Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный инженерно – экономический университет»
ГБОУ ВО НГИЭУ

На правах рукописи

ЖДАНКИН ГЕОРГИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ОБРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

На соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант - Сторчевой В.Ф, д.т.н., профессор

Княгинино,
2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	7
1. СОСТОЯНИЕ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	14
1.1 Аналитический обзор ресурсов и объемов перерабатываемых непищевых отходов животного происхождения	14
1.2 Анализ электрофизических и теплофизических характеристик компонентов непищевых отходов животного происхождения	16
1.3 Анализ технологий и технических средств, предназначенных для термообработки непищевых отходов убоя животных	24
1.4 Выводы по разделу, цель и задачи исследований	32
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВЧ УСТАНОВОК С НЕТРАДИЦИОННЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ СЫРЬЯ	35
2.1 Методологические основы создания СВЧ установки непрерывно-поточного действия	35
2.2 Разработанные объемные резонаторы для термообработки многокомпонентного вязкого сырья	47
2.2.1 Объемные резонаторы для термообработки непищевых отходов животного происхождения	47
2.2.2 Согласование длины волны и конструкционных параметров с собственной добротностью объемных резонаторов	57
2.2.3 Расчет собственной добротности комбинированного резонатора через уравнения кривой, ограничивающей объем при вращении вокруг оси Оу	63
2.3 Моделирование объемных резонаторов, обеспечивающих эффективные параметры электродинамической системы	70
2.4 Математические выражения, описывающие динамику нагрева непищевого мясного сырья при изменении электрофизических параметров	84
2.5 Технологический процесс термообработки сырья **в сферических** резонаторах СВЧ установок	86
2.5.1 Стационарные сферические резонаторы в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки жиросодержащего сырья	86
2.5.2 Вращающийся сферический резонатор в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки сырья	88
2.6 Технологический процесс термообработки сырья **в тороидальных** резонаторах СВЧ установок	89
2.6.1 Тороидальный резонатор с ячеистым ротором в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки сырья	89
2.6.2 Квазистационарный тороидальный резонатор в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для высокотемпературного формо-	89

вания сырья
2.7 Технологический процесс термообработки сырья **в цилиндрических** резонаторах СВЧ установок 91
2.7.1 Передвижные цилиндрические резонаторы в СВЧ установке для термообработки отходов убоя птиц и животных в периодическом режиме 90
2.7.2 Поярусно расположенные цилиндрические щелевые резонаторы в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки непищевых отходов животного происхождения 92
2.7.3 Цилиндрические вращающиеся щелевые резонаторы в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки непищевых отходов убоя животных 93
2.7.4 Шнековый резонатор в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки 95
2.7.5 Коаксиальный резонатор в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки сырья в процессе измельчения 96
2.8 Технологический процесс термообработки сырья в **конических** резонаторах СВЧ установок 98
2.8.1 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с ячеистыми барабанами для термообработки сырья 98
2.8.2 Вращающиеся конические перфорированные резонаторы в многомодульной СВЧ установке для обезвоживания и термообработки сырья животного происхождения 100
2.8.3 Биконический резонатор со шнеком в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки отходов убоя животных 103
2.9. Технологический процесс термообработки сырья в **комбинированном** резонаторе СВЧ установки 104
2.9.1 Комбинированный резонатор в виде конусов пристыкованных к сфере в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки непищевых отходов животного происхождения 104
2.9.2 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с комбинированными резонаторами для термообработки мясных отходов 106
2.9.3 Комбинированный резонатор ***в изготовленной*** СВЧ установке непрерывно-поточного действия для обезвоживания и термообработки сырья 107
2.9.4 Сравнительный анализ трех СВЧ установок с комбинированными резонаторами, позволяющими реализовать основные критерии 108
2.9.5 Теоретические аспекты распределения электромагнитного поля в комбинированном резонаторе 112
2.9.6 Анализ изменения напряженности ЭП, распространяющегося за счет излучения электромагнитных волн из кольцевого отверстия 118
2.10 Функциональная структура автоматизированного управления технологическим процессом термообработки сырья в СВЧ установке 122
2.11 Выводы по разделу 127

3. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ СВЧ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ 133
3.1 Общий план исследований 133
3.1.1 Методика проектирования СВЧ установок непрерывно-поточного действия 133
3.1.2 Использованная контрольно-измерительная аппаратура 140
3.1.3 Анализ преимуществ работы СВЧ установок в периодическом или непрерывном режимах 141
3.2 Операционно-технологическая схема переработки мягких непищевых отходов животного происхождения 142
3.3 Сверхвысокочастотные установки непрерывно-поточного действия **со сферическими резонаторами** 147
3.3.1 Сверхвысокочастотная установка со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья 147
3.3.2 Сверхвысокочастотная установка со сферическим резонатором для термообработки сырья животного происхождения 153
3.4 Сверхвысокочастотные установки **с цилиндрическими резонаторами** для термообработки непищевых отходов животного происхождения 157
3.4.1 СВЧ установка *периодического* действия с цилиндрическими резонаторами для варки отходов убоя птицы и животных 157
3.4.2 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с цилиндрическими резонаторами из безосевого шнека для термообработки непищевых отходов убоя животных 161
3.4.3 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с шнековым резонатором для термообработки сырья животного происхождения 164
3.4.4 Многоярусная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для термообработки влажного сырья 167
3.4.5 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с цилиндрическим щелевым резонатором для термообработки сырья в процессе измельчения 172
3.5 Сверхвысокочастотные установки **с коническими резонаторами** для термообработки непищевых отходов животного происхождения 176
3.5.1 Многомодульная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для обезвоживания и термообработки сырья животного происхождения 176
3.5.2 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с биконическим резонатором и шнеком для варки отходов убоя животных 183
3.5.3 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с ячеистыми барабанами для термообработки сырья 186
3.6 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором для термообработки отходов убоя животных в 189
3.6.1 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором в виде конусов пристыкованных к сфере для 189

термообработки непищевых отходов животного происхождения
3.6.2 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с комбинированными резонаторами для термообработки измельченных мясных отходов 192
3.6.3 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором для термообработки измельченных и обезвоженных отходов убоя животных 196
3.7 Сопутствующие устройства для функционирования СВЧ установок 195
3.7.1 Устройство для дозирования вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры 195
3.9 Выводы по разделу 199
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕРМООБРАБОТКИ ВТРИЧНОГО СЫРЬЯ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭМПСВЧ 203
4.1 Экспериментальные исследования процессов термообработки сырья в разработанных установках 203
4.1.1 Динамика нагрева сырья в сверхвысокочастотной установке с комбинированным резонатором 205
4.2 Регрессионные модели и эффективные режимы термообработки непищевых отходов убоя животных в СВЧ установках 210
4.2.1 Эффективные режимы работы многомодульной центробежной СВЧ установки для термообработки сырья и отделения жидкой фракции 210
4.2.2 Эффективные режимы работы СВЧ установки с комбинированным резонатором термообработки и обеззараживания вторичного сырья 215
4.3 Оценка качества продукта 221
4.3.1 Оценка микробиологических и органолептических показателей непищевых отходов убоя животных после воздействия ЭМПСВЧ 221
4.3.2 Исследование физико-химического состава продукта 226
4.3.3 Оценка органолептических показателей сырья опытного и контрольного образцов 228
4.3.4 Исследование распределения теплового потока по поверхности белкового продукта 231
4.4 Разработанная и изготовленная СВЧ установка с комбинированным резонатором для термообработки непищевых мясных отходов 233
4.4.1 Особенности узлов СВЧ установки 233
4.4.2 Принципиальная электрическая схема управления СВЧ установкой для термообработки непищевых отходов убоя животных 237
4.4.3 Исследование электромагнитной безопасности при работе установки с комбинированным резонатором и тремя источниками ЭМИ 240
4.5 Результаты исследований и выводы по разделу 242
5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ НА РАЗРАБОТКУ СВЧ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТ- 245

