория построена* на использовании известных положений диэлектрического нагрева СВЧ диапазона, элементов теории электродинамических систем СВЧ установок и распространения электромагнитных волн в объемных резонаторах. *Для экспериментальных* исследований применялись сертифицированные электроизмерительные цифровые приборы и аппаратура, обеспечивающие достаточную точность результатов, стандартная методика оценки воспроизводимости эффективных режимов работы установок, численные методы решения задач при теоретической разработке математических моделей процессов термообработки сырья. Подтверждение закономерностей динамики нагрева сырья в передвижных резонаторах достигается по натуральной величине критерия

оценки факторов в процессе апробации СВЧ установок в производственных условиях. При обосновании электротехнологических процессов и технических решений использована единая система взаимодействия основных узлов установки: источник СВЧ излучения, объемный резонатор, запредельные волноводы, замедляющие и экранирующие элементы. В исследованиях пользовались методикой активного планирования трехфакторного эксперимента типа 2^3 и статистической обработкой результатов исследования с применением компьютерных программ Microsoft Excel 10.0, Statistic 5.0, трехмерного моделирования конструктивного исполнения СВЧ установок в программе Компас-3D V15. В работе обосновываются методы расчета и конструирования объемных резонаторов, в том числе особенности проектирования установок с передвижными сферическими резонаторами СВЧ генераторов.

Работа отличается от существующих исследований методическим обобщением электродинамической системы «СВЧ генератор – объемный резонатор – сырье» с различным конструктивным исполнением рабочей камеры, обеспечивающей поточность технологического процесса термообработки и обеззараживания сырья за счет многократного воздействия ЭМИ. Из-за конструктивных особенностей объемных резонаторов установки имеют специфику в принципах работы, в методах проектирования узлов и всех элементов передачи энергии ЭМИ от излучателя в сырье в целом. В конструктивном отношении электродинамические системы СВЧ генераторов отличаются от существующих *совмещением передвижных резонаторных и лучевых камер, расположенных в тороидальном экранирующем корпусе*. В СВЧ технике такой способ передачи энергии составляет *самостоятельную область исследования.* При этом можно выявить динамику процесса с учетом изменения во времени диэлектрических и теплофизических параметров сырья, рассчитать конфигурацию и размеры объемного резонатора в соответствии с длиной волны и критической напряженностью электрического поля, определить количество источников и их расположение в рабочей камере.

Достоверность основных выводов и предложений подтверждается: актами апробации и результатами теоретических и экспериментальных исследований СВЧ установок в лабораторных и производственных условиях; протоколами лаборатории федерального бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Чувашской республике», свидетельствующими о безопасности продукта; протоколами лаборатории федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Чувашской Республике – Чувашия», подтверждающими соблюдение безопасной нормы СВЧ излучения при эксплуатации разработанных установок.

Новизна результатов исследований состоит: в системном подходе к теоретической оценке закономерностей процессов, происходящих в электродинамических системах; в разработке способов воздействия ЭМИ на сырье; в разработке математических и регрессионных моделей, описывающих процессы термообработки сырья; в составлении методики согласования конструктивно-технологических параметров с режимами работы установок с учетом критериев оценки процессов; в выявлении резервов, повышающих эффективность функ-

ционирования СВЧ установок со сферическими резонаторами для термообработки с.-х. сырья в поточном режиме; в изучении динамики нагрева при воздействии ЭМИ на сырье в перфорированных сферических резонаторах; в разработке методики инженерного расчета параметров установок для термообработки с.-х. сырья с использованием ЭМИ.

Практическую значимость представляет методика проектирования СВЧ установок с энергоподводом в сферические резонаторы, позволяющие достичь максимальной добротности и поточности технологического процесса термообработки различного с.-х. сырья без сложных систем ограничения излучения через экранирующий корпус с применением маломощных магнетронов.

Новизна технологических и технических решений подтверждена 16 патентами на изобретения. Показана целесообразность применения энергии ЭМИ в технологиях термообработки и обеззараживания сырья для получения безопасной продукции и определены резервы, повышающие эффективность электродинамических систем. Изготовлены и испытаны в производственных условиях установки для термообработки с.-х. сырья с источниками ЭМИ, позволяющие снизить эксплуатационные затраты и улучшить качество продукции. Выработаны рекомендации по аппаратно-технологическому оформлению установок и разработана конструкторская документация для их изготовления.

Реализация результатов исследований. Исследования по разработке установок для термообработки с.-х. сырья с источниками ЭМИ проводились в соответствии с планами НИОКР ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ», ФГБОУ ВПО «Чувашская ГСХА» в лабораторных и производственных условиях. Данная работа является частью исследований по научному обеспечению развития агропромышленного комплекса, проведенных согласно целевой программе по тематическому плану МСХ РФ, раздел «Био,-нанотехнологии» (обеззараживание молока воздействием ЭМИ, 2011 г., термообработка масла-сырья в ЭМПСВЧ, 2013 г., разработка высокоэффективной технологии получения продуктов на основе крови убойных животных, 2014 г.). Апробация СВЧ установок для термообработки с.-х. сырья проводили: в СХПК «Союз» и ОПХ (опытно-производственное хозяйство) «Ленинская искра» Ядринского района ЧР, ОАО «Вурнарский мясокомбинат» ЧР, ОАО «Приволжское» Чебоксарского района ЧР.

Решение отдельных частных задач по теме диссертационной работы выполнено при участии кандидатов технических наук: Г.А. Александровой, А.В. Родионовой, Н.А. Зуевой, И.Г. Ершовой, Д.В. Лукиной, В.С. Иванова, Н.Т. Уездного и аспирантов И.А. Викторовой, Д.В. Поручикова, М.Г. Сорокиной, А.Н. Федоровой, Е.Г. Максимова, Н.А. Куторкиной, Т.Н. Лаврентьевой.

Разработана конструкторская документация на установки и изготовлены экспериментальные образцы, обеспечивающие термообработку различной с.-х. продукции. Результаты научных исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Чувашская ГСХА», ФГБОУ ВО «Марийский ГУ», ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ», АНО ВО «Академия технологии и управления», ФГБОУ ВПО «Мордовский ГУ им. Н.П. Огарева», ФГБОУ ВО «Нижегородская ГСХА», ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА». Результаты исследования отражены в 2 монографиях для применения в хозяйствах региона и страны.

Апробация работы. На выездном расширенном заседании «Бюро секции механизации, электрификации и автоматизации» отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук (ОСХН РАН) одобрены результаты выполненных исследований и направление научной работы. (Подписи заместителя академика-секретаря ОСХН РАН, член-корреспондента РАН Ю.А. Иванова, заведующего сектором механизации, электрификации и автоматизации ОСХН РАН, д.т.н. Ю.Х. Шогенова, г. Казань, 22.10.2015 г.). Результаты работы доложены, обсуждены на международных и всероссийских научно-технических конференциях: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ» (2009…2015 г.г.); ФГБОУ ВО «Марийский ГУ» (2009…2015 г.г.); ФГБОУ ВО «Вятская ГСХА» (2013 г.); ФГБОУ ВО «Чувашская ГСХА» (2009…2014 г.г.); АНО ВО «Академия технологии и управления» (2014…2015 г.г.); ФГБНУ «ВИЭСХ» (2014…2015 г.г.).

Установки демонстрировались: на республиканском конкурсе проектов «Эффективные пути развития АПК в Чувашской Республике» (Чебоксары, 2010 г.); на XVII и XVIII выставках «Регионы – сотрудничество без границ» (Чебоксары, 2011…2012 г.г.); на межрегиональной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов «Молодые ученые в решении актуальных проблем современной науки (ФГБОУ ВПО ЧГСХА, Чебоксары, 2011…2014 г.г.); на всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука – основа успешного развития АПК» при участии представителей администрации ЧР (зам. председателя кабинета министров – министра сельского хозяйства С.В. Павлова, зам. министра образования и молодежной политики С.В. Кудряшова, зам. министра экономического развития, промышленности и торговли А.А. Быченкова, Чебоксары, 04.10.2012 г.); на конференциях, посвященных дню работников с.-х. и перерабатывающей промышленности, при участии министра сельского хозяйства РФ Н.В. Федорова (Чебоксары, 20.10.2012 г., 08.11.2013 г.); на республиканских фестивалях научно-технического творчества молодежи «НТТМ-Чувашия» (2011…2014 г.г.); на конкурсе «Грант Казанского ГАУ молодым ученым» (2013 г.).

Результаты исследований удостоены дипломов:

- победителя конкурса «Молодой изобретатель Чувашской Республики», 2011 г., и «Молодой инноватор Чувашской Республики», 2011 г.;
- за активное участие во всероссийском инновационном форуме аграрной молодежи и выставке – демонстрации лучших инновационных проектов в сфере АПК, «Российское аграрное движение − РАД», Чебоксары, 2010…2012 г.г.;
- лауреата фестиваля научно-технического творчества молодежи «НТТМ-Чувашия», Чебоксары, 2012 г.;
- призера IX и X республиканских конкурсов научно-исследовательских работ молодых ученых «Наука XXI века», Чебоксары, 2013…2014 г.г.

Проект «Разработка сверхвысокочастотной установки для термообработки крови убойных животных» был удостоен диплома 2 степени и гранта Казанского государственного аграрного университета молодым ученым, в номинации «Биотехнологии», 2013 г.

Проект «Разработка установки для обработки кишечного сырья убойных животных с применением ультразвуковых и сверхвысокочастотных генераторов», выполненный под руководством автора, был удостоен диплома и гранта по

программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса 2015», 10.04.2015 г.

Положения, выносимые на защиту:

- конструктивные и технологические схемы разработанных и апробированных в производственных условиях СВЧ установок для термообработки и обеззараживания сырья, имеющих новое конструктивное исполнение рабочих органов;
- технологический процесс термообработки сырья в поточном режиме за счет:
  - • опрокидывающихся передвижных сферических резонаторов, расположенных в экранирующем корпусе с запредельными волноводами;
  - • перфорированных сферических резонаторов, подключенных с чередованием к источнику СВЧ энергии, расположенных в цилиндрическом экранирующем корпусе;
- математические модели процесса функционирования СВЧ установок с перфорированными сферическими резонаторами;
- методика согласования конструктивно-технологических параметров ключевых рабочих органов с режимами работы установок для термообработки с.-х. сырья с использованием энергии ЭМИ;
- комплекс конструктивно-технологических параметров и рабочих режимов установок, обеспечивающих получение высококачественного продукта при сниженных эксплуатационных затратах, подтвержденных результатами эффективного функционирования установок в производственных условиях.

Публикации. Результаты теоретических и экспериментальных исследований отражены в 86 печатных работах, в том числе 28 − в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ Министерства образования и науки РФ, в 16 патентах, в 2 монографиях.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, заключения, списка использованной литературы, включающего 409 наименований и приложений. Работа изложена на 341 странице, содержит 230 рисунков и 60 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы исследований, решаемые задачи, сущность выполненной работы и основные положения, выносимые на защиту. Основываясь на существующие электрофизические способы и технические средства для переработки с.-х. сырья различной структуры, нами предлагается осуществить технологические процессы термообработки, обеззараживания в поточном режиме воздействием ЭМИ, обеспечивая эффективную напряженность электрического поля СВЧ диапазона. Для каждой технологии термообработки с.-х. сырья изготовлены опытные образцы установок с обоснованными параметрами и конфигурацией объемных резонаторов СВЧ генераторов и запредельных волноводов, защищенные патентами на изобретения.

В первом разделе **«Состояние научной проблемы, цель и задачи исследований»** на основе анализа электрофизических процессов, обеспечивающих эффективность термообработки с.-х. сырья, объемов их производства в РФ и ЧР, и с учетом их диэлектрических и физико-механических характеристик рассматривается состояние изученности проблемы.

Исследование направлено на разработку методологических основ совершенствования систем технологии и технических средств, в рамках решения задач исследований. В основу настоящего исследования положены наиболее значимые в теории и практике переработки сырья работы известных ученых.

На основе анализа и систематизации литературных данных в области:

- разработки *технологического оборудования* для переработки с.-х. продукции (Рогов И.А., Ивашов В.И., Болтенков И.М., Курочкин А.А., Зиганшин Б.Г. и др.);
- *теории теплообменных процессов* (Лыков А.В., Нетушил А.В., Гинзбург А.С., Лурье М.Ю., Филоненко Г.К., Рудобашта С.П. и др.);
- *электротехнологии* (Стребков Д.С., Бородин И.Ф., Цугленок Н.В., Вендин С.В. и др.);
- *процессы и аппараты пищевых производств* (Кавецкий Г.Д., Плаксин Ю.М. и др.);
- *теории объемных резонаторов* (Атабеков Г.И., Бессонов Л.А., Пчельников Ю.Н., Крылов Н.Н., Нейман М.С., Бунимович В.И., Кисунько Г.В., др.) ***решается*** вышеуказанная проблема.

Во втором разделе «**Теоретические исследования по совершенствованию электродинамической системы сверхвысокочастотных установок для термообработки сельскохозяйственного сырья**» проведен системный анализ функционирования установок с объемными резонаторами СВЧ генераторов. На основе блок-схемы модернизации СВЧ установки (рис. 1) разработаны *методы расчета параметров* многогенераторных рабочих камер.

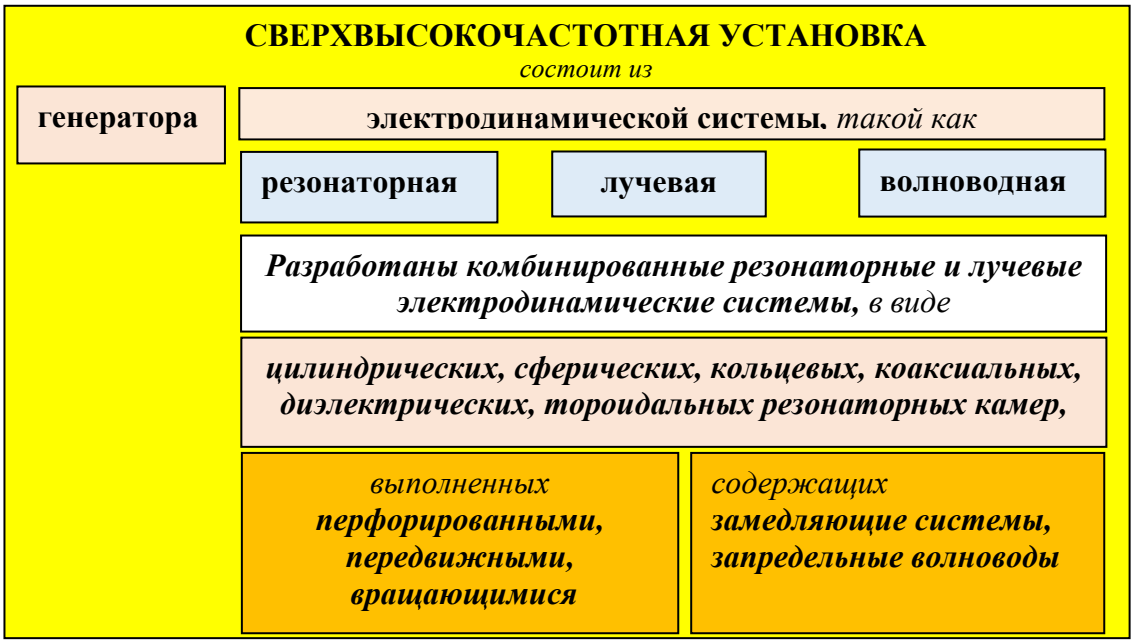


Рисунок 1 – Блок-схема модернизации СВЧ установки для термообработки сырья и взаимосвязь основных узлов

Они представляют сочетание резонаторной и лучевой электродинамических систем, предназначенных для термообработки сырья различной структуры в поточном режиме с достижением энергетического, бактерицидного и экономического эффекта за счет многократного воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты.