КИ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
5.1 Технико-экономическая оценка внедрения многомодульной центробежной СВЧ установки для термообработки сырья 246
5.2 Экономическая оценка изготовленной СВЧ установки с комбинированным резонатором для термообработки сырья 253
5.3 Меры предосторожности при обслуживании СВЧ установок для термообработки непищевого сырья 260
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 263
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 267
ПРИЛОЖЕНИЯ 286
Приложение 1. Справка с МСХ нижегородской области 286
Приложение 2. Акты об использовании в учебном процессе 288
Приложение 3. Акты апробирования 319
Приложение 4. Техническое задание 326
Приложение 5. Узлы установки 331
Приложение 6. Регрессионные модели 346
Приложение 7. Оценка кормовой ценности продукта 350
Приложение 8. Патенты 352
Приложение 9. Дипломы 358-359

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В соответствии со стратегией развития перерабатывающей промышленности РФ и Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы, утвержденной от 25.08.2017 г, № 996, предусматривающих решение задач импортозамещения белковых добавок за счет повышения эффективности технологии переработки вторичного сырья, разработка научно-обоснованной технологии и технических средств, для сохранения кормовой ценности, *актуальна.*

При убое птиц и животных с последующей их переработкой накапливаются непищевые отходы, отличающиеся высоким содержанием влаги (65-75 %), направляемые в вакуумные котлы, где путем парового гидролиза, стерилизации и дальнейшей сушки вырабатывают мясокостную муку. Из-за длительности контакта сырья с высокотемпературным теплоносителем снижается качество продукта, к тому же энергозатраты (30 кВт·ч/т) и расход пара (1200 кг/т) достаточно высокие. Поэтому предлагаются технологии и технические средства термообработки вторичного сырья животного происхождения в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (ЭМПСВЧ) для сохранения кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах. *Важность развития исследований эффектов СВЧ нагрева в России подтверждается принятием 17 декабря 2012 года стратегической программы исследований «СВЧ технологии», определяющей развитие промышленных установок технологического нагрева.*

Научная проблема заключается в разработке и развитии теоретических и методологических основ конструкционно-технологического проектирования и создания СВЧ установки непрерывно-поточного действия с маломощными магнетронами с соблюдением электромагнитной безопасности для термообработки вторичного сырья животного происхождения.

Степень разработанности темы. В мире разрабатывают преимущественно СВЧ установки периодического действия мощностью 25-50 кВт, содержащие магнетроны с водяным охлаждением и сложные средства защиты от отраженных волн. Научные основы воздействия ЭМП на диэлектрический ма-

териал, в том числе на сельскохозяйственное сырье, заложены в трудах: Атабекова Г.И., Архангельского Ю.С., Баскакова С.И., Башилова А.Н., Барсукова С.Н., Бородина И.Ф., Васильева А.Н., Вендина С.В., Гинзбурга А.С., Диденко А.Н., Дробахина О.О., Заболотного П.И., Кисунько Г.В., Коломейцева В.А., Лыкова А.В., Нетушила А.В., Неймана М.С., Никольского О.К., Попова В.М., Рогова И.А., Стребкова Д.С., Сошникова А.А., Цугленок Н.В. и др. Имеется опыт по разработке рабочих камер СВЧ установок для термообработки с.-х. сырья в научной школе ГБОУ ВО «НГИЭУ», руководимой Новиковой Г.В.

На основе анализа выполненных ранее исследований по разработке и внедрению микроволновых технологий для термообработки с.-х. сырья отмечаем, что установки обладают высокими эксплуатационными затратами из-за периодического режима работы, из-за высокой влажности сырья и их размеров, не соизмеримых с глубиной проникновения волн, а в установках непрерывно-поточного действия задача обеспечения радиогерметичности остается *нерешенной* из-за имеющихся прорезей для передвижения сырья через резонатор.

Цель работы − обоснование технологии и оборудования сверхвысокочастотного нагрева вторичного сырья животного происхождения путем совершенствования конструкции многогенераторной установки непрерывно-поточного действия, основанной на принципах проектирования СВЧ установок, и технологии термообработки влажного сырья с сохранением кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах.

Концепция решения проблемы включает разработку методологических основ создания СВЧ установки и технологии термообработки вторичного сырья для сохранения кормовой ценности, предусматривающих методику реализацию критериев проектирования СВЧ установок в конструкционных исполнениях объемных резонаторов и оценку режимов работы для их эффективного функционирования.

Объект исследований: процесс термообработки с обеззараживанием вторичного сырья животного происхождения в установках непрерывно-поточного действия с нетрадиционными резонаторами с высокой собственной

добротностью и напряженностью электрического поля, обеспечивающими электромагнитную безопасность.

Предмет исследований: параметры электродинамической системы «генератор-резонатор» и закономерности динамики эндогенного нагрева измельченного сырья при изменении диэлектрических и физико-механических параметров в процессе термообработки в электрическом поле разной напряженности с выявлением эффективных режимов работы установки.

Научную новизну представляют научно-методические основы разработки СВЧ установки непрерывно-поточного действия с обеспечением электромагнитной безопасности для термообработки вторичного сырья животного происхождения, включающие методики выявления эффективных конструкционных исполнений нетрадиционных резонаторов путем оценки многокритериальных регрессионных моделей и обоснование ЭД параметров и режимов работы установки.

Теоретическую и практическую значимость представляют:

- методологические основы создания СВЧ установки, реализующей технологию термообработки вторичного сырья животного происхождения для сохранения кормовой ценности;

- модель процесса функционирования многогенераторных СВЧ установок непрерывно-поточного действия с рациональными параметрами для термообработки сырья, отвечающая основным технологическим критериям;

- аналитические зависимости, позволяющие обосновать параметры ЭД системы с нетрадиционными резонаторами и получить уравнение динамики эндогенного нагрева сырья, с изменяющимися диэлектрическими и физико-механическими параметрами при термообработке;

- результаты исследования распределения ЭМП в разработанных нетрадиционных резонаторах, позволившие выявить эффективные конструкционные исполнения, обеспечивающие высокую напряженность ЭП и высокую собственную добротность при работе СВЧ установок непрерывно-поточного действия с соблюдением электромагнитной безопасности;

- комплекс конструкционно-технологических параметров и режимы работы СВЧ установок, обоснованных с учетом выявленных эмпирических зависимостей, регрессионных моделей и результатов исследований физико-механических, микробиологических и органолептических показателей, характеризующих кормовую ценность сырья;

- разработанные 3D модели и технологические схемы многогенераторных СВЧ установок с маломощными магнетронами для термообработки и обеззараживания предварительно измельченного сырья в резонаторах, новизна технических решений которых защищена патентами РФ;

- созданная и апробированная в производственных условиях многогенераторная СВЧ установка непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором, обеспечивающим электромагнитную безопасность, высокую собственную добротность и высокую напряженность ЭП, достаточную для обеззараживания измельченных и обезвоженных непищевых отходов убоя животных и птиц при их термообработке;

- результаты экспериментальных исследований, позволяющих разработать рекомендации по эксплуатации и техническое задание для создания многогенераторной СВЧ установки непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором и электронным блоком в шкафу управления.

Методология и методы исследования. В основу методологии положены теория ЭМП, законы термодинамики и математического анализа, результаты математического и физического моделирования. Моделирование ЭМП в нетрадиционных резонаторах и вычисление напряженности ЭП, собственной добротности, плотности тока проводили в программе трехмерного компьютерного моделирования CST Studio Suite 2017 и ее подпрограммы CST Microwave Studio. Путем комплексных экспериментальных исследований с применением современной сертифицированной измерительной аппаратуры и с помощью созданной установки выявлены эффективные режимы работы СВЧ установки с комбинированным резонатором через регрессионные модели в программах Statistic 12.0, Excel 10.0.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методологические основы создания СВЧ установки, реализующей технологию термообработки вторичного сырья животного происхождения для сохранения кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах.

2. Модель процесса функционирования многогенераторных СВЧ установок непрерывно-поточного действия с рациональными конструкционно-технологическими параметрами для термообработки и обеззараживания сырья, отвечающую основным технологическим критериям проектирования СВЧ оборудования.

3. Аналитические зависимости, позволяющие обосновать параметры ЭД системы с нетрадиционными резонаторами и получить уравнение динамики эндогенного нагрева сырья с изменяющимися диэлектрическими и физико-механическими параметрами при термообработке.

4. Конструкционно-технологические схемы СВЧ установок с нетрадиционными резонаторами для термообработки вторичного сырья животного происхождения и результаты исследования распределения ЭМП в резонаторах для выявления эффективных конструкционных исполнений, обеспечивающих высокую напряженность ЭП и высокую собственную добротность при работе установок непрерывно-поточного действия с соблюдением электромагнитной безопасности.

5. Комплекс конструкционно-технологических параметров и режимов работы СВЧ установок и алгоритм их согласования с учетом выявленных эмпирических зависимостей, регрессионных моделей и результатов исследований физико-механических, микробиологических и органолептических показателей, характеризующих кормовую ценность сырья.

6. Техническое задание для создания СВЧ установки, обеспечивающей термообработку и обеззараживание вторичного сырья животного происхождения. Созданная и апробированная в производственных условиях СВЧ установка непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором, обеспечивающим соблюдение электромагнитной безопасности. Оценка технико-

экономической эффективности внедрения СВЧ установок в фермерское хозяйство.

Степень достоверности основных положений и выводов подтверждена сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований технологического процесса термообработки сырья; актами апробации в производственных условиях технологии и СВЧ установки; результатами замеров мощности потока излучений СВЧ установки и исследований кормовой ценности продукта. Достоверность разработанных новых технических решений подтверждена экспертизой ФГБУ ФИПС, выдавшей 23 патента на изобретения.

Реализация результатов исследований. Исследования выполнялись в соответствии с планами НИР ФГБОУ ВО «Нижегородская ГСХА» на основании договора с республиканским учредительным предприятием «Научно-практический центр национальной академии наук Белоруссии по механизации сельского хозяйства» (РУП «НПЦ НАН Белоруссии») от 20.04.2017 г. и НИР ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», номер государственной регистрации 121021800049-6 (2015-2021 гг.). Изготовленный образец прошел испытание в Нижегородской области в ООО «Ардатовский птицекомбинат» и в АО «Линдовская». Результаты исследований доведены до стадии практического применения и приняты МСХ и продовольственных ресурсов Нижегородской области, реализуются на базе созданного совместно с НГИЭУ малом инновационном предприятии - ООО «НГИЭИ-ЭНЕРГО», имеющим ОКВЭД − научные исследования и разработки в области естественных и технических наук, по адресу: Нижегородская область, Княгининский р-н.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на международных научно-практических конференциях и используются в учебном процессе следующих вузов: Нижегородский ГИЭУ, 2017-2021 гг.; Нижегородская ГСХА, 2015-2019 гг.; РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2017-2021 гг.; Марийский ГУ, 2017-2019 гг.; Казанский ГАУ, 2016-2018 гг.; Костромская ГСХА; Пермский ГАУ; Ульяновский ГАУ;

Вятский ГАТУ; Академия технологии и управления, г. Новочебоксарск, 2015-2016 гг.; Чувашский ГПУ им. И.Я. Яковлева, 2016-2019 гг. Результаты были отмечены дипломами «Золотая осень 2016, 2018», «Агро Русь 2017».

Личный вклад автора. Постановка проблемы, формулировка цели и задач исследований, разработка методологии проектирования установок и конструкционных исполнений резонаторов, теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию рациональных параметров установок, составление заявок на изобретения, подготовка публикаций, определение энергетических и технико-экономических показателей работы установок выполнены автором при содействии научного консультанта.

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 71 научной работе. В том числе опубликовано 5 статьей в изданиях, включенных в Web of Science, 22 статьи в журналах из перечня ВАК РФ, 23 патента на изобретения. Издана монография, объемом 18,56 п.л. Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 55 п.л., из них авторских – 20 п.л.

Соответствие паспорту специальности. Тема диссертации соответствует пунктам «Исследования влияния электрических и магнитных воздействий на свойства продуктов, материалов и биологических объектов в растениеводстве и животноводстве», «Обоснование и исследование методов и средств электротехнологий для малоотходных, безотходных и экологически чистых технологических процессов сельскохозяйственного сырья».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов и рекомендаций, списка литературы из 255 наименований, 9 приложений. Основное содержание работы изложено на 285 страницах, включая 135 рисунков, 44 таблицы.

1 СОСТОЯНИЕ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Аналитический обзор ресурсов и объемов перерабатываемых непищевых отходов животного происхождения

Стратегия развития перерабатывающей промышленности РФ на период до 2020 года и Государственная программа развития сельского хозяйства в редакции постановления Правительства РФ от 15 апреля 2014 г., № 315 предусматривают задачи обеспечения импортозамещения продукта за счет увеличения собственного производства и существенного повышения эффективности технологии переработки с улучшенными качественными характеристиками. В связи с этим разработка научно-обоснованной технологии и технического средства, обеспечивающих сохранение кормовой ценности непищевых отходов животного происхождения является *актуальной.*

В I квартале 2015 года Производство мяса птицы в России в I квартале 2015 года во всех категориях хозяйств составило 1056,6 тыс. тонн в убойном весе (1418,1 тыс. тонн в живом весе). 94,0% из этого объема было произведено в сельскохозяйственных организациях, остальной объем – в хозяйствах населения и крестьянско-фермерских хозяйствах. В апреле 2016 г. в Приволжском Федеральном округе произведено 386,2 тыс. тонн мяса птицы. Например, в убойном цехе одного из крупнейших птицеводческих агрохолдингов России ОАО «Агрофирма Птицефабрика Сеймовская» действует убойная линия голландской фирмы «Сторк», позволяющая перерабатывать 1800 голов птицы в час.

Для переработки непищевых отходов убоя птицы и животных имеются разные технологии и технические средства, поэтому необходимо обосновать подбор наиболее эффективного метода. Переработка непищевых отходов предполагает получение биологически ценного, безопасного и стойкого при хранении корма. Необходимое условие достижения этой цели – термообработка отходов, в ходе которой происходят обеззараживание и обезвоживание сырья. Для получения высококачественного кормового продукта, в котором макси-

мально сохраняется биологическая ценность исходного сырья, необходимо свести к минимуму время термообработки и использовать экономичные и экологически чистые технологии.