Разработаны различные *конструкции* многогенераторных СВЧ установок с комбинированными резонаторными, лучевыми и волноводными электродинамическими системами, обеспечивающими необходимую мощность и напряженность электрического поля для достижения температурных и влажностных режимов в поточном режиме, с ограничением излучения в окружающее пространство с помощью специальных запредельных волноводов. Выполненные расчеты электродинамических характеристик (резонансной частоты, напряженности электрического поля и добротности) позволили обосновать формы и геометрические размеры резонаторных камер для сырья различной структуры. Выбором геометрии рабочей камеры СВЧ установки можно обеспечить нагрев сырья равномерно по всему объему. Получены аналитические зависимости, позволяющие обосновать режимы работы установок и конструктивно-технологические параметры основных рабочих органов для термообработки с.-х. сырья воздействием ЭМИ. Обоснованы объем и конфигурация резонаторов, обеспечивающих максимальную добротность электродинамической системы в зависимости от целевой функции, вида сырья и их диэлектрических характеристик. Обоснованы возможные варианты сочетания разных источников энергоподвода в одной установке для термообработки с.-х. сырья, позволяющие снизить энергопотребление и повысить качество продукции. Разработана методика проектирования поточных СВЧ установок для термообработки с.-х. сырья (рис. 2).

Методика проектирования *включает*

блок обеспечения поточности технологического процесса	блок обеспечения высокой напряженности электрического поля	блок обоснования электродинамической системы	блок обоснования конфигурации резонаторной камеры
В зависимости от структуры сырья (сыпучее, жидкое, вязкое, кусковое, штучное) поточность процесса осуществляется за счет: ***- передвижения или вращения частей резонаторов;*** ***- опрокидывания резонаторов;*** ***- перфорации резонаторов при использовании насосов и быстровращающихся лопастей***	***Провести сравнительный анализ потерь мощности за счет теплопередачи и мощности диэлектрического нагрева микроорганизмов при воздействии ЭМИ, с учетом объема микроорганизма, напряженности электрического поля, приращения температуры микроорганизмов и конечной температуры продукта***	***В зависимости от конфигурации резонатора, рупора и тороидального волновода*** ***- вычислить добротность электродинамической системы (собственную и нагруженную);*** ***- обосновать структуру и тип электромагнитной волны;*** ***- вычислить глубину проникновения ЭМИ,*** ***- обосновать диссектор, запредельные волноводы, замедляющие системы***	***цилиндрические, сферические, кольцевые, диэлектрические, тороидальные, с перфорацией*** **блок комбинирования разных источников ЭМИ** ***ЭМПСВЧ, инфракрасное излучение, ультразвуковые колебания, индукционный нагрев, ультрафиолетовые излучения***

Рисунок 2 − Методика проектирования СВЧ установок для термообработки с.-х. сырья

Методика включает пять основных блоков, решение которых направлено на:
1) обеспечение поточности технологического процесса термообработки;

2) обеспечение высокой напряженности электрического поля в сырье;
3) обоснование резонаторно-лучевой электродинамической системы;
4) обоснование конфигурации резонаторной камеры;
5) комбинирование разных электрофизических способов воздействия.

Разработана математическая модель для обоснования мощности генераторных блоков, содержащих несколько источников ЭМИ, в зависимости от производительности технологического оборудования. Обоснованы выявленные контролируемые и регулируемые параметры функционирования технологического процесса термообработки с.-х. сырья для опытных образцов установок, содержащих источники ЭМИ и соответствующие рабочие камеры, включающие совмещенные резонаторные и лучевые электродинамические системы с запредельными волноводами и механизмами, обеспечивающими поточность технологического процесса.

Для получения высококачественной продукции при поточном технологическом процессе обработки и максимальной добротности электродинамической системы обоснованы объемные резонаторы различных конфигураций и систематизированы следующим образом:
1) стационарные, вращающиеся и передвижные камеры; 2) с перфорацией, без перфорации, с зазором для сквозной транспортировки продукта; 3) с содержанием запредельных волноводов и замедляющих систем; 4) с индивидуальным и общим экранирующим корпусом (рис. 3, 4).

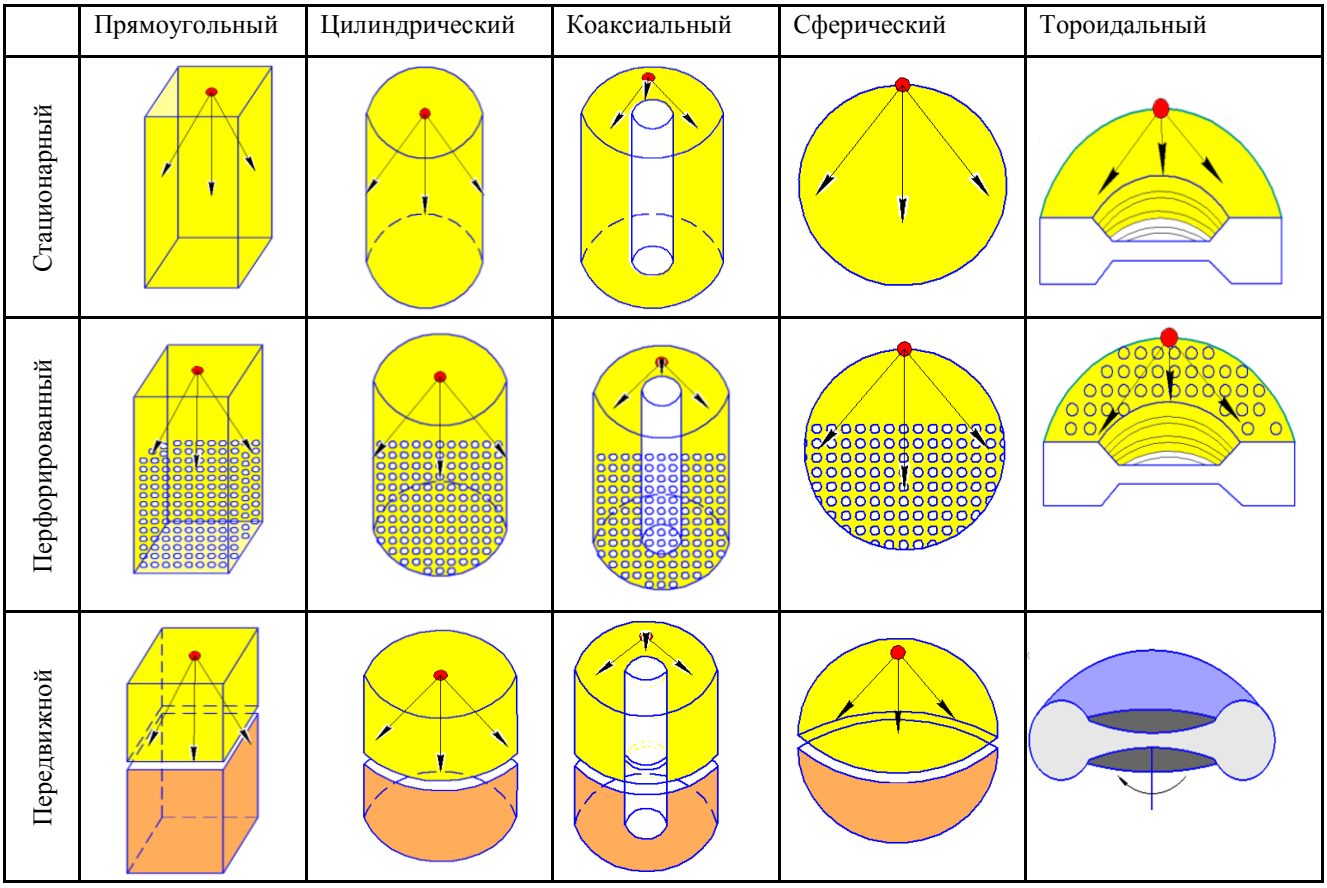


Рисунок 3 – Классификация объемных резонаторов

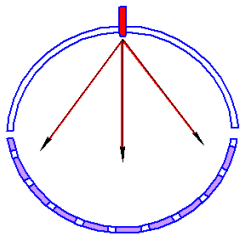
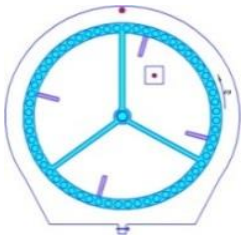
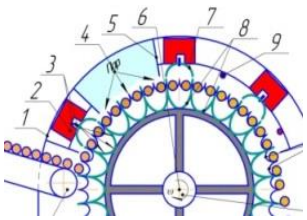
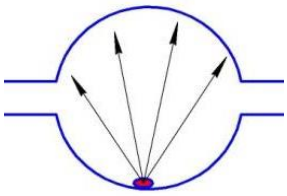
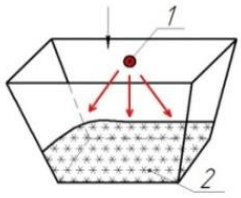
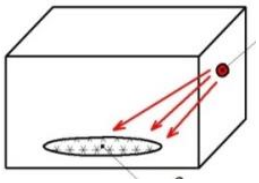
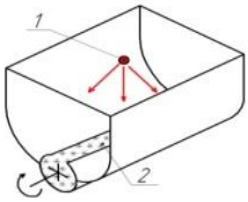
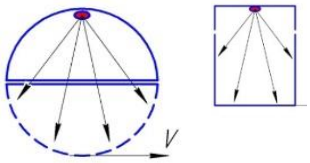
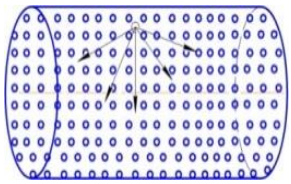
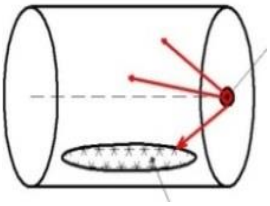
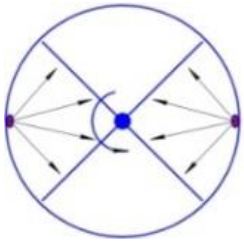
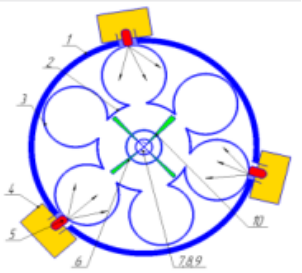
Сферический резонатор с вращающейся полусферой (патент № 2517842)	Объемный резонатор барабанного типа (патент № 2537548)	Передвижные объемные резонаторы (патент № 22526942)	Сферический резонатор с запредельным волноводом (патент № 22535146)
			
Объемный резонатор с трапецеидальным сечением (патент № 2409915)	Объемный резонатор с прямоугольным сечением (патент № 2537548)	Объемный резонатор с параболическим сечением (патент № 2502260)	Передвижные сферический (патент № 2550423) и цилиндрический (патент № 2537552) резонаторы
			
Цилиндрический перфорированный резонатор (патент № 2469514)	Цилиндрический резонатор с перфорацией (патент № 2530162)	Объемный резонатор с треугольным сечением (патент № 2489068)	Многорезонаторная камера, заявка № 2015116255
			

Рисунок 4 – Схемы объемных резонаторов, обеспечивающих поточность технологического процесса

Для обеспечения поточности технологического процесса и максимальной добротности системы термообработку и обеззараживание сырья следует проводить в сферических резонаторах, выполненных из стационарных и передвижных полусфер, а выгрузку продукта осуществлять за счет опрокидывания передвижных полусфер, центрифугирования перфорированной полусферы или перекачивания сырья с помощью насоса через перфорированные полусферы. Задача оптимизации сводится к выбору размеров и конфигурации резонаторов для обеспечения равномерного электрического поля по объему.

Согласование основных конструктивно-технологических параметров с режимами работы СВЧ установок, обеспечивающих термообработку и обеззараживание с.-х. сырья, осуществляли с помощью нижеприведенной методики.

Методика согласования параметров электродинамической системы

1. Определяем физико-механические и диэлектрические параметры сырья на частоте 2450 МГц

ε – диэлектрическая проницаемость сырья; $tg\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь сырья; с – удельная теплоемкость сырья, кДж/кг·°С; ε_o – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума (8,85· 10^{-12} Ф/м); ρ – плотность сырья, кг/м^3; f – частота, МГц.

2. Вычисляем глубину проникновения энергии электромагнитных излучений СВЧ диапазона в сырье для определения линейного размера сырья (размер не должен превышать удвоенного значения глубины проникновения энергии ЭМИ) $\gamma = \dfrac{9{,}55\cdot 10^9}{tg\delta \cdot f \cdot \sqrt{\varepsilon}}$, *см.* (1)

3. Вычисляем удельную мощность СВЧ генератора через физико-механические параметры сырья $P_{уд.} = c\cdot\rho\cdot\dfrac{\Delta T}{\Delta\tau}\cdot\dfrac{1}{\eta}, Вт/м^3$; $P_{уд.} = \dfrac{P_{ген.}}{V_1}$, $Вт/м^3$, (2)

где $P_{ген.}$ – полезная мощность генератора, Вт; $\Delta T/\Delta\tau$ – скорость нагрева, °С/с; η – КПД генератора; $P_{уд}$ – удельная мощность генератора, Вт/м^3; V_1 – объем сырья, м^3.

4. Вычисляем напряженность электрического поля в сырье

$$E = \sqrt{\frac{P_{уд.}}{0{,}55\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon\cdot tg\delta\cdot f}},\ В/м. \qquad (3)$$

5. Вычисляем собственную добротность резонаторной камеры через конструктивные параметры, согласованные с кратностью половины длины волны

[Д.В. Гололобов]. Для цилиндрического, сферического и коаксиального резонаторов с учетом геометрического множителя G:

$$Q = \omega_o\cdot Wo/P,\ Q_{цил}^{E01P} = \frac{1}{2\cdot\Delta}\cdot\frac{l\cdot d}{l+d}\cdot(1-G),\ Q_{сферы} = \frac{d}{3\cdot\Delta}\cdot(1-G),$$

$$Q_{коак}^{E011} = \frac{1}{\Delta}\cdot\frac{2l\cdot\ln\frac{D}{d}}{4\ln\cdot\frac{D}{d} + l\cdot\left(\frac{1}{d}+\frac{1}{D}\right)}\cdot(1-G), \qquad (4)$$

где ω_o – собственная частота объемного резонатора, 1/с; Wo – энергия электромагнитного поля, запасенная в резонаторе, Дж; P – активная мощность, затрачиваемая на потери от вихревых токов в стенках резонатора, на потери через перфорацию в виде излучения и на потери в продукте, Вт; d, l – диаметр и длина объемного резонатора, м; Δ – толщина поверхностного слоя, зависящая от удельной проводимости материала резонатора, м; d, D – диаметры коаксиального резонатора, м; S – площадь внутренней поверхности стенок резонатора, м^2.