По химическому составу и физико-механическим свойствам непищевые отходы убоя птицы и животных разделяют на следующие виды:

- кровь, мягкие отходы (технические отходы, легкие, почки и т.п.);
- кератинсодержащие отходы (перо-пуховое сырье, головы, ноги);
- костные отходы (головы, ноги, кости) [1].

Например, общее количество непищевых отходов при переработке птицы методом *полупотрошения* составляет 15,3-18,5 % от живой массы, в том числе технические отходы 10,1-12,8 % (кровь, кишечник, железистый желудок и т.п.). При переработке птицы методом *потрошения* общее количество непищевых отходов достигает 23,7-28, 3% от живой массы птицы, в том числе мягкие отходы 11,9-14,3 %.

Следовательно, в Приволжском округе только за один месяц накапливается 50200 тонн крови и мягких отходов (11,9-14,3 %)·386,2 тыс. тонн, из них 6% в крестьянско-фермерских хозяйствах. Отсюда следует, что необходимо перерабатывать пищевых отходов в пределах 3 тыс. тонн.

При производительности 50 кг/ч СВЧ установка должна работать 60000 ч в течение месяца. Если в 400 крестьянско-фермерских хозяйствах в течение месяца (150 ч) будет работать одна установка, то этот объем сырья будет переработан.

За последние пять лет в России наблюдается устойчивый рост производства птицы, ежегодный прирост составляет 13-15 %, что является гарантом для перерабатывающей отрасли. В России годовой объем получаемых при переработке птицы вторичных продуктов достигает почти 1 млн. тонн, а это источник белка и жира. Содержание животного белка во вторичном продукте составляет 200 тыс. тонн, жира – 43,5 тыс. тонн. За 2 месяца 2016 года производство птицы на убой в живом весе в с.-х. организациях России составило 928,7 тыс. тонн, что на 8,0% больше уровня соответствующего периода прошлого года. В бли-

жайшем будущем в России прогнозируется рост производства продукции птицеводства и животноводства. *Вареные корма* получают из всех видов непищевых отходов мясоперерабатывающих предприятий, с соблюдением правил ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы отходов. Они отличаются высоким содержанием влаги (до 80 %), низким уровнем протеина (не менее 8 %), и жира (не менее 5 %). Влажный корм целесообразно вырабатывать на технически слабо оснащенных предприятиях, в том числе в фермерских хозяйствах. Одновременно следует предусмотреть своевременное использование такого корма или использовать не токсичные консерванты для сохранения в течение более длительное времени.

1.2 Анализ электрофизических и теплофизических характеристик компонентов непищевых отходов животного происхождения

Общие закономерности влияния влажности, температуры, частоты электромагнитного поля на электрофизические характеристики сырья

Сельскохозяйственные продукты животного происхождения (мясо, и продукты их переработки), содержащие влагу, белки, жиры, крахмал, клетчатку, по своим физико-химическим свойствам и структуре относятся к группе капиллярно-пористых коллоидных тел [191]. Это многокомпонентное сырье характеризуется сложностью микроструктуры. Поглощение рассеяния излучения в них определяется в них четырьмя процессами [192]:

1) резонансным поглощением излучения молекулами сухого вещества и молекулами структурной и связанной с материалом воды;
2) рассеянием на молекулах белков, крахмала и др.;
3) рассеянием излучения на взвешенных коллоидных частицах;
4) рассеянием на других неоднородностях (капиллярах и порах и т д).

При диэлектрическом нагреве неоднородного сырья из-за существенного отличия диэлектрических характеристик, теплоемкости, а также глубины проникновения электромагнитного поля в компоненты, темп нагрева их значительно отличается [189, 190]. Поэтому следует учитывать зависимость диэлектрических параметров и глубину проникновения отдельных компонентов от температуры. С изменением частоты и температуры изменяется глубина проникновения и удельная мощность внутренних источников тепла (энергия электромаг-

нитного поля преобразуется в тепло) [35, 41, 51, 116]. Для проектирования СВЧ установки для термообработки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения необходимо проанализировать электрофизические и теплофизические характеристики отдельных компонентов и всего состава в целом при разной их концентрации [47, 191].

Электрофизические характеристики компонентов непищевых отходов животного происхождения. При разработке технологических процессов и моделей взаимодействия электромагнитных излучений с сырьем необходимо знать электрофизические свойства непищевых отходов в широком диапазоне частот и температур [191]. В разделе приведены систематизированные значения диэлектрической проницаемости, фактора диэлектрических потерь и тангенса угла потерь вторичного сырья животного происхождения по данным И.А. Рогова. В процессе тепловой обработки многокомпонентного сырья их диэлектрические характеристики меняются из-за изменения температуры, влажности, жирности, плотности (рис. 1.1-1.14).

С уменьшением *влажности* (рис. 1.6) диэлектрическая проницаемость и коэффициент диэлектрических потерь мясных отходов непрерывно снижаются. Такой характер изменения диэлектрических параметров связан с образованием воздушных полостей и обезвоженных участков в измельченном сырье. Поэтому при выборе режимов термообработки сырья следует учитывать его влажность.

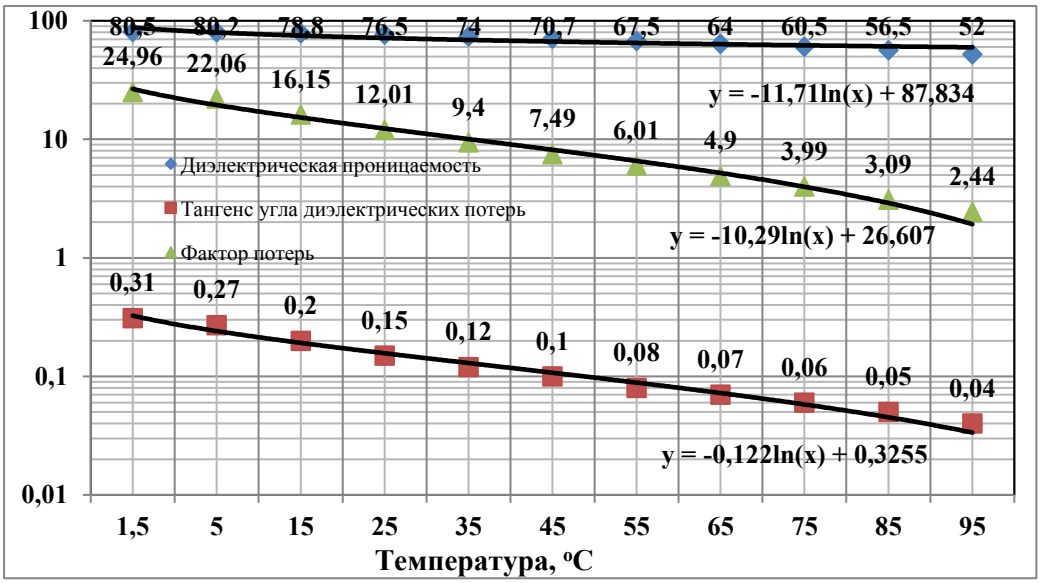


Рисунок 1.1 – Диэлектрические характеристики ***воды*** в зависимости от температуры нагрева при частоте 2450 МГц