G – геометрический множитель, учитывающий особенности конфигурации резонатора, его перфорацию и зазор между полусферами.

6. Вычисляем объем резонаторной камеры через добротность и напряженность электрического поля $V = \dfrac{Q_0\cdot P_{ген.}}{1{,}7\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon\cdot E\cdot f}, м^3$ [Ю.Н. Пчельников], (5)

где Q_0 – собственная добротность резонаторной камеры; P *ген* – мощность источника СВЧ излучения, Вт.

7. Вычисляем критическую напряженность электрического поля

$$E_{кр} = \sqrt{\frac{2(\lambda_1\cdot S\cdot grad\,T)}{\varepsilon_0\cdot tg\delta\cdot\varepsilon\cdot f\cdot V_м}}, В/м. \qquad (6)$$

7.1. Определяем мощность диэлектрического нагрева микроорганизмов при разных напряженностях электрического поля

$P = V_м \cdot (E^2 \cdot \varepsilon_o \cdot \varepsilon \cdot \omega \cdot tg\delta)/4 \cdot \pi$, В [А.С. Гинзбург], (7)

где $\omega = 2\pi f$, 1/с; $V_м$ – объем микроорганизма, м^3; ε, $tg\delta$ − диэлектрические параметры ***воды*** при частоте 2450 МГц и при изменении температуры; E − напряженность электрического поля, В/м.

7.2. Мощность тепловых потерь с поверхности микроорганизма [Ю.В. Корчагин]:

$$q_{тепл} = \lambda_1 \cdot S \cdot grad\ T, \text{ Вт}, \quad (8)$$

где λ_1 – коэффициент теплопроводности, Вт/м·^{o}К; S – площадь поверхности микроорганизма, м^2; $grad\ T$ – градиент температуры (разница температур между микроорганизмом и окружающим воздухом, отнесенный к радиусу микроорганизма), ^{o}К.

8. Энергия, запасенная колебаниями различных типов волн в цилиндрическом, коаксиальном, призматическом резонаторах:

$$W = 0{,}423 \cdot \varepsilon_a \cdot E_{кр}^2 \cdot d^2 \cdot l, \quad W = \frac{\pi}{8} \cdot \varepsilon_a \cdot E^2{}_{\max} \cdot d \cdot l \cdot \ln\frac{D}{d}, \quad W = \varepsilon_a \cdot \frac{E_{\max}^2}{8} a \cdot b \cdot l. \quad (9)$$

где a, b, l − размеры резонатора, м.

При разработке резонаторных камер для термообработки сырья в поточном режиме с получением бактерицидного эффекта стремились обеспечить высокую напряженность электрического поля и высокую добротность электродинамической системы.

9. Добротность как отношение объема, занятого электрическим полем, к объему проводника, в котором поле проникает вследствие конечной проводимости:

$$Q = \left(\frac{2 \cdot V_{общ}}{\Delta \cdot S_{общ}}\right).(1 - G), \quad (10)$$

где $V_{общ}$ – объем резонатора, м^3; Δ – толщина поверхностного слоя, зависящая от удельной проводимости материала резонатора, м; $S_{общ}$ – площадь внутренней поверхности стенок резонатора, м$^{2\cdot}$.

9.1. Общая площадь и объем многорезонаторной камеры из 6 сфер и цилиндра:

$$S_p = \pi \cdot d_ц \cdot \left(\frac{d_ц}{2} + h\right) + N \cdot \pi \cdot d_{сф}^2, \quad V_p = \pi \cdot h \cdot \frac{d_ц^2}{4} + \pi \cdot \frac{N}{6} \cdot d_{сф}^3, \quad (11, 12)$$

где N – количество сфер; $d_{сф}$ − диаметр сферы, м; $d_ц$ − диаметр цилиндра, м; h − высота цилиндра, м.

9.2. Добротность многорезонаторной камеры:

$$Q = \left(\frac{h \cdot d_ц^2 + 4 \cdot N \cdot d_{сф}^3}{2 \cdot \Delta \cdot \left[d_ц \cdot \left(\frac{d_ц}{2} + h\right) + N \cdot d_{сф}^2\right]}\right) \cdot (1 - G)\ . \quad (13)$$

Для определения геометрического множителя, учитывающего перфорацию резонатора, воспользовались методикой Заргано Г.Ф.

$$G = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1 + N \cdot \pi \cdot d_{сф} \cdot d/2 \cdot \left[\pi \cdot d_ц \cdot \left(\frac{d_ц}{2} + h\right) + N \cdot \pi \cdot d_{сф}^2\right]}{1 + N \cdot \pi \cdot d_{сф} \cdot d/4 \cdot \left[\pi \cdot d_ц \cdot \left(\frac{d_ц}{2} + h\right) + N \cdot \pi \cdot d_{сф}^2\right]}. \quad (14)$$

где d – сумма диаметров отверстий перфорации резонатора, м.

9.3. Геометрический множитель, учитывающий особенности конфигурации (перфорации сфер) многорезонаторной камеры:

Если принять сумму диаметров отверстий перфорации сфер как $d = d_{сф} \cdot N$, то G можно преобразовать:

$$G = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1 + B/2}{1 + B/4}, \quad B = N^2 \cdot \pi \cdot d_{сф}^2 \cdot \left[\pi \cdot d_ц \cdot \left(\frac{d_ц}{2} + h \right) + N \cdot \pi \cdot d_{сф}^2 \right]. \tag{15}$$

Если диаметры сферы и цилиндра, а также высоту цилиндра согласовать с длиной волны, т.е. считать кратной (κ) половине длины волны $d_{сф} = d_ц = h = \kappa\ \lambda/2$, то коэффициент B примет вид:

$$B = N^2 \cdot \pi^2 \cdot k^4 \cdot \frac{\lambda^4}{16} \cdot [2{,}5 + N]. \tag{16}$$

Обоснование напряженности электрического поля. Зная диэлектрические и физико-механические параметры сырья на выбранной частоте электромагнитного поля, вычисляем глубину его проникновения в сырье с тем, чтобы определить массу нагреваемого сырья в резонаторной камере. Через плотность и теплоемкость сырья при определенной скорости его нагрева и напряженности электрического поля, определяем удельную мощность генератора. Собственную добротность сферического резонатора вычисляем с учетом геометрического множителя, предусматривающего влияние зазора между полусферы и перфорацию. Степень обеззараживания сырья воздействием ЭМПСВЧ оцениваем через критическую напряженность электрического поля. При этом определяем плотность мощности потерь СВЧ энергии в сырье при разной напряженности электрического поля и потери энергии за счет теплопередачи с поверхности образца и теплового излучения (рис. 5).

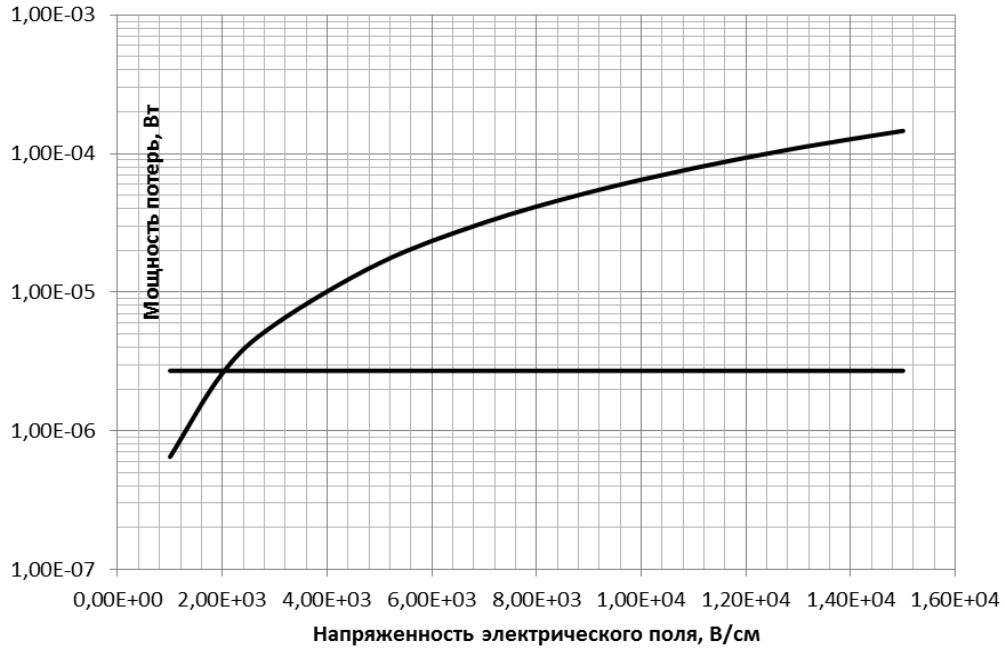


Рисунок 5 – Сравнительный анализ мощности диэлектрического нагрева микроорганизмов при разных напряженностях электрического поля и мощности тепловых потерь, при ступенчатом превышении температуры жира до 70°С

Например, если размер колонии составляет $50 \cdot 10^{-6}$ м и более, то за счет ультразвуковой кавитации можно разрушить структуру колоний до отдельных

микроорганизмов, с тем, чтобы при воздействии ЭМПСВЧ напряженностью более 2 кВ/см затормозить их развитие. Если напряженность электрического поля 1 кВ/см, то мощность диэлектрических потерь ($6{,}48 \cdot 10^{-7}$ Вт) меньше, чем мощность тепловых потерь с поверхности микроорганизмов, поэтому снижение бактериальной микрофлоры не значительное.

Проектируем установку с несколькими генераторами и резонаторными камерами определенной емкости, в каждой из которых сырье нагревается при напряженности электрического поля выше критической, но ниже половины пробивной напряженности электрического поля воздуха (15 кВ/см). В СВЧ установке для термообработки крови (в первом варианте) и многорезонаторной установке для термообработки жиросодержащего сырья (рис. 10) реализованы цилиндрические резонаторы. Определяем максимальное значение напряженности электрического поля при частоте колебаний 2450 МГц. Варьируя передаваемой мощностью в цилиндрический резонатор радиусом, a = 12,24 см, вычислим напряженность электрического поля по методике Баскакова С.И.

$$P = 0{,}778 \cdot \frac{\pi \cdot \omega \cdot \varepsilon_a \cdot h}{g^2} \cdot E^2. \qquad (17)$$

Вычислим значения h и g: $$g = \frac{\nu_{01}}{a} = \frac{2{,}405}{12{,}24} = 0{,}196 \frac{1}{см}, \qquad (18)$$

ν_{01} – n-й корень функций Бесселя J_m (x),

$$h = \sqrt{(2 \cdot \pi / \lambda)^2 - g^2} = 0{,}225 \frac{1}{см}. \qquad (19)$$

Наибольшая напряженность электрического поля на оси цилиндрического резонатора при передаваемой мощности 800 Вт:

$$E_{\max} = \sqrt{\frac{P \cdot g^2}{0{,}778 \cdot \pi \cdot \omega \cdot \varepsilon_a \cdot h}} = 2 \frac{кВ}{см}. \qquad (20)$$

Регулируя мощностью генератора от 800 до 2400 Вт, можно подобрать необходимую напряженность электрического поля для достижения бактерицидного действия ЭМПСВЧ на сырье (табл.1). Например, многорезонаторная установка (рис. 10) и установка с коаксиальным резонатором (рис. 12) работают с тремя генераторами, общей мощностью 2400 Вт и при этом напряженность электрического поля достигает 3,5 кВ/см.

Таблица 1 – Эффективные значения напряженности электрического поля в резонаторе

Разработанные сверхвысокочастотные установки для:	Напряженность электрического поля, кВ/см	Объем резонатора, л
обеззараживания ***сырья***	2…14	0,5…2
термообработки ***крови убойных животных***	1…2	2…3
термообработки ***жиросодержащего сырья***		
термообработки мясного ***фарша***		
термообработки сырья ***в оболочках***	0,2…0,5	2…5
для термообработки ***сосисок и сарделек***		17…27
массирования и термообработки ***кускового мясного сырья***		

Аналогично можно вычислить напряженность электрического поля при других конфигурациях резонаторных камер.

Обоснование добротности резонатора. Через объем, и площадь поверхности резонатора вычислили его собственную добротность. При вычислении *добротности перфорированного сферического резонатора* учитывали геометрический множитель, полученный по методике Заргано Г.Ф.

Сферический резонатор имеет высокую собственную добротность при отсутствии потерь на излучение, малой величине потерь в стенках камеры. Анализ приведенных выражений для расчета добротности показывает, что при равных объемах величина добротности сферического резонатора превышает значение добротности цилиндрического резонатора. Для разработанных СВЧ установок со сферическими перфорированными резонаторами выявлены эффективная плотность живого сечения отверстий и зазор между полусферами. Собственная добротность многорезонаторной камеры не снижается выше 16% из-за перфорации сферы, если сумма диаметров отверстий перфорации не превышает диаметра самой сферы.

Показана возможность реализации резонаторных камер различной конфигурации в поточных технологических процессах термообработки с.-х. сырья. Многие установки содержат *сферические* резонаторы, выполненные из двух полусфер для обеспечения максимальной добротности электродинамической системы (рис. 6). Причем перфорированные полусферы жестко закреплены по периферии вращающегося ротора, либо вращаются с большой скоростью.

Влияние *зазора между полусферами* резонатора на величину добротности анализировали по методикам В.Н. Родионовой и В.Г. Карташова.

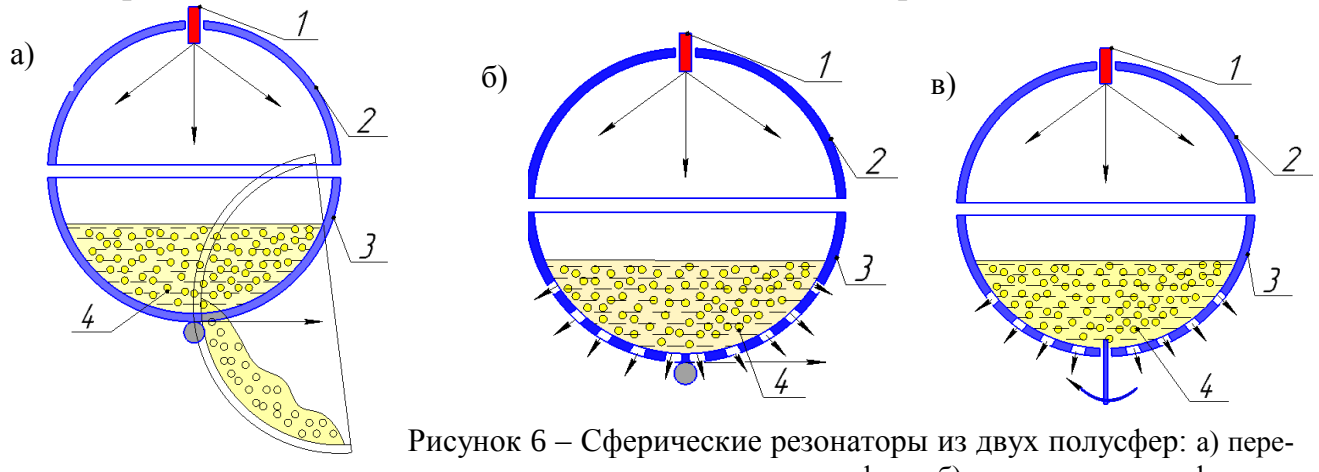


Рисунок 6 – Сферические резонаторы из двух полусфер: а) передвижная опрокидывающаяся полусфера; б) передвижная перфорированная полусфера; в) вращающаяся перфорированная полусфера;
1 – излучатель, 2 – стационарная полусфера, 3 – полусфера для транспортирования сырья, 4 – сырье

Проведены исследования потерь через зазор между полусферами резонатора. Благодаря меньшим дифракционным потерям наибольшее распространение получили сферические резонаторы. Исследования проводили по теории дифракции электромагнитных волн, применяемой для открытого резонатора, образованного двумя сферическими зеркалами [методика В.Г. Карташова]. Добротность сферических резонаторов, выполненных из двух полусфер через зазор, определяется потерями в сферах и дифракционными потерями:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot l}{\lambda_p} \cdot \frac{10^3}{1 - R^2 + \alpha_{диф}}, \qquad (21)$$

где R – коэффициент отражения от полусфер, $\alpha_{диф}$ – относительная потеря мощности излучения вследствие дифракции, λ_p – резонансная длина волны, a – радиус сферы, l – расстояние между полусферами.