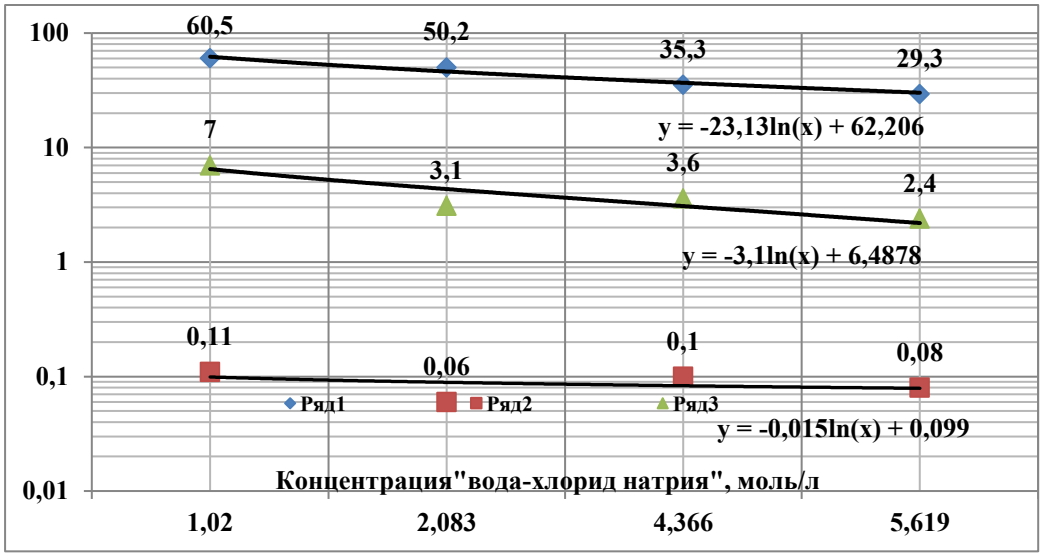


Рисунок 1.2 – Диэлектрические характеристики раствора вода-хлорид натрия в зависимости от концентрации (N=1-5,6 моль/л) при частоте 2450 МГц, Т =25°С

Рисунок 1.3 – Диэлектрические характеристики ***кожи птицы*** при изменении *частоты* при температуре 20°С, влажности 46%, жирности 28,5%, плотности 300 кг/м^3

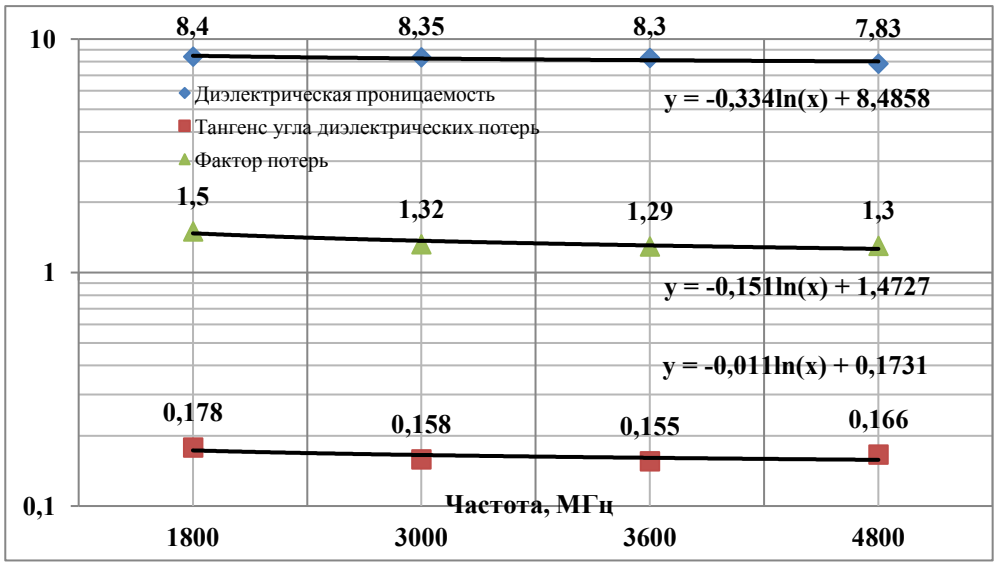


Рисунок 1.4 – Диэлектрические характеристики ***костной ткани*** в зависимости ***от частоты*** при температуре 37°С

Рисунок 1.5 – Диэлектрические характеристики ***жировой ткани свинины*** в зависимости *от температуры* при частоте 2450 МГц

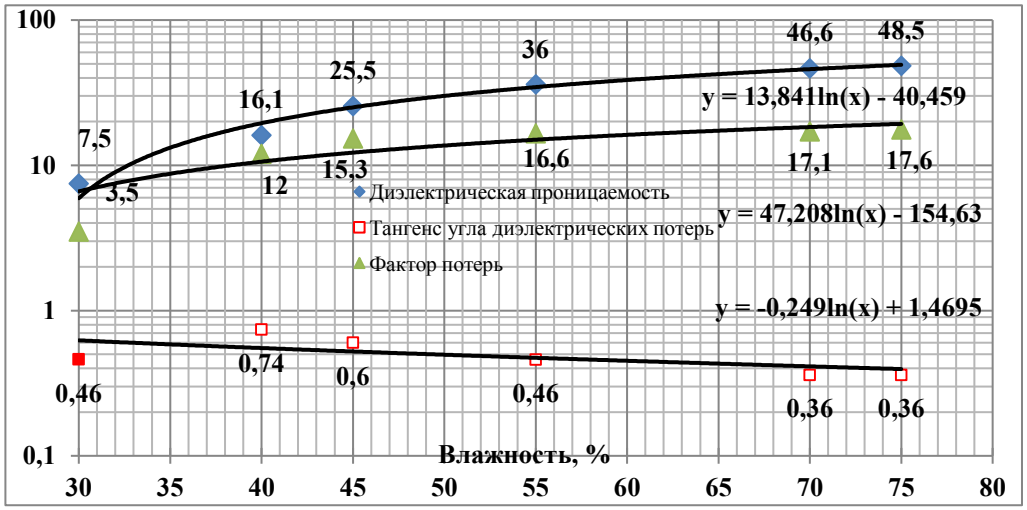


Рисунок 1.6 – Диэлектрические характеристики ***измельченной мышечной ткани говядины*** в зависимости *от влажности* при температуре 20°С и частоте 2450 МГц

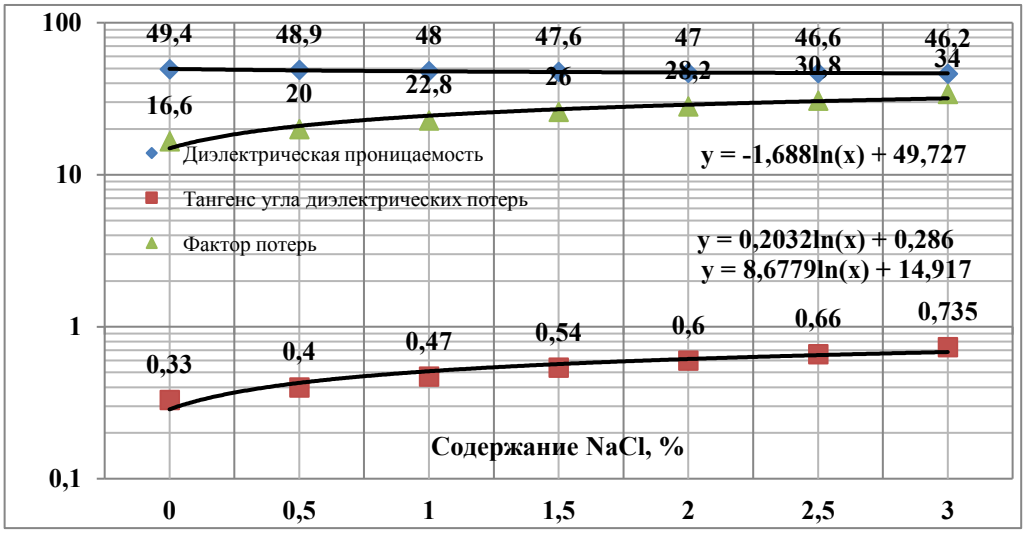


Рисунок 1.7 – Диэлектрические характеристики ***мышечной ткани говядины*** в зависимости *от содержания поваренной соли* при температуре 20°С и частоте 2450 МГц

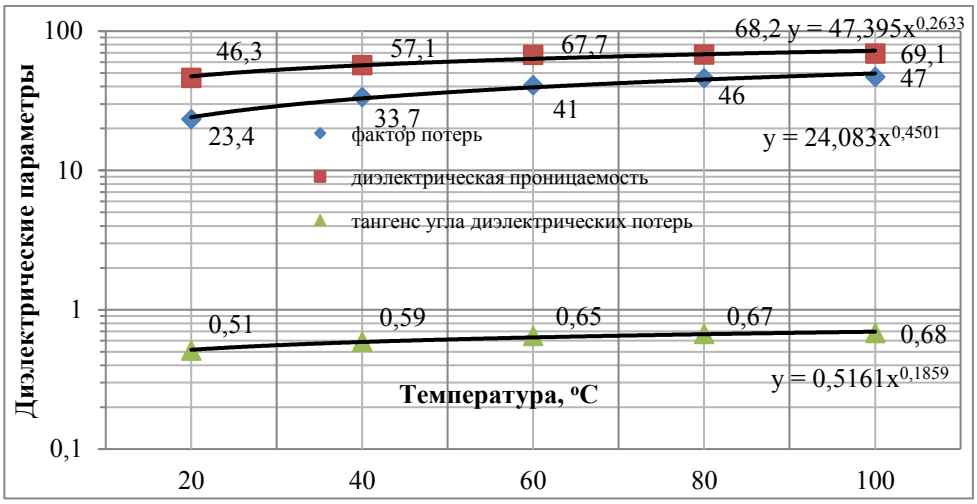


Рисунок 1.8 – Диэлектрические характеристики ***непищевых отходов*** убоя животных (говяжья печень, почки) в зависимости *от температуры* при частоте 2450 МГц и влажности 67-69 %

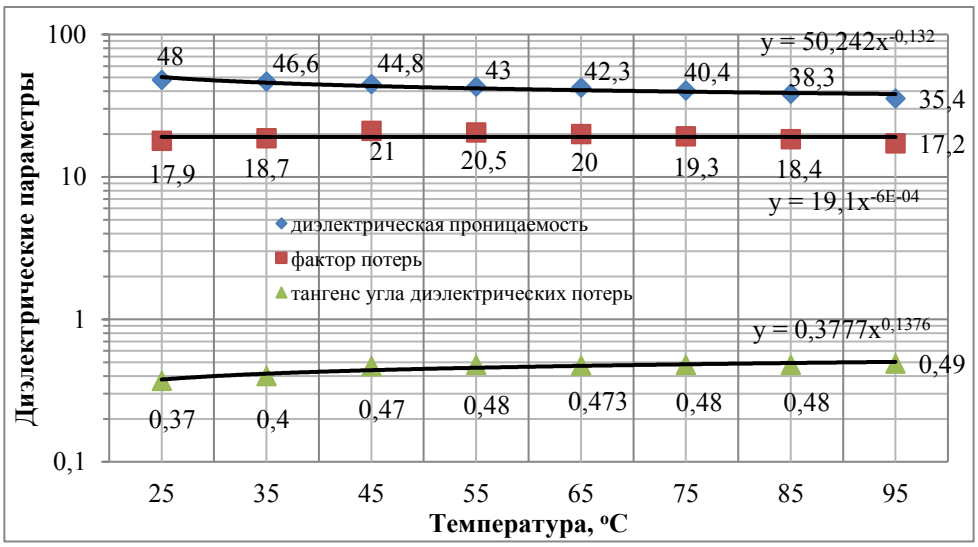


Рисунок 1.9 – Диэлектрические характеристики ***непищевых отходов*** убоя животных (мышечная ткань говядины) в зависимости *от температуры* при частоте 2450 МГц

Уменьшение значения диэлектрической проницаемости с повышением *температуры* объясняется уменьшением фактора потерь для воды, а также изменением форм связи влаги в ткани в результате денатурации белков [52, 72, 142]. В интервале температур от 20 до 45°С значение фактора потерь возрастает в результате перераспределения влаги, которая начинает выделяться при денатурации белков и заполняет полости между частицами сырья [206]. Это приводит к увеличению удельной проводимости, следовательно, к увеличению значения фактора потерь. При дальнейшем повышении температуры происходит

потеря жидкости, и фактор потерь снижается. Непищевые отходы убоя животных и птиц по влажности и жирности ткани неодинаковы. Разнообразие форм связи влаги в сырье и их неоднородность обуславливают нелинейную зависимость диэлектрических характеристик от температуры и влажности сырья [179].

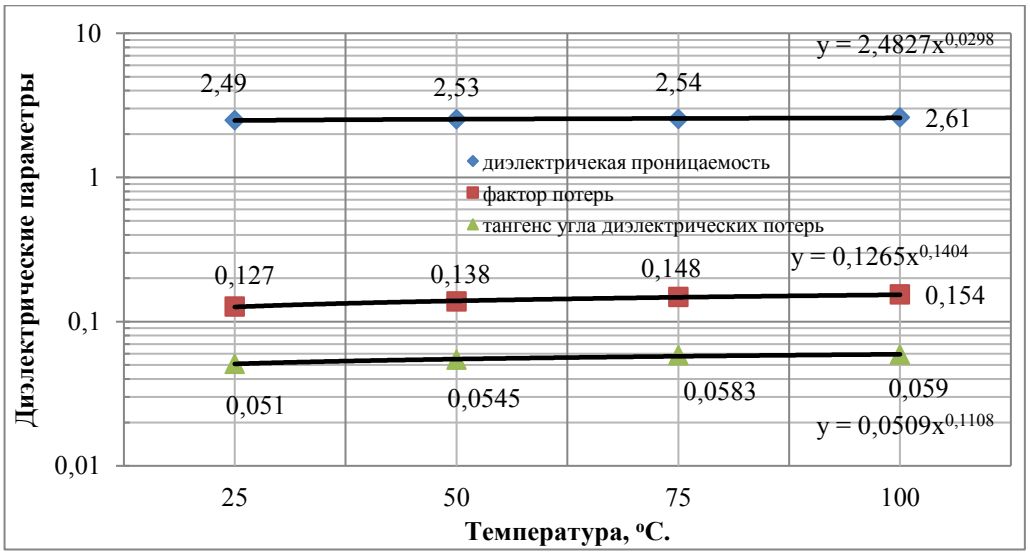


Рисунок 1.10 – Диэлектрические характеристики ***непищевых отходов*** убоя животных (жировая ткань свинины) в зависимости *от температуры* при частоте 2450 МГц