Для расчета дифракционных потерь использовано приближенное выражение:

$$\alpha_{диф} \approx \frac{10{,}9 \cdot l \cdot \lambda}{a^2}, \%. \qquad (22)$$

Исследования показывают, что дифракционные потери с увеличением радиуса сферы с 3,06 см до 24,48 см, при зазоре между полусферами 2 см, уменьшаются с 28,5 % до 0,45%, а при зазоре 0,5 см – с 7,12% до 0,11%.

Добротность сферы радиусом 12,24 см при зазоре между полусферами 0,5 см снижается на 7% (рис. 7).

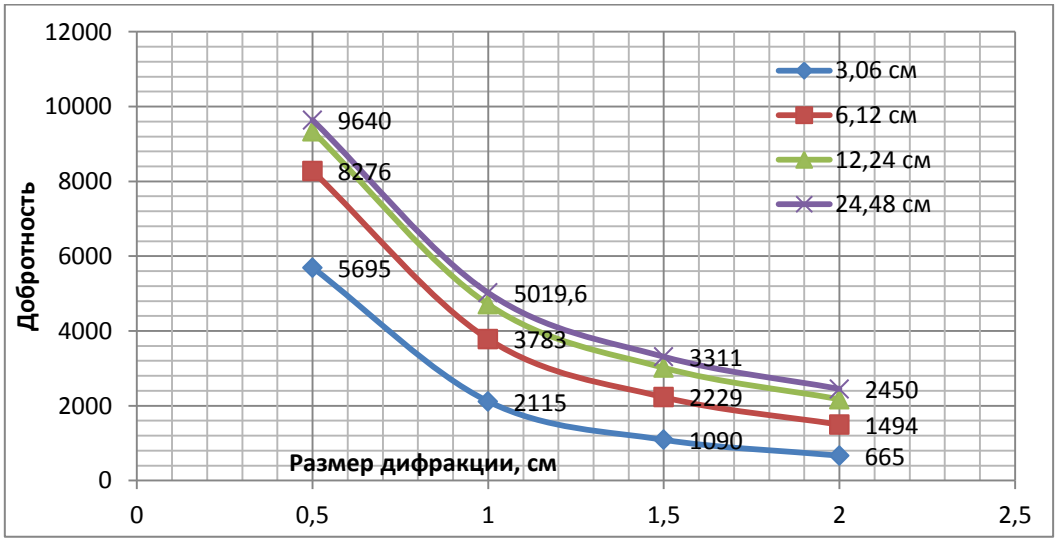


Рисунок 7 – Зависимость добротности от расстояния между полусферами при разных радиусах: 3,06 см; 6,12 см; 12,24 см; 24,48 см

Математическая модель динамики нагрева сырья в ЭМПСВЧ

В процессе нагрева сырья изменяются плотность, теплоемкость и фактор диэлектрических потерь. Эти изменения следует учитывать в уравнении удельных диэлектрических потерь. Интегрируя уравнения, получим математические модели динамики нагрева сырья.

1. Зависимость электрофизических параметров сырья от температуры

Кровь $\varepsilon = 77{,}89 \cdot e^{-0{,}054T}$, $tg\delta = 0{,}308 \cdot e^{-0{,}016T}$,

$$C = 4{,}167 \cdot e^{-0{,}0006T}, \ \rho = 1060 \cdot T^{-0{,}02} \qquad (23)$$

Жир $k = 0{,}1 \cdot T^{0{,}1}$, $C = 3{,}35 \cdot T^{-0{,}1}$, $\rho = 966 \cdot T^{-0{,}021}$

2. Удельная мощность диэлектрического нагрева

$$P_{уд} = \frac{E^2 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \omega \cdot tg\delta}{4\pi}, \ P_{уд} = \frac{\Delta T}{\Delta \tau} \cdot C \cdot \rho \cdot \frac{1}{\eta}, \ \frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{E^2 \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \omega \cdot tg\delta \cdot \eta}{C \cdot \rho \cdot 4\pi} \qquad (24)$$

3. Скорость нагрева сырья

$$Кровь\ \frac{\Delta T}{\Delta \tau} = 2{,}88 \cdot 10^{-3} \cdot \varepsilon_0 \cdot f \cdot E^2 \cdot \eta \cdot e^{-0{,}055T};$$

$$Жир\ \frac{\Delta T}{\Delta \tau} = 1{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot \varepsilon_0 \cdot f \cdot E^2 \cdot \eta \cdot T^{+0{,}221} \qquad (25)$$

4. Скорость нагрева сырья в общем виде

$$Кровь\ \frac{\Delta T}{\Delta \tau} = A_1 \cdot e^{-B_1 T}; \quad Жир\ \frac{\Delta T}{\Delta \tau} = A_2 \cdot T^{-B_2} \qquad (26)$$

5. Интегралы уравнений

$$Кровь\ \int_0^{\tau_1} e^{-B_1 \cdot T} \cdot dT = \int_0^{\tau_1} A_1 \cdot \Delta \tau, \qquad Жир\ \int_0^{\tau_1} \frac{dT}{T^{B_2}} = \int_0^{\tau_1} A_2 \cdot d\tau, \qquad (27)$$

τ_1 – продолжительность воздействия ЭМПСВЧ

6. Математическая модель динамики нагрева сырья

$$Кровь\ T = \frac{1}{B_1} \ln \cdot (B_1 \cdot A_1 \cdot \tau + C_1),\ A_1 = 2{,}88 \cdot 10^{-3} \cdot \varepsilon_0 \cdot f \cdot E^2 \cdot \eta, \qquad (28)$$

где $C_1 = B \cdot C$, C – постоянная интегрирования;

$$Жир\ T = \sqrt[1-B_2]{A_2 \cdot (1 - B_2) \cdot \tau + C},\ A_2 = 1{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot \varepsilon_0 \cdot f \cdot E^2 \cdot \eta, \qquad (29)$$

где B_2 – показатель степени.

Пользуясь данными уравнениями с учетом граничных условий, построены графики динамики нагрева сырья, они с достаточной доверительной вероятностью совпадают с экспериментальными зависимостями.

С учетом закономерности накопления жира и изменения массы шквары в процессе термообработки жиросодержащего сырья в ЭМПСВЧ согласовывали продолжительность обработки с удельной мощностью генератора. Зная потребляемую мощность СВЧ установки и продолжительность транспортировки сырья в резонаторных камерах, вычисляли реальную производительность установки.

В третьем разделе **«Методика исследования процесса термообработки с.-х. сырья воздействием ЭМПСВЧ»** рассмотрена программа исследований (табл. 2). Она предусматривает последовательность разработки технических средств с источниками СВЧ энергии для термообработки сырья в поточном режиме. Приведены частные методики исследований и характеристики использованной измерительной техники; операционно-технологические схемы термообработки с.-х. сырья. В испытательной лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Чувашской Республике – Чувашии» проводили контроль мощности потока излучений с помощью приборов ПЗ-33 М, ПЗ-41 и ПЗ-50А. В ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Чувашской Республике» проведена оценка пищевой ценности образцов исследуемых продуктов.

Таблица 2 – Программа исследований

Теоретическая часть работы
Разработка комплекса технических и технологических мер, направленных на снижение эксплуатационных затрат при термообработке сырья с СВЧ энергоподводом. Исследование динамики нагрева разного с.-х. сырья. Совершенствование методики расчета температуры в сырье при воздействии ЭМПСВЧ в поточном режиме. Термодинамический анализ процессов, происходящих в рабочих камерах при воздействии ЭМПСВЧ на сырье. Совершенствование технологии и конструктивного исполнения рабочих органов установок.
Экспериментальная часть работы
Разработка методики проведения экспериментальных исследований технологического процесса. Проектирование многорезонаторных и многогенераторных СВЧ установок, обеспечивающих поточность технологического процесса термообработки разного с.-х. сырья, и многомодульных технологических комплексов. Проведение экспериментальных исследований динамики нагрева сырья в ЭМПСВЧ в лабораторных и производственных условиях. Определение параметров СВЧ установок для термообработки и обеззараживания с.-х. сырья. Выявление рациональных значений конструктивно-технологических параметров и режимов работы СВЧ установок. Математическая обработка данных, получение расчетных зависимостей, подтверждение математических моделей процессов. Разработка методики расчета параметров установки для термообработки сырья при СВЧ энергоподводе. Разработка конструкторской документации на изготовление опытных образцов СВЧ установок для термообработки с.-х. сырья. Испытание установок в производственных условиях. Оценка экономической эффективности применения СВЧ установок для термообработки сырья в фермерских хозяйствах. Разработка рекомендаций производству по эксплуатации СВЧ установок для термообработки с.-х. сырья.

В четвертом разделе **«Установки с использованием энергии электромагнитных излучений для термообработки сельскохозяйственного сырья»** приведено описание разработанных установок с источниками ЭМИ для термообработки с.-х. сырья с указанием их технологической и технической новизны конструктивного исполнения.

Описания разработанных СВЧ установок для термообработки с.-х. сырья

Разработаны несколько *установок для термообработки жиросодержащего сырья*, отличающиеся конфигурацией рабочих камер. Новые конструкции резонаторных камер СВЧ установок позволяют достичь максимальной добротности и напряженности электрического поля, обеспечивают поточность технологического процесса термообработки сырья при применении маломощных магнетронов. Нагрев сырья, находящегося во взвешенном состоянии, и кратковременность обработки создают условия для рационального использования энергии ЭМПСВЧ при обеспечении высокого качества жира.

1. ***Первая установка*** *(патент № 2550423 и заявка № 2015102660)* для обезжиривания жиросодержащего сырья работает в периодическом режиме, транспортировка дозированного сырья осуществляется *в передвижных перфорированных* ***полусферах,*** помещенных в тороидальный экранирующий корпус (рис.14). После заполнения всех перфорированных полусфер сырьем, включают СВЧ и УЗ генераторы. Когда передвижная перфорированная полусфера стыкуется со стационарной полусферой, сырье подвергается воздействию ЭМПСВЧ. Если

перфорированная полусфера погружается в жидкость, то сырье подвергается воздействию ультразвуковых колебаний.

2. ***Во второй установке*** (*заявка № 20151117451*) для вытопки жира из жиросодержащего сырья ***сферические резонаторы*** *расположены стационарно* (рис. 8). Внутри каждой сферы предусмотрены перемешивающие механизмы, выполняющие одновременно функцию диссектора. Сферические резонаторы расположены в кольцевом экранирующем корпусе прямоугольного сечения.

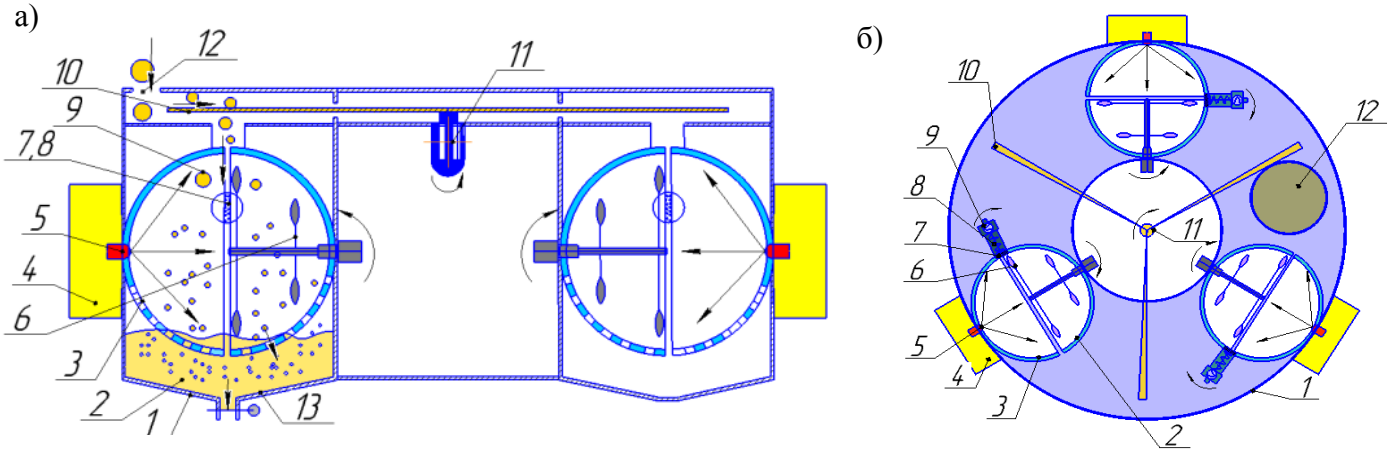


Рисунок 8 – Установка для вытопки жира: а – вид спереди, б – вид сверху; 1 – экранирующий корпус; 2 – первая перфорированная полусфера; 3 – вторая перфорированная полусфера; 4 – СВЧ генераторный блок; 5 – излучатель от магнетрона; 6 – перемешивающий механизм с электродвигателем; 7 – измельчающий механизм; 8 – нагнетательный шнек; 9 – приемный патрубок; 10 – скребки с электродвигателем 11 для перемещения сырья; 12 – второй тор прямоугольного сечения с загрузочным люком; 13 – накопительный желоб со сливным патрубком и вентилем

3. ***В третьей установке*** (*заявка № 2014150840/20, решение о выдаче патента от 12.01.2016 г*) *реализованы передвижные перфорированные* ***сферические резонаторы*** *в кольцевом волноводе прямоугольного сечения* (рис. 9).