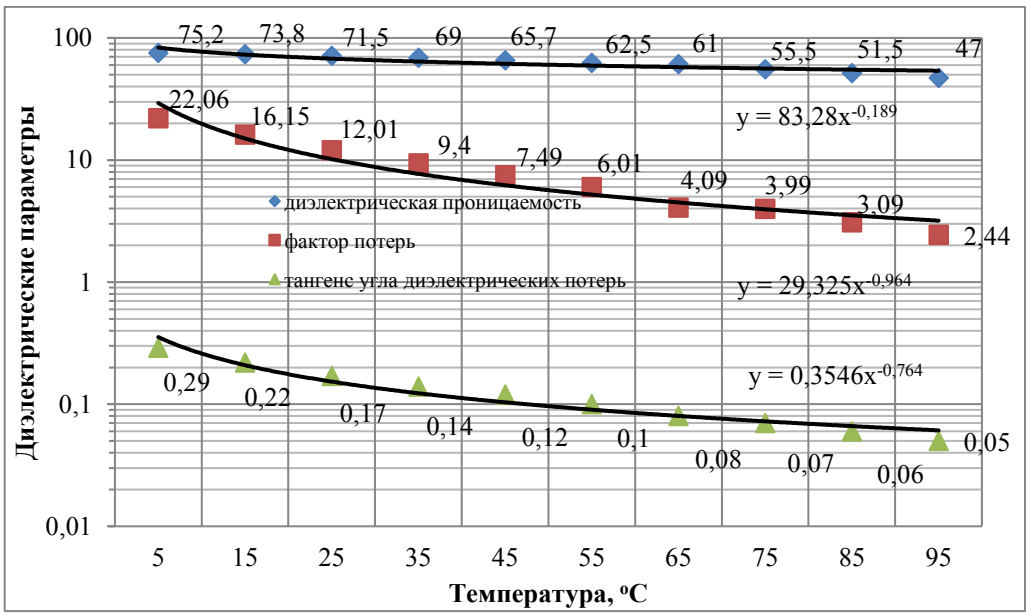


Рисунок 1.11 – Диэлектрические характеристики ***непищевых отходов*** убоя животных (кровь) в зависимости *от температуры* при частоте 2450 МГц

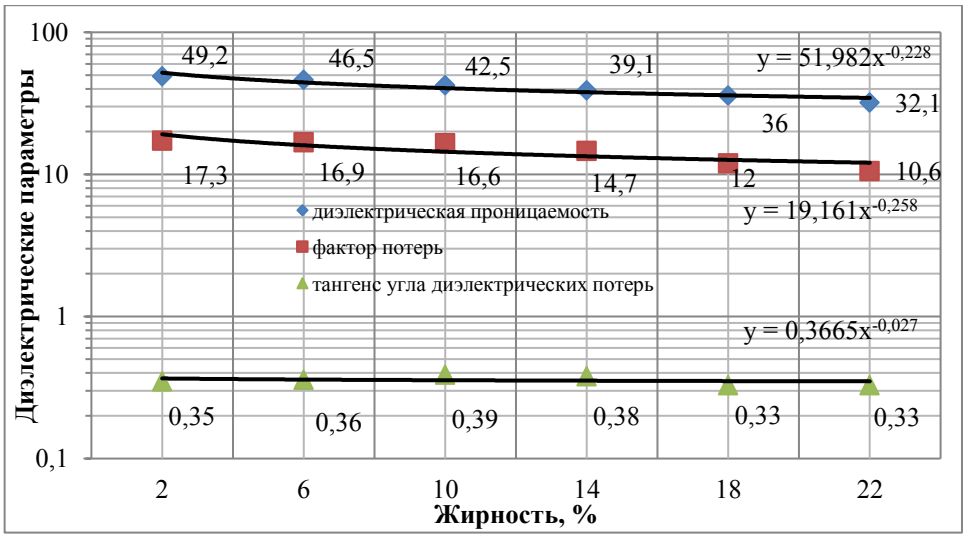


Рисунок 1.12 – Диэлектрические характеристики ***непищевых отходов*** убоя животных (мышечная ткань говядины) в зависимости *от жирности* при частоте 2450 МГц

При увеличении *жирности* вторичного мясного сырья диэлектрические параметры снижаются, так как диэлектрические параметры жировой ткани на много меньше, чем мышечной ткани.

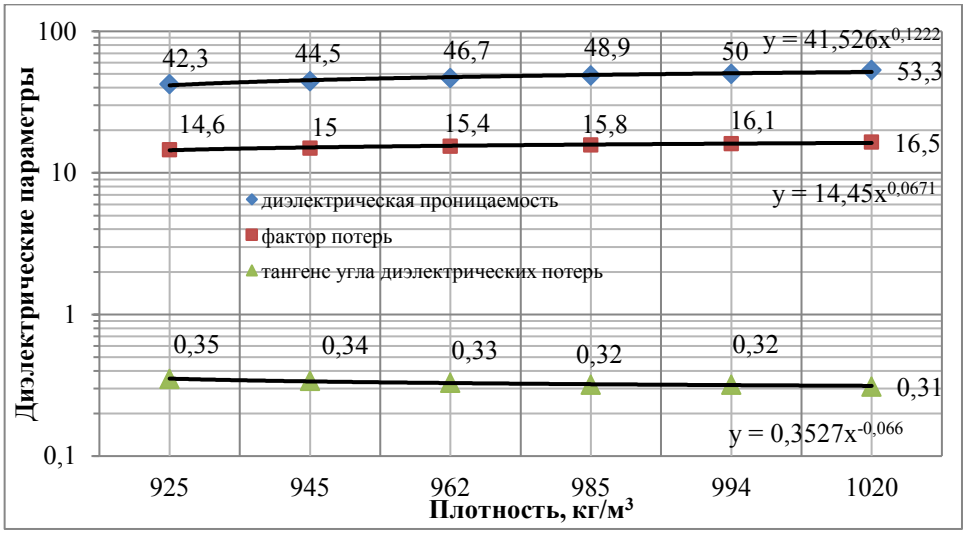


Рисунок 1.13 – Диэлектрические характеристики ***непищевых отходов*** убоя животных (мышечная ткань говядины) в зависимости *от плотности* при частоте 2450 МГц

Изменения фактора диэлектрических потерь ($k = \varepsilon \cdot tg\delta$) (табл. 1.1), теплоемкости C(T), плотности $\rho(T)$ сырья в зависимости от температуры нагрева определяются по нижеприведенным эмпирическим формулам:

теплоемкость непищевых отходов $C = 3806 \cdot T^{-0,1}$, Дж/кг·°С;
плотность $\rho = 1213,8 \cdot T^{-0,021}$, кг/м^3.

Сводная таблица эмпирических выражений, характеризующих изменение фактора диэлектрических потерь от температуры, влажности, концентрации соли, плотности и жира мышечной ткани говядины приведены в табл. 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 – Эмпирические выражения фактора диэлектрических потерь вторичного сырья

Наименование	Эмпирическое выражение фактора диэлектрических потерь
Говяжий жир	$K = 0{,}13 \cdot T^{0{,}14}$
Печень	$K = 24{,}1 \cdot T^{0{,}45}$
Мышечная ткань говядины	$K = 19{,}1 \cdot T^{-0{,}0006}$
Мышечная ткань говядины	$K = 14{,}45\ \rho^{\ 0{,}0671}$
Кровь убойных животных	$K = 29{,}325 \cdot T^{-0{,}964}$
Свиной жир	$K = 0{,}1265 \cdot T^{0{,}1404}$
Измельченная мышечная ткань говядины	$K = 13{,}84 \cdot \ln(W) - 40{,}46$
Говяжья печень	$K = 24{,}083 \cdot T^{0{,}4501}$