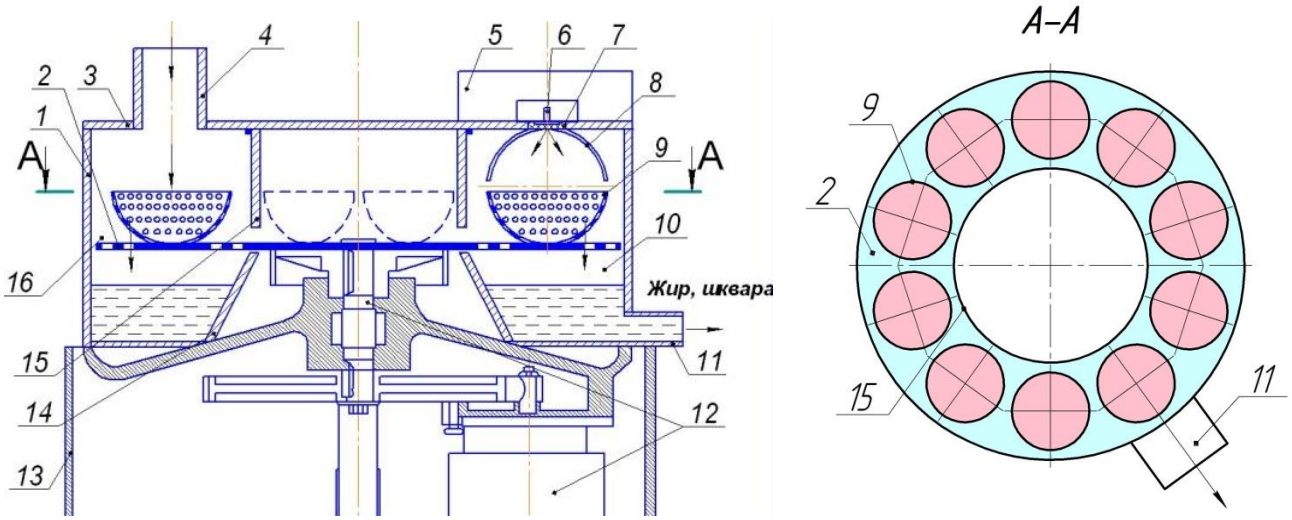


Рисунок 9 – Установка для термообработки жиросодержащего сырья в ЭМПСВЧ:
1 – экранирующий цилиндрический корпус; 2 – перфорированный диск-ротор; 3 – крышка корпуса; 4 – приемный патрубок; 5 – СВЧ генераторные блоки; 6 – излучатель; 7 – диэлектрическая втулка; 8 – стационарные полусферы; 9 – передвижные перфорированные полусферы; 10 – поддон; 11 – выпускной патрубок; 12 – электропривод; 13 – станина; 14 – усеченный конус; 15 – цилиндр; 16 – корпус

В процессе воздействия ЭМПСВЧ на сырье, через отверстия перфорации в полусферах 9 и через зазор между полусферами резонаторной камеры, проис-

ходит распространение волн за пределами объемного резонатора, т.е. в тороидальном волноводе 16 прямоугольного сечения, образованном между экранирующим корпусом 1 и цилиндром 15. При этом поток бегущей волны в волноводе поглощается сырьем. Вытопленный жир и раздробленная шквара проходят через перфорацию полусферы и диска-ротора 2.

4. Четвертая установка (*патенты № 2517842, № 2543156*) содержит внутри экранирующего цилиндрического корпуса *перфорированную* ***сферическую резонаторную камеру***. *Причем поточность технологического процесса обеспечивается за счет быстровращающейся перфорированной полусферы и запредельного волновода.* Установка обеспечивает сочетание процессов измельчения жира, эндогенного нагрева, аэрации [*соавтор к.т.н. Лукина Д.В.*].

5. Пятая установка *для вытопки жира* (*заявка № 2015116255*) содержит шесть перфорированных ***сферических резонаторов,*** связанных друг с другом через отверстия в общей боковой стенке цилиндра (рис. 10).

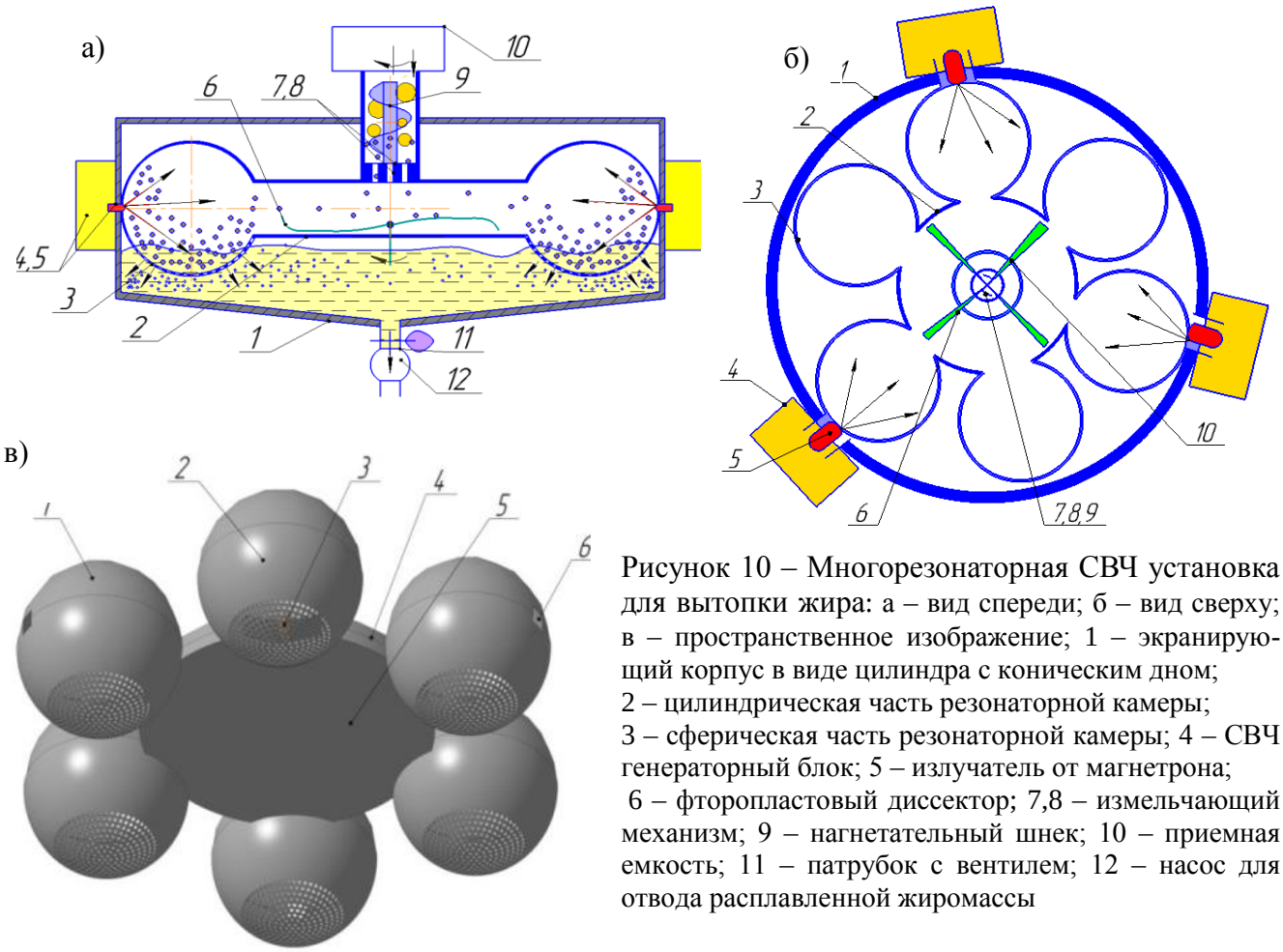


Рисунок 10 – Многорезонаторная СВЧ установка для вытопки жира: а – вид спереди; б – вид сверху; в – пространственное изображение; 1 – экранирующий корпус в виде цилиндра с коническим дном; 2 – цилиндрическая часть резонаторной камеры; 3 – сферическая часть резонаторной камеры; 4 – СВЧ генераторный блок; 5 – излучатель от магнетрона; 6 – фторопластовый диссектор; 7,8 – измельчающий механизм; 9 – нагнетательный шнек; 10 – приемная емкость; 11 – патрубок с вентилем; 12 – насос для отвода расплавленной жиромассы

Если возбудить один сферический резонатор, то СВЧ энергия через отверстие в боковой стенке попадает во внутреннюю часть цилиндра, а затем в соседние сферы, где нет излучателя. Назначение такой конструкции резонаторной камеры – обеспечивать эффективное взаимодействие полей сверхвысокой частоты с электронными потоками. Электронный поток, проходя через отверстия в близко расположенных стенках резонатора, возбуждает в нем электромагнитные колебания. Малое расстояние между основаниями цилиндра 2 позволяет сократить время пролета электронов в резонаторе.

Рабочий процесс. Измельченная жировая масса поступает в пространство между двумя дисками, расстояние межу ними согласовано с длиной волны. Диссектор обеспечивает центробежное поле в цилиндрической части резонаторной камеры 2. Лопастным питателем 6 (диссектором) частицы сырья направляются в сферические части 3 резонаторной камеры. Под воздействием ЭМПСВЧ происходит плавление жира, а шквара разрушается до мелких частиц и проходят через отверстия перфорации сфер. Поток излучения через перфорацию в сферах и отверстия решетки 7 измельчающего механизма будет замыкаться в вытопленном жире. Расплавленная жировая масса поступает в накопительную емкость и насосом 12 перекачивается через сливной патрубок. Высокая интенсивность теплообмена в установке достигается путем совмещения процессов измельчения сырья, находящегося во взвешенном состоянии, при обеспечении центробежного поля с помощью диссектора и равномерного нагрева в ЭМПСВЧ. Диссектор способствует выравниванию ЭМП в цилиндрическом объеме резонаторной камеры. При обеспечении высокой напряженности электрического поля смесь жира со шкварой полностью обеззараживается, а качество продукта остается высоким. Опытный образец многорезонаторной СВЧ установки для термообработки жиросодержащего сырья приведен на рис. 11, а ее технические характеристики – в табл. 3.

Рисунок 11 – Многорезонаторная СВЧ установка для термообработки жиросодержащего сырья

Таблица 3 – Технические характеристики многорезонаторной СВЧ установки

Показатели	
Производительность, кг/ч	30…40
Мощность СВЧ генераторов, кВт	3,6
Мощность измельчителя, кВт	0,2
Мощность шестеренчатого насоса, кВт	0,2
Мощность привода мешалки, кВт	0,1
Мощность установки, кВт	4,1
Количество сфер, шт.	6
Габаритные размеры (диаметр и высота), м	1,5х1,0

6. Шестая СВЧ установка для термообработки сырья со сферическими передвижными резонаторами *(патент № 2526942)* содержит внутри экранирующего цилиндрического корпуса ротор, вращающийся в вертикальной плоскости. На всей боковой поверхности ротора установлены полусферы резонаторных камер. Над верхней половиной ротора установлены генераторные блоки, излучатели от которых направлены в жестко закрепленные полусферы. При вращении ротора, полусферы стыкуются и образуют резонаторные камеры

7. Седьмая установка (*заявка № 2015138179*) для выделения расплавленного жира из жиросодержащего сырья содержит множество генераторов с одним *коаксиальным резонатором*. *При этом в кольцевое пространство направлено несколько излучателей*. Причем, наружный перфорированный цилиндр (барабан) вращается (рис. 12).

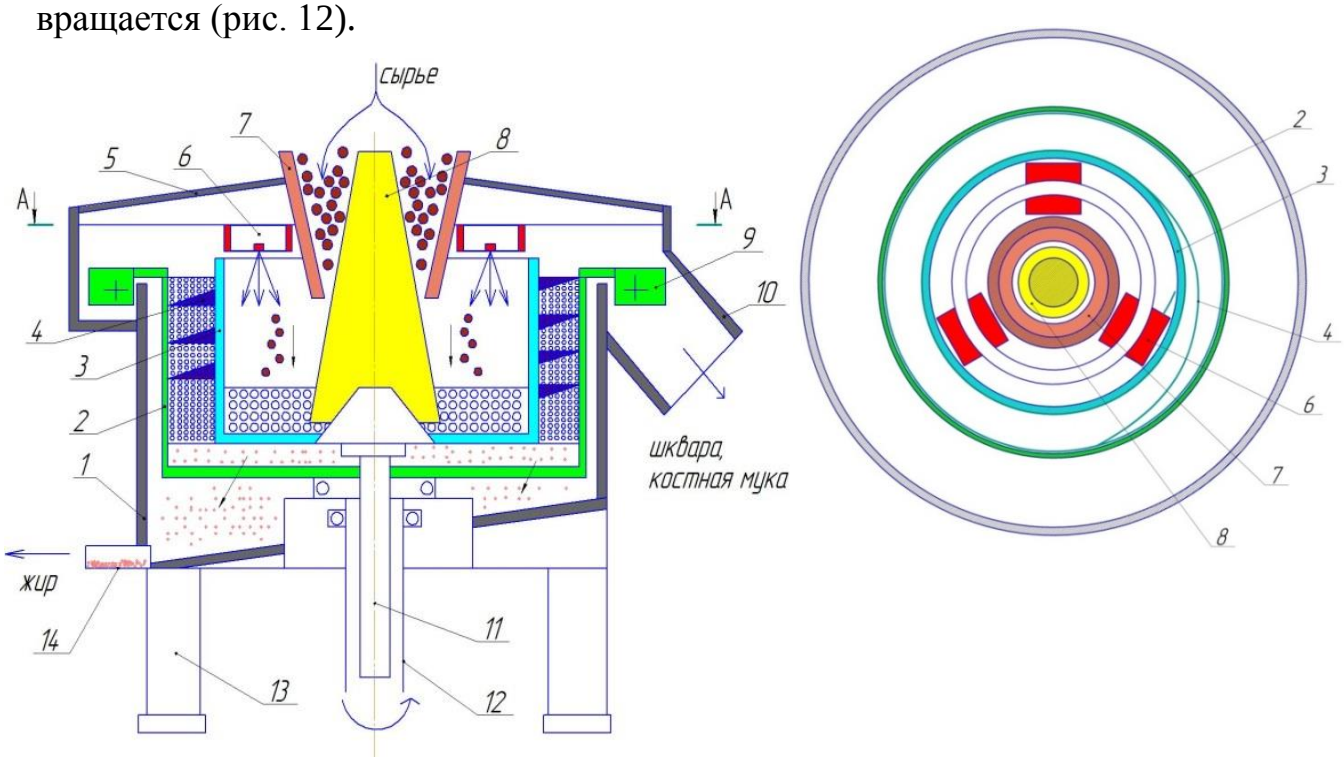


Рисунок 12 – СВЧ установка для выделения расплавленного жира из жиросодержащего сырья: 1 – цилиндрический экранирующий корпус; 2 – перфорированный цилиндрический ротор; 3 – барабан; 4 – шнек; 5 – крышка корпуса; 6 – СВЧ генераторный блок с излучателем от магнетрона; 7 – загрузочная емкость; 8 – конусный ограничитель излучения; 9 – скребки; 10 – патрубок для выгрузки продукта; 11 – вал ротора, барабана и шнека; 12 – полый вал ротора; 13 – стойка

Поточность процесса обеспечивается за счет перфорированного барабана с ротором и шнека. *Измельченную жиросодержащую* ***кость*** непрерывно загружают в цилиндрический перфорированный барабан-резонатор 3 через кольцевой зазор 7. Подача исходного сырья регулируется изменением высоты посадки конусообразного ограничителя излучений 8. За счет центробежной силы расплавленный жир и частицы шквары определенного размера выдавливаются через перфорацию в барабане 3 и отбрасываются на перфорированные стенки ротора 2. Вытопленный жир через перфорацию ротора стекает к патрубку 14 и отводится. Шквара, прижатая к перфорированной поверхности ротора, перемещается вверх витками шнека 4 и сбрасывается в карман 1. Генераторные блоки расположены над кольцевым пространством со сдвигом на 120 градусов для обеспечения надежной их работы в один коаксиальный резонатор.

8. Установка для термообработки мясного фарша в ЭМПСВЧ (*патент № 2409915*). Техническая новизна заключается *в сочетании резонаторной камеры с перфорированной вибрирующей плоскостью*, обеспечивающей сепарирование сваренных частиц фарша за счет привода вибрационного механизма, включающего на ведомом шкиве неуравновешенный груз. Рабочая камера состоит из четырех секторов, два противоположных из них выполняют функцию резонаторной камеры. Нижним основанием резонаторов служит *вибрирующая перфорированная плоскость.*

9. Установка для термообработки крови убойных животных содержит цилиндрический экранирующий корпус, внутри которого расположен ротор. По всему периметру ротора закреплены *нижние части цилиндрических или* ***сферических*** *резонаторных камер*, внутри которых установлены под углом съемные термостойкие диэлектрические контейнеры. Верхние части резонаторных камер жестко закреплены под генераторами. СВЧ генераторы и ИК лампы расположены с чередованием по периметру, на верхнем основании экранирующего корпуса. (*патенты № 2526942, № 2541634*).Технология разработана с учетом следующих требований к процессу:

- термообработка крови происходит за счет многократного последовательного воздействия через паузу ЭМПСВЧ и ИК излучений;
- кровь подается в передвижные сферические резонаторы дозированно, в автоматическом режиме;
- выгрузка вареной крови происходит за счет опрокидывания полусфер.

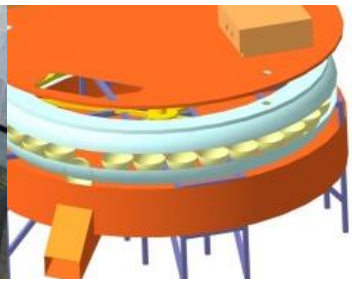
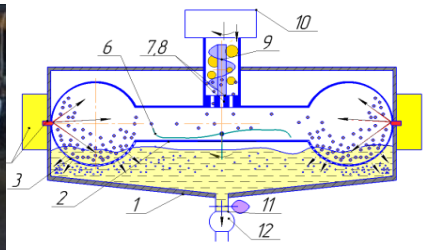
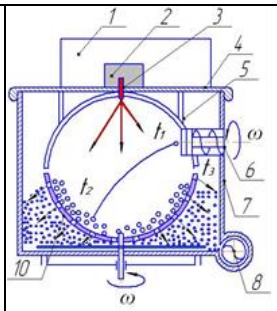
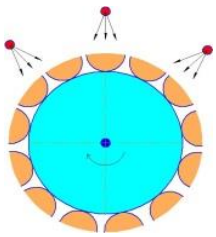
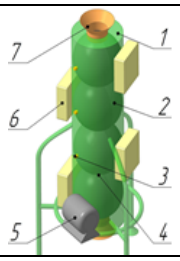
10. Сублиматор со сверхвысокочастотным генератором для сушки замороженного мясного сырья (*патент № 2565227*). Установка для сушки сырья в поточном режиме с СВЧ генератором представляет собой холодильная камера, внутри которой обеспечен вакуум и установлен перфорированный ***сферический*** резонатор. Полусферы жестко закреплены к боковым сторонам камеры. С наружной стороны установки закреплен «Волчок». Внутри сферического перфорированного резонатора установлена диэлектрическая мешалка. Холодильный контур соединен с конденсатором-вымораживателем.

11. Многоблочная СВЧ установка для термообработки сырья в оболочке (*заявка № 2015119313*) обеспечивает циклический режим воздействия ЭМП. В цилиндрическом экранирующем корпусе расположены *дифракционные сферические резонаторы*. Они состыкованы между собой, образуя ярус. В местах их стыка имеется отверстие для перемещения сырья из одного сферического резонатора в другой. Внутри каждой сферы расположены ячеистые дозаторы, выполняющие одновременно функцию *замедляющей системы*.

12. *Разработаны несколько установок* ***с замедляющей системой*** *в виде цепочки связанных колец и транспортирующего шнека, в том числе* ***установка для термообработки колбасных изделий*** (*патент № 2479164*).

Основные разработанные установки, отличающиеся по конфигурации резонаторов, обеспечивающих термообработку и обеззараживание различного сырья, приведены в табл. 4.

Таблица 4 – СВЧ установки для термообработки и обеззараживания с.-х сырья

1	*Многогенераторная СВЧ-ИК установка с перфорированными передвижными* ***сферическими резонаторами*** (патенты № 2526942 и 2541634). *Для термообработки крови убойных животных, кровяных колбас, бойл для рыб.*	
2	*СВЧ установка* ***с многорезонаторной камерой****, выполненной* ***из цилиндра и перфорированных сфер*** (заявка № 2015116255). *Для термообработки жиросодержащего сырья.*	
3	*Многогенераторная СВЧ установка с перфорированными* ***стационарными сферическими резонаторами в кольцевом волноводе*** (заявка № 20151117451). *Для термообработки жиросодержащего сырья.*	
4	*Многогенераторная СВЧ установка с перфорированными* ***передвижными сферическими резонаторами в кольцевом волноводе*** (заявка № 2014150840). *Для термообработки жиросодержащего сырья.*	
5	*СВЧ установка* ***с вращающейся сферической резонаторной камерой*** (патент № 2543156). *Для термообработки: измельченного жира, измельченных жиросодержащих костей.*	
6	*СВЧ установка со* ***сферическими передвижными резонаторами*** (Патент № 2526942). *Для термообработки мясного сырья.*	
7	*Многоблочная СВЧ установка с* ***сферическими резонаторами****, содержащими неферромагнитные ячеистые дозаторы* (заявка № 2015119313). *Для термообработки сырья в оболочках* (*ширтан*).	
8	***Сублиматор с СВЧ генератором со сферическим перфорированным резонатором*** *для сушки замороженного мясного сырья* (патент № 2565227).	
9	*Многогенераторная СВЧ установка с* ***коаксиальным перфорированным вращающимся резонатором*** (заявка № 2015138179). *Для термообработки жиросодержащих измельченных костей.*	

Расположение резонаторных камер разных конфигураций в СВЧ установках для разных технологических процессов и образцы установок для термообработки с.-х. сырья приведены на рис. 13…19.

Рисунок 13 – Расположение нижних частей цилиндрических резонаторных камер на роторе установки для термообработки крови убойных животных

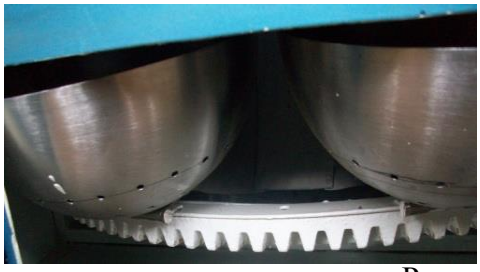


Рисунок 14 – Расположение нижних полусфер резонаторных камер на роторе установки для обезжиривания и обеззараживания жиросодержащего сырья

Рисунок 15 – Вращающаяся перфорированная полусфера резонаторной камеры в установке для термообработки жира

Рисунок 16 – Диэлектрическая перфорированная резонаторная камера, используемая в установке для сушки сырья

Рисунок 17 – Цилиндрические резонаторные камеры, используемые в установке для термообработки сырья

Рисунок 18 – Дифракционная резонаторная камера, собранная из неферромагнитных труб в установке для посола, массирования и термообработки мясного сырья

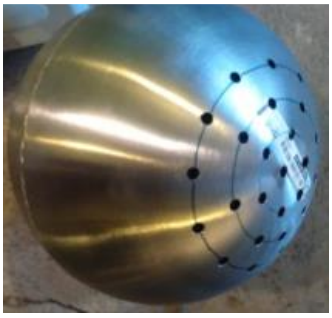


Рисунок 19 – Сферические перфорированные резонаторные камеры, используемые в установке для термообработки жиросодержащего сырья

Раздел пятый **«Научно-экспериментальное обоснование системно-комплексного подхода обеспечения качества и безопасности продукции, обработанной в электромагнитном поле сверхвысокой частоты»,** содержит результаты исследования: динамики нагрева разного с.-х. сырья в зависимости от конфигурации резонаторных камер; степени снижения ОМЧ продукции; органолептических показателей продукта; мощности потока и энергетической экспозиции СВЧ излучений около разработанных установок; эмпирические выражения моделей основных критериев, позволяющих обосновать ключевые параметры технологических процессов термообработки разного с.-х. сырья (рис. 20, 21).

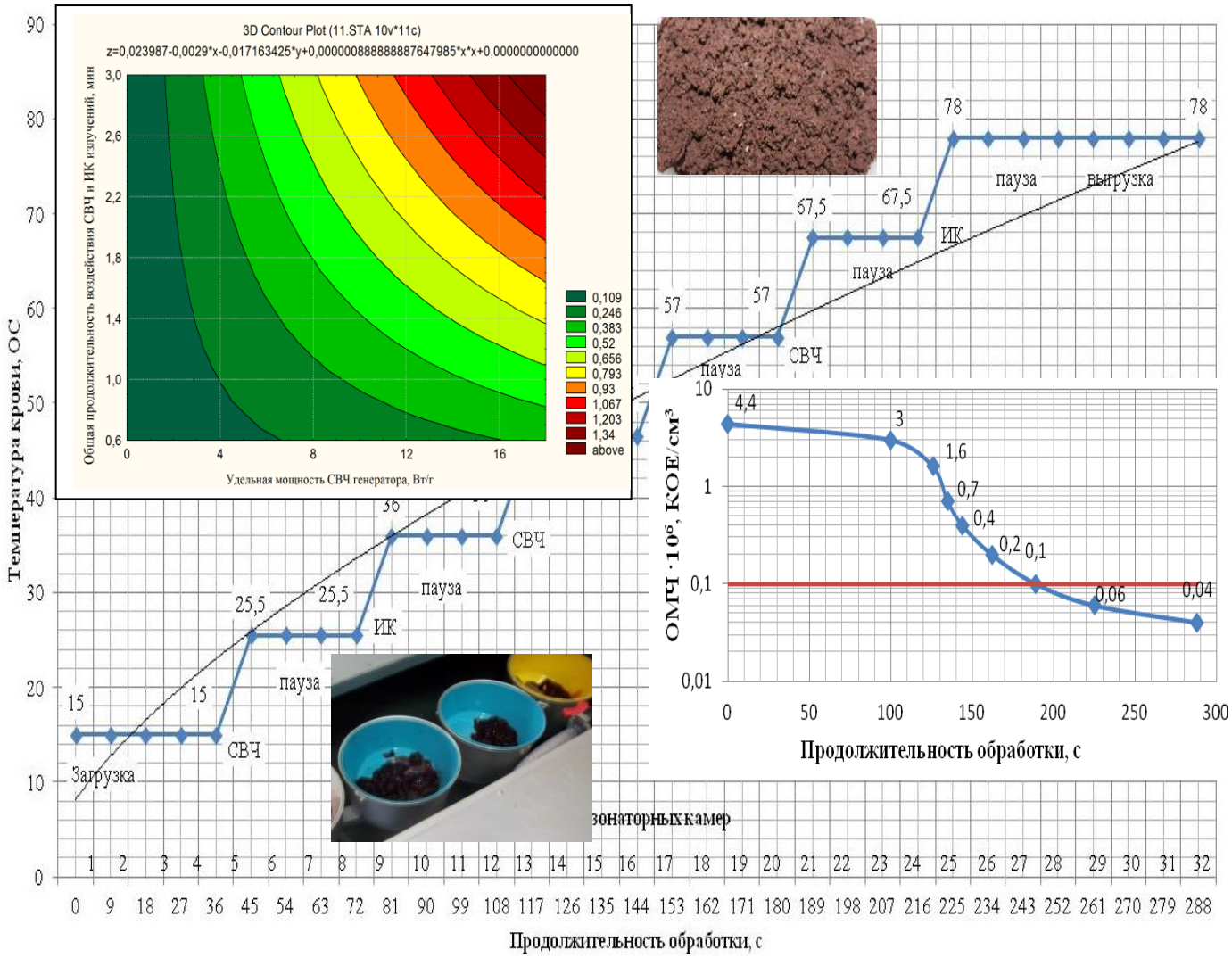


Рисунок 20 – Динамика нагрева крови в рабочей камере установки с СВЧ и ИК энергоподводами, снижение общего микробного числа в продукте и двумерные сечения в изолиниях трехфакторной модели энергетических затрат (Вт·ч/г) на термообработку крови убойных животных

Органолептические показатели опытного образца куриного жира лучше контрольного образца на 6 баллов, свиного жира на 5 баллов.

Непосредственно около СВЧ установки мощность потока излучений не превышает санитарную норму и составляет 103…233 мкВт/см^2.

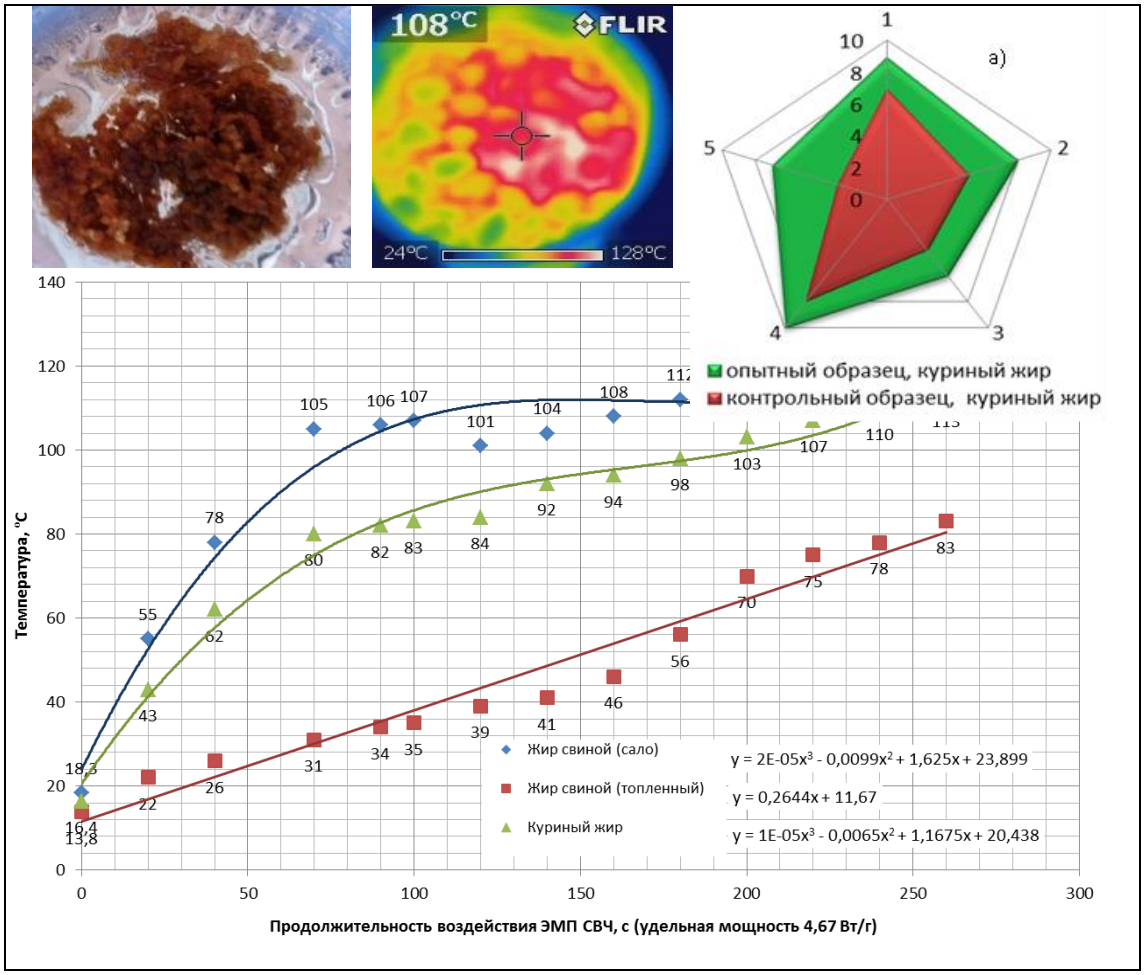


Рисунок 21 − Динамика нагрева жиросодержащего сырья в многорезонаторной СВЧ установке, картина распределения теплового потока по поверхности продукта и органолептические показатели вытопленного жира опытного (наружная диаграмма) и контрольного (внутренняя диаграмма) образцов

Раздел шестой **«Эффективность применения установок для термообработки сельскохозяйственного сырья в фермерских хозяйствах»** посвящен рассмотрению результативности исследований и эффективности применения разработанных установок в технологических процессах переработки сырья. Результаты годового экономического эффекта от применения СВЧ установок для термообработки с.-х. сырья приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Экономический эффект от применения СВЧ установок для обеззараживания и термообработки жиросодержащего сырья

Разработанные установки для:	Производительность, кг/ч	Экономический эффект, руб./год
термообработки жиросодержащих измельченных костей	25…30	80000
перетопки жира	10…15	15000
термообработки жиросодержащего сырья	30…40	25032
термообработки мясного фарша	6…7	47678,4

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. *Разработана* методика проектирования СВЧ установок для термообработки и обеззараживания с.-х. сырья, направленная на обеспечение поточности технологического процесса, высокой напряженности электрического поля в сырье и добротности электродинамической системы за счет изменения конфигурации и объема резонаторной камеры.

2. *Изложены* элементы теории электродинамической системы СВЧ установки и раскрыты закономерности рабочего процесса, происходящего в перфорированных сферических резонаторах, расположенных в экранирующем корпусе, позволяющие согласовать ключевые параметры и режимы работы установки для обеспечения эффективной термообработки с.-х. сырья. Обоснованы электродинамические характеристики (напряженность электрического поля и добротность) от геометрии и размеров объемного резонатора, электрофизических параметров сырья. Согласованы добротность и объемы резонаторных камер, обеспечивающих эффективную величину напряженности электрического поля для обеззараживания сырья в процессе термообработки.

3. *Предложенные* методы расчета рабочих камер для разработанных многогенераторных СВЧ установок со сферическими перфорированными резонаторами позволяют выявить эффективную плотность живого сечения отверстий и зазор между полусферами. Перфорация сферы снижает собственную добротность многорезонаторной камеры не более, чем на 16%, если сумма диаметров отверстий перфорации не превышает диаметра самой сферы. Дифракционные потери, следовательно, собственная добротность с увеличением радиуса сферы с 3,06 см до 24,48 см, при зазоре между полусферами 1 см, уменьшаются с 14 % до 0,2%, а при зазоре 0,5 см – с 7 % до 0,1%.

4. *Выявлены* закономерности кинетики нагрева сырья в СВЧ установке со сферическими перфорированными резонаторами. *Получены* регрессионные модели процесса функционирования установок, математические модели динамики эндогенного нагрева сырья, и разработана методика согласования конструктивно-технологических параметров с режимами работы установок с учетом конфигурации резонаторов и изменения электрофизических параметров сырья в процессе поточной термообработки. Обоснован комплекс конструктивно-технологических параметров и рабочих режимов СВЧ установок, обеспечивающих улучшение качества продукта при сниженных эксплуатационных затратах, что подтверждается актами апробации в производственных условиях. На основе исследований динамики нагрева сырья и микробиологических показателей выявлено, что обеззараживание и термообработка сырья происходят при напряженности электрического поля от 1 до 14 кВ/см в сферической резонаторной камере объемом 0,5…5 л.

5. *Разработаны* способы термообработки и обеззараживания различного с.-х. сырья в поточном режиме при комбинировании источников энергии сверхвысокой частоты, инфракрасных и ультрафиолетовых излучений, ультразвуковых колебаний. Технологии термообработки крови убойных животных и жиросодержащего сырья реализованы в конструкциях многогенераторных сверхвысокочастотных установок производительностью до 40 кг/ч:

- с *передвижными* сферическими резонаторами;

- *с передвижными* сферическими перфорированными резонаторами;
- со *стационарными* сферическими перфорированными резонаторами;
- с *вращающимся коаксиальным* перфорированным резонатором;
- *с многорезонаторной камерой*, выполненной из цилиндра и перфорированных сфер.

6. Конструкции рабочих камер, расположенные в тороидальном экранирующем корпусе обеспечивают поточность технологического процесса при соблюдении санитарных норм по мощности потока излучений около установок 100…250 мкВт/см^2 и энергетической экспозиции за семичасовой рабочий день, повышая энергетический, бактерицидный и экономический эффекты при многократном воздействии электромагнитного поля сверхвысокой частоты на сырье.

7. В результате апробации изготовленных СВЧ установок для термообработки и обеззараживания с.-х. сырья в производственных условиях выявлено, что энергетические затраты на термообработку крови и жиросодержащего сырья составляют 0,15…0,2 кВт·ч/кг, мясного сырья – 0,4…0,5 кВт·ч/кг. Качество продукта улучшается на 6…9 баллов, а общее микробное число в продукте снижается на два порядка.

8. Годовой экономический эффект от применения СВЧ установок для обеззараживания и термообработки жиросодержащего сырья за счет снижения эксплуатационных затрат в среднем составляет 25…40 тыс. руб. при объеме выпускаемой продукции 80…120 тонн. За счет реализации качественного продукта по цене выше на 5%, чистый доход составит 500 тыс. руб.

Разработаны научно-обоснованные практические рекомендации по проектированию установок для термообработки и обеззараживания с.-х. сырья с маломощными сверхвысокочастотными генераторами, без использования схем слежения и управления электродинамической системой.

Перспективы дальнейшей разработки темы, направленные на появление новых эффективных технологий. На основе доказанной целесообразности и перспективности применения энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты для получения продукции повышенной безопасности, *определить* резервы повышения качественного функционирования электродинамической системы с любым сырьем в универсальном резонаторе, обеспечивающем поточность технологического процесса.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

- публикации в изданиях, определенных ВАК РФ:

1. Белова, М.В. Зависимость мощности потерь СВЧ-энергии от напряженности электрического поля / М.В. Белова, Г.В. Новикова, А.Н. Пономарев // Вестник ФГОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет», − Чебоксары: 2011, № 2 (70). – С. 119…122.

2. Белова, М.В. Установка для варки сарделек и сосисок / М.В. Белова, А.А. Белов // Механизация и электрификация сельского хозяйства, № 12, 2011. – С. 27…28.

3. Белова, М.В. Технологическое оборудование для термообработки с.-х. сырья / М.В. Белова, Г.А. Александрова, Д.В. Поручиков // Вестник ФГОУ ВПО «Чу-

вашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева». – Чебоксары: 2013, № 2 (78). – С. 12…16.
4. Белова, М.В. Установка для термообработки крови убойных животных с использованием ЭМИ / М.В. Белова, Н.Т. Уездный // Вестник ФГОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева». – Чебоксары: 2013, № 4 (80). Ч.2. – С. 31…35.
5. Белова, М.В. Экономическая эффективность применения СВЧ установки для термообработки субпродуктов / М.В. Белова, Н.Т. Уездный, И.Г. Ершова // Вестник ФГОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева». – Чебоксары: 2013, № 4 (80). Ч.2. – С. 35…39.
6. Белова, М.В. Обоснование параметров установки для термообработки крови убойных животных / М.В. Белова, Н.Т. Уездный, Г.В. Новикова // Вестник ФГОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева». – Чебоксары: 2013, № 4 (80). Ч.2. – С. 213…217.
7. Белова, М.В. Повышение эффективности функционирования многомодульных агрегатов для агроинженерных технологий / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань: 2013, № 3 (29). – С. 49…52.
8. Белова, М.В. Установка для термообработки крови с.-х. животных / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин, Н.Т. Уездный // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань: 2013, № 3 (29). – С. 53…56.
9. Белова, М.В. Использование СВЧ техники для термообработки крови убойных животных / М.В. Белова, Н.Т. Уездный // Известия Оренбургского ГАУ, 2014, № 1 (45). – С. 56…58.
10. Белова, М.В. Оценка эффективности применения установки для термообработки крови сельскохозяйственных животных // Н.Т. Уездный, И.Г. Ершова, М.В. Белова // Известия Оренбургского ГАУ. – Оренбург: 2014, № 2 (46). – С. 85…87.
11. Белова, М.В. Установка для переработки жиросодержащего сырья с СВЧ энергоподводом / И.Г. Ершова, М. Г. Сорокина, М.В. Белова, Г.В. Новикова // Известия Оренбургского ГАУ.– Оренбург: 2014, № 1 (45). – С. 54…56.
12. Белова, М.В. Установка для сверхвысокочастотной и ультразвуковой обработки кишок убойных животных / Н.А. Зуева, М.В. Белова // Известия Оренбургского ГАУ. – Оренбург: 2014, № 2 (46). – С. 83…85.
13. Белова, М.В. Схема технологического процесса обработки кишечного сырья воздействием ЭМПСВЧ и УЗ колебаний с результатами динамики нагрева / Н.А. Зуева, М.В. Белова // Известия Оренбургского ГАУ. – Оренбург: 2014, № 2 (47). – С. 67…70.
14. Белова, М.В. Методика обоснования параметров установки для термообработки сырья убойных животных / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин, Г.В. Новикова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань: 2014, № 2. – С. 58…62.
15. Белова, М.В. Термообработка крови убойных животных / Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова, Н.Т. Уездный // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 1. – С. 125…127.

16. Белова, М.В. Сублиматор с сверхвысокочастотным генератором для сушки замороженного продукта / М.В. Белова, И.А. Викторова, О.В. Михайлова // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 1. – С. 133…135.
17. Белова, М.В. Установка для термообработки жиросодержащего сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / М.В. Белова, О.В. Михайлова, М.Г. Сорокина, И.Г. Ершова // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 1. – С. 129…131.
18. Белова, М.В. Установка для обезжиривания и обеззараживания кишечного сырья убойных животных / М.В. Белова, Н.А. Зуева // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 1. – С. 123…125.
19. Белова, М.В. Объемные резонаторы СВЧ генератора для термообработки сырья в поточном режиме / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин, А.Н. Федорова, Д.В. Поручиков // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 1. – С.121…123.
20. Белова, М.В. Блок-схема модернизации СВЧ установки для термообработки сырья / М.В. Белова, И.М. Селиванов, Н.И. Махоткина // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 2. – С. 127…128.
21. Белова, М.В. Определение продолжительности переработки сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / М.В. Белова, Г.В. Новикова, Д.В. Поручиков // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 6. – С. 510…513.
22. Белова, М.В. Электродинамический анализ резонаторов, используемых в сверхвысокочастотных установках / Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова, Г.В. Новикова, А.Н. Матвеева, О.И. Петрова // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 6. С. 477…480.
23. Белова, М.В. Математическое описание процесса плавления жира в СВЧ установке / М.В. Белова, Г.В. Новикова, И.Г. Ершова, А.А. Белов, О.В. Михайлова, Н.И. Махоткина // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 6. – С. 513..516.
24. Белова, М.В. Установка для вытопки жира / Г.В. Новикова, И.М. Селиванов, М.В. Белова, И.Г. Ершова, А.Б. Оспанов // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 6. – С. 485…487.
25. Белова, М.В. Анализ электрофизических параметров мясного сырья / А.Г. Самоделкин, Д.В. Поручиков, И.Г. Ершова, М.В. Белова, А.Н. Матвеева // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 6. – С. 494…497.
26. Белова, М.В. Резонаторы, обеспечивающие термообработку сырья в поточном режиме / И.М. Селиванов, М.В. Белова, А.А. Белов, У.У. Умбетов // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 6. – С. 499…502.
27. Белова, М.В. Многорезонаторная установка для плавления жира / А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова, И.Г. Ершова, А.А. Белов // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 6. – С. 492…494.
28. Белова, М.В. Конструктивные особенности резонаторов сверхвысокочастотных установок для термообработки сырья в поточном режиме / М.В. Белова

// Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань: 2015, № 4 (38) – С. 31…37.

Монографии

1. Белова, М.В. Установка для термообработки крови убойных животных / Г.В. Новикова, М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин, Н.Т. Уездный // Монография. – Чебоксары: ФГБОУ ВО «Чувашский ГУ им. И.Н. Ульянова», 2014. – 162 с. (10,13 п.л., ISBN 978-5-7677-1901-3).
2. Белова, М.В. Сверхвысокочастотные установки для термообработки сырья / М.В. Белова // Монография. – Чебоксары: ФГБОУ ВО «Чувашский ГУ им. И.Н. Ульянова», 2016. – 336 с. (21 п.л., ISBN 978-5-7677-2193-1).

Патенты на изобретения

1. Патент № 2409915 РФ, МПК H05B 6/64. Установка для диатермической обработки измельченного сырья / Т.М. Григорьева, М.В. Белова, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2010101203; заявл. 15.01.2010. Бюл. № 2 от 20.01.2011. – 15 с.
2. Патент № 2502260 РФ, МПК A21C 9/02. Сверхвысокочастотный пресс макаронных изделий / В.С. Иванов, М.В. Белов, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2011128514; заявл. 08.07.2011. Бюл. № 36 от 27.12.2013. – 14 с.
3. Патент № 2469514 РФ, МПК H05B 6/64. Сверхвысокочастотный маслоплавитель / Г.А. Александрова, М.В. Белова, Г.В. Новикова, А.А. Белов, заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2011128533 от 08.07. 2011. Бюл. № 34 от 10.12.2012. – 10 с.
4. Патент № 2479164 РФ, МПК H05B6/64. Установка для СВЧ нагрева движущихся изделий круглого поперечного сечения / М.В. Белова, А.А. Белов, А.Н. Федорова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2011128530; заявл. 08.07.2011. Бюл. № 10 от 10.04.2013. – 8 с.
5. Патент № 2543156 РФ, МПК A21B 2/00. Сверхвысокочастотный активатор дрожжей / Д.В. Лукина, М.В. Белова, Г.В. Новикова, А.А. Белов, Н.К. Кириллов; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2012100555; заявл. 10.01.2012 г. Бюл. № 6 от 20.07.2013. –7 с.
6. Патент № 2517842 РФ, МПК A21C 13/00. Установка для тепловой обработки хлебопекарных дрожжей / Д.В. Лукина, М.В. Белова, Н.К. Кириллов, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2012154676; заявл. 17.12.2012. Бюл. № 16 от 10.06.2014. – 10 с.
7. Патент № 2526942 РФ, МПК A21 D 8/02. СВЧ установка для термообработки мучных изделий / Н.Т. Уездный, Г.В. Новикова, М.В. Белова, И.Г. Ершова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2013105921; заявл. 12.02.2013. Бюл. № 24 от 27.08. 2014. – 9 с.
8. Патент № 2529701 РФ, МПК A01K 59/06. СВЧ установка для вытопки пасечного воска / Е.Г. Максимов, Г.В. Новикова, М.В. Белова, Е.Ю. Сергеева; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2013120582; заявл. 06.05.2013. Бюл. 27 от 27.09.2014. – 8 с.
9. Патент № 2537548 РФ, МПК A22C 9/00. Установка для посола и термообработки мясного сырья / Д.В. Поручиков, М.В. Белова, Г.В. Новикова; заявитель и

патентообладатель ЧГСХА. – № 2013107408, заявл. 21.02.2013. Бюл. № 1 от 10.01.2015. − 11 с.
10. Патент № 2541779 РФ, МПК А23С3/07. Установка для обеззараживания жидкостей комплексным воздействием физических факторов / А.В. Родионова, Г.В. Новикова, М.В. Белова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2013120377; заявл. 30.04.2013. Бюл. № 5 от 20.02.2015. – 7 с.
11. Патент № 2541694 РФ, МПК С11В1/12. Установка для термообработки жиросодержащего сырья / И.Г. Ершова, М.Г. Сорокина, М.В. Белова, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2013145358; заявл. 09.10.2013. Бюл. № 5 от 20.02.2015. − 6 с.
12. Патент № 2537552 РФ, МПК А23J 3/12. Установка для термообработки крови с.-х. животных / М.В. Белова, Н.Т. Уездный, Б.Г. Зиганшин, А.А. Белов, И.Г. Ершова, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2013137720; заявл. 12.08.2013. Бюл. № 1 от 10.01.2015. − 14 с.
13. Патент № 2541634 РФ, МПК А23J1/06. Способ термообработки крови с.-х. животных / М.В. Белова, А.А. Белов, И.Г. Ершова, Н.Т. Уездный, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2013146767; заявл. 18.10.2013. Бюл. № 5 от 20.02.2015.
14. Патент № 2550423 РФ, МПК. А22С17/16. Установка для обработки кишок убойных животных / Н.А. Зуева, М.В. Белова, И.Г. Ершова, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, А.А. Белов; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2014100559; заявл. 09.01.2014. Бюл. № 13 от 10.05.2015 .− 11 с.
15. Патент № 2565227 РФ, МПК. А23В4/037. Сублиматор с сверхвысокочастотным генератором для сушки замороженной продукции / М.В. Белова, А.А. Белов, Л.В. Семенов, И.А. Викторова, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, И.Г. Ершова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2014119061; заявл. 12.05.2014. Бюл. № 29 от 20.10.2015. − 8 с.
16. Патент № 2568061 РФ, МПК А23С 3/07. Способ и устройство для обеззараживания молока комплексным воздействием физических факторов / А.В. Родионова, М.В. Белова, А.А. Белов, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2013147837; заявл. 25.10.2013. Бюл. № 31 от 10.11.2015. – 14 с.
17. Патент № РФ, МПК. Центробежная установка для термообработки жиросодержащего сырья в ЭМПСВЧ / О.В. Михайлова, М.В. Белова, А.А. Белов, Г.В. Новикова, И.Г. Ершова; заявитель и патентообладатель МАДИ. – № 2014150840/20; заявл. 17.12.2014. Бюл. №. (*решение о выдаче патента от* 12.01.2016). – 12 с.

– публикации в сборниках научных трудов и материалов конференций:

1. Белова, М.В. Производство копченых изделий из потрохов птиц / М.В. Белова, Г.В. Новикова // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы энергетики АПК». – Саратов: СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2010. – С. 50…51.
2. Белова, М.В. СВЧ установка для варки измельченных птичьих потрохов / М.В. Белова, Г.В. Новикова, Т.М. Григорьева // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции с.-х». Вып XIII. – Йошкар-Ола: ФГБОУ ВПО «Марийский ГУ». 2011. – С. 146…148.

3. Белова, М.В. Обоснование электродинамической системы СВЧ-генератора / М.В. Белова, А.А. Белов // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции с.-х». Вып. XIV. – Йошкар-Ола: ФГБОУ ВПО «Марийский ГУ», 2012. – С. 135…136.
4. Белова, М.В. Термообработка сосисочного фарша / М.В. Белова, А.Н. Федорова // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ». «Актуальные вопросы совершенствования технологий и технического обеспечения с.-х. производства». – Казань: ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ», 2012. – С. 43…46..
5. Белова, М.В. Методика проектирования установок для переработки с.-х. продукции с использованием энергии ЭМИ / М.В. Белова, Н.К. Кириллов, Г.В. Новикова // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции с.-х». Вып. XV. – Йошкар-Ола: ФГБОУ ВПО «Марийский ГУ». 2013. – С. 117…120.
6. Белова, М.В. Технологическое оборудование с использование ЭМИ для переработки с.-х. продукции / М.В. Белова, А.А. Белов // Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и соискателей «Знания молодых: наука, практика и инновации». – Киров: ФГБОУ ВПО «Вятская ГСХА», 2013. – С. 11…13.
7. Белова, М.В. СВЧ установка для посола и термообработки мясного сырья / М.В. Белова, Д.В. Поручиков // Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и соискателей «Знания молодых: наука, практика и инновации». – Киров: ФГБОУ ВПО «Вятская ГСХА», 2013. – С. 46…49.
8. Белова, М.В. Многомодульный агрегат для агроинженерных технологий / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин // Материалы международной научно-практической конференции «Перспективные технологии и технические средства в АПК». – Казань: ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ», 2013. – С. 22…25.
9. Белова, М.В. Мясомассажер-термокамера для мясного сырья / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин, Д.В. Поручиков // Материалы международной научно-практической конференции «Перспективные технологии и технические средства в АПК». – Казань: ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ», 2013. – С. 123…126.
10. Belova, M.V. Equipment for producing meat materials using energy of ultra-high frequency microwave / M.V. Belova, D.V. Poruchicov, I.G. Yershova // Materials of the first international scientific practical Conference "The achievements of modern sciences in the field of energy saving".− Cheboksary: Pegasus, 2013. – С. 25... 27.
11. Белова, М.В. Многомодульный агрегат для термообработки с.-х. сырья / М.В. Белова // Материалы первой международной научно-практической конференции «Достижения современной науки в области энергосбережения». – Чебоксары: Пегас, 2013. – С. 27…28.
12. Белова, М.В. Технические средства для тепловой обработки мясокостного сырья / И.Г. Ершова, М.Г. Сорокина, М.В. Белова, Г.В. Новикова // Материалы IX международной научно-практической конференции «Achievement of high school – 2013» , том 43. – София, Белград: ООД, 2013. – С. 26…28.

13. Белова, М.В. Повышение энергоэффективности агроинженерных технологий переработки с.-х. продукции / М.В. Белова // Материалы международной научно-практической конференции «Инновационные технологии повышения эффективности производства и переработки с.-х. продукции». – Харьков: Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева, 2013. – С. 32…34.
14. Белова, М.В. Повышение энергоэффективности технологического оборудования для термообработки с.-х. сырья / М.В. Белова // Сборник научных статей победителей и призеров 9 республиканского конкурса научно-исследовательских работ молодых ученых и специалистов. – Чебоксары: Министерство образования и молодежной политики ЧР, 2013. – С. 130…136.
15. Белова, М.В. Установка для термообработки крови убойных животных / М.В. Белова, Г.В. Новикова, Н.Т. Уездный // Материалы международной научно - практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции с.-х.». Вып. XV. – Йошкар-Ола: ФГБОУ ВПО «Марийский ГУ», 2014 . – С. 136…137.
16. Белова, М.В. Термообработка крови убойных животных с использованием ЭМПСВЧ и ИК излучений / М.В. Белова, Е.Ю. Сергеева // Материалы международной научно - практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции с.-х.». Вып. XV. – Йошкар-Ола: ФГБОУ ВПО «Марийский ГУ», 2014. – С. 136…138.
17. Белова, М.В. Объемные резонаторы в СВЧ установках, предназначенных для агроинженерных технологий / М.В. Белова, А.А. Белов, Г.В. Новикова, Н. А. Зуева // Материалы международной научно - практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции с.-х.». Мосоловские чтения. Вып. XV. – Йошкар-Ола: ФГБОУ ВПО «Марийский ГУ», 2014. – С. 129…130.
18. Белова, М.В. Повышение энергоэффективности технологического оборудования для термообработки с.-х. сырья / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин // IX международная научно-техническая конференция «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве». – Москва: ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – С. 169…172.
19. Белова, М.В. Обоснование режимов работы установки для обработки кишечного сырья убойных животных с применением СВЧ и УЗ генераторов / М.В. Белова, Н.А. Зуева // IX международная научно-техническая конференция «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве». – Москва: ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – С. 172…175.
20. Белова, М.В. Установка для переработки жиросодержащего сырья с СВЧ энергоподводом / М.В. Белова, И.Г. Ершова, М.Г. Сорокина // IX международная научно-техническая конференция «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве». – Москва: ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – С. 28…31.
21. Белова, М.В. Методика обоснования параметров установки для обезжиривания и обеззараживания кишечного сырья животных / М.В. Белова, Н.А. Зуева, Г.В. Новикова // IX международная научно-техническая конференция «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве». – Москва: ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – С. 176…180.

22. Белова, М.В. Установка для термообработки крови убойных животных / М.В. Белова, Н.Т. Уездный, Г.В. Новикова // IX международная научно-техническая конференция «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве». – Москва: ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – С. 31…33.
23. Белова, М.В. Переработка животного жиросодержащего сырья в ЭМПСВЧ / М.В. Белова, И.Г. Ершова // II международная научно-практическая конференция «Профессии без границ». – Новочебоксарск: АНО ВПО «Региональный институт технологии и управления», 2014. – С. 275…279.
24. Белова, М.В. Технологическое оборудование для термообработки с.-х. сырья с использованием ЭМИ / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин // II международная научно-практическая конференция «Профессии без границ». – Новочебоксарск: АНО ВПО «Региональный институт технологии и управления», 2014. – С. 246…249.
25. Белова, М.В. Разработка процесса термообработки жиросодержащего сырья / И.Г. Ершова, М.Г. Сорокина, М.В. Белова // Международная научно-практическая конференция «Инженерная наука – аграрному производству». – Казань: ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ», 2014. – С. 123…128.
26. Белова, М.В. Резонаторные камеры СВЧ установок для термообработки с.-х. сырья / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин, Г.В. Новикова // Международная научно-практическая конференция «Инженерная наука – аграрному производству». – Казань: ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ», 2014. – С. 22…25.
27. Белова, М.В. СВЧ установка для термообработки колбасных изделий с замедляющей системой / А.Н. Федорова, М.В. Белова, О.В. Михайлова // Международная научно-практическая конференция «Инженерная наука – аграрному производству». – Казань: ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ», 2014. – С. 137…140.
28. Белова, М.В. Варианты исполнения объемных резонаторов СВЧ генератора для термообработки сырья в поточном режиме / М.В. Белова // Вестник ГБОУВПО Нижегородский государственный инженерно-экономический институт. Выпуск 2 (45) ISSN 2227-9407. – Княгинино: НГИЭИ, 2015. – С. 13…16.
29. Белова, М.В. Блок-схема модернизации СВЧ установки для термообработки сырья / М.В. Белова, И.М. Селиванов, А.Н. Федорова // Материалы XVII международной научно - практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции с.-х». Вып. XVII. – Йошкар-Ола: ФГБОУ ВО «Марийский ГУ», 2015. – С. 102…103.
30. Белова, М.В. Электродинамический анализ резонаторов, используемых в СВЧ установках / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин // Международная научно-практическая конференция «Научное сопровождение АПК: теория, практика, перспективы». – Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ», 2015. – С. 78…81.
31. Белова, М.В. Объемные резонаторы СВЧ установок для термообработки сырья в поточном режиме / М.В. Белова, А.А. Белов, О.И. Петрова // Международная научно-практическая конференция «Научное сопровождение АПК: теория, практика, перспективы». – Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ», 2015. – С. 70…74.
32. Белова, М.В. Обоснование напряженности и глубины проникновения электромагнитного поля СВЧ в кишечное сырье в сферическом резонаторе / Н.А.

Зуева, М.В. Белова, И.Г. Ершова // Международная научно-практическая конференция «Научное сопровождение АПК: теория, практика, перспективы». – Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ», 2015. – С. 161…167.
33. Белова, М. В. Обоснование сферической конфигурации резонатора СВЧ установки / М.В. Белова, О.В. Михайлова // III международная научно-практическая конференция «Профессии без границ». – Новочебоксарск: АНО ВПО «Академия технологии и управления», 2015. – С. 147…151.
34. Белова, М. В. Резонаторы, обеспечивающие диэлектрический нагрев сырья в поточном режиме / И.М. Селиванов, М.В. Белова, А.А. Белов // III международная научно-практическая конференция «Профессии без границ». – Новочебоксарск: АНО ВПО «Академия технологии и управления», 2015. – С. 172…174.
35. Белова, М.В. Повышение энергоэффективности установок для термообработки с.-х. сырья / М.В. Белова // Научное издание выездного заседания «Бюро секции механизации, электрификации и автоматизации» отделения сельскохозяйственных наук РАН «Высокотехнологическое импортоопережение при возделывании с.-х. культур. – Казань: ФГБОУ ВО «Казанский КАУ», 2015. – С. 236…242.
36. Белова, М.В. Термообработка пищевого сырья в ЭМПСВЧ / М.В. Белова, И.М. Селиванов, Г.В. Новикова // Вестник Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати «Природопользование и проблемы антропосферы». Международный научный журнал. – Астана, № 3, 2015. – С.11…15.
37. Белова, М.В. Технологический процесс термообработки продукции животноводства с использованием энергии ЭМИ / М.В. Белова, Н.И. Махоткина, Г.В. Новикова // Вестник Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати «Природопользование и проблемы антропосферы». Международный научный журнал. – Астана, № 3, 2015. – С. 15…21.
38. Белова, М.В. Технические характеристики СВЧ установок и экономический эффект от их применения / О.В. Михайлова, М.В. Белова, Н.И. Махоткина, О.И. Петрова // Вестник Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати «Природопользование и проблемы антропосферы». Международный научный журнал. – Астана, № 3, 2015. – С. 28…32.
39. Белова, М.В. Многорезонаторная установка для обеззараживания и плавления жира воздействием ЭМПСВЧ / М.В. Белова, И.Г. Ершова // Материалы международной научно-практической конференции «Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития». – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. – С. 226…228.
40. Белова, М.В. Термообработка жиросодержащего сырья воздействием ЭМПСВЧ / И.Г. Ершова, М.В. Белова, А.Е. // Материалы международной научно-практической конференции «Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития». – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. – С. 231…233.

Подписан в печать 01.03.2016 г. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,0.
Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать трафаретная. Заказ 223. Тираж 100 экз.
Типография ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, 420015. РТ, Казань, ул. К. Маркса, 65.