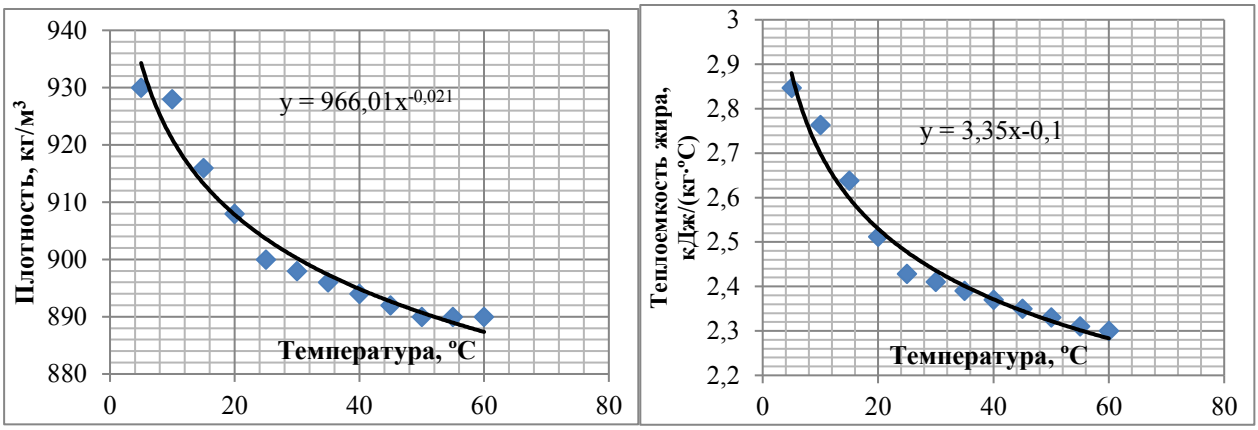


Рисунок 1.14 − Зависимость плотности и теплоемкости свиного жира от температуры

Таблица 1.2 – Электрофизические параметры сырья при других частотах

	Диэлектрическая проницаемость		Проводимость, 1/ Ом· м	
Вторичное сырье	400 МГц	1000 МГц	400 МГц	1000 МГц
Мышечная ткань	54-56	54-57	9,5-10	12-12,7
Печень	46-53	50-51	6,7-8,3	9,1-9,6
Легкие	36		6,1	
Кровь	64	63-67	11	12,8-14,2
Жир	4-7		0,7-0,8	

Для вычисления диэлектрической проницаемости измельченного вторичного двухкомпонентного сырья животного происхождения с учетом концентрации их составляющих воспользовались методикой И.А. Рогова, приведенной во втором разделе.

Теплофизические параметры. Вязкость сырья зависит от температуры, при температуре 40-100°С динамическая вязкость определяется по формуле

$\mu = A \cdot T^{-b}$, где A и b – эмпирические коэффициенты; для говяжьего жира $A = 33{,}4$, $b = 1{,}8$; для свиного жира $A = 21{,}5$, $b = 1{,}71$; для костного жира $A = 14{,}8$, $b = 1{,}63$. Например, вязкость для измельченной жиромассы при температуре 30°С составляет 70-100 П·с. Температуры начала застывания жиров: говяжьего 34-38°С, бараньего 34-35°С, свиного 22-33°С [109, 141].

Для крови и расплавленного жира ламинарный режим достигается при критерии Рейнольдса Re < 1400. Теплоемкость жира до плавления составляет 1,3-3 кДж/(кг· К), после плавления – 2,6 кДж/(кг· К). Скрытая теплота плавления жира 121-151 кДж/кг. При плавлении жира глухим паром коэффициент теплопередачи достигает 700-900 Вт/(м^2·К) в зависимости от толщины слоя. Удельная работа резания передвижными ножами составляет 5-2 кДж/м^2. Начальная плотность шквары 400-450 кг/м^3, конечная после прессования 1100-1300 кг/м^3. Удельная мощность измельчения костей составляет (5-5,5) Вт·ч/кг, мясо-костных отходов (3,2-3,5) Вт·ч/кг. Удельная работа измельчения кости 20-21,7 кДж/кг [104, 109].

1.3 Анализ технологий и технических средств, предназначенных для термообработки непищевых отходов убоя животных

Известно, что разваренную массу вторичных продуктов убоя птицы и животных используют для откорма свиней как ценную белковую добавку. Варят сырье в воде, острым паром в специальных камерах, автоклавах под давлением и электромагнитном поле сверхвысокой частоты [6, 29, 55, 64].

Режимы обработки зависят от вида и состава отходов. При этом проводят разваривание и стерилизацию при температуре до 125°С в течение 30-60 мин. Наименьшая продолжительность обработки определяется временем плавления жира и временем выдержки сырья для уничтожения патогенной микрофлоры [109, 112, 113].

Известен способ переработки отходов убоя птицы, включающий сбор отходов, измельчение, смешивание их с наполнителем, экструзию, охлаждение и хранение. При этом отходы предварительно обезвоживают до влажности 60-

65% и подают в гидролизер, где проводят низкотемпературный гидролиз при 45-55°С в течение 40-50 мин в присутствии ферментов [130, 133, 176].

При тепловой обработке непищевых отходов применяют котлы, автоклавы (периодического действия), аппараты непрерывного действия (шнековые, барабанные, роторные), комбинированные аппараты, совмещающие тепловую обработку с измельчением (волчок-варильник, рушитель-плавитель, измельчитель-плавитель), а также аппараты, ускоряющие тепловой процесс наложением вибрации теплопередающей среды (виброэкстракторы) [193, 202, 203].

Самые распространенные аппараты – это *вакуумные котлы***,** отличающиеся удельной площадью поверхности теплопередачи, конструкциями мешалок, системами вакуумирования и автоматизации процессов. Конструкция вакуумных котлов (рис. 1.15) позволяет осуществлять в периодическом режиме вытопку жира, варку, стерилизацию и сушку. Расходы пара на варку отходов 125-300 кг/ч, горячей воды 0,6-0,7 $м^3$/ч. Средний расход на 1 т сырья: электроэнергии 72-108 МДж, воды 11-22 $м^3$, пара 800-1200 кг [109].

Аналогом может служить измельчитель-плавитель (экспульсор, Дания) для измельчения жирового сырья и вытопки жира производительностью до 1,5 т/ч при удельных расходах на 1 т сырья: электроэнергии 15 кВт·ч, пара 260 кг, воды 4,4 $м^3$. Он содержит лопастной питатель, шнековый измельчитель и плавитель с шнековым барабаном [109].

Имеются котлы, работающие в непрерывном режиме при атмосферном давлении (эквакукеры, Голландия). Котел имеет паровую рубашку, мешалку с диском-перегородкой. Измельченное сырье поступает в котел через нижнюю часть торцевой крышки.

Рисунок 1.15 – Вакуумный котел для утилизации непищевых отходов животного происхождения [http://www.findpatent.ru/patent/244/2448471.html], [252]

Продукт, перемещаясь вдоль котла через поперечные перегородки, выдерживается в нем 20 мин, что обеспечивает стерилизацию. С другого торца с помощью механизма выгрузки продукт (шквара с жиром) удаляется. К недо-

статкам такого котла относится большая продолжительность контакта сырья с высокотемпературным теплоносителем, что снижает качество продукта.

К новейшим приёмам переработки биологических отходов относятся ***экструзионные технологии***, позволяющие в одной машине перемешивать, сжимать, нагревать, стерилизовать, варить и формовать продукт (рис. 1.15 а.).

Рисунок 1.15 а – Экструдер

При этом энергозатраты на переработку 1 кг биологических отходов в 4 раза меньше, чем при переработке в котлах-утилизаторах. Для такой технологии известна линия экструзии отходов переработки убоя, переработки птицы, производительностью 0,5 т/ч. [132, 145]. *Удельная теплота, необходимая для термообработки сырья не зависит от способа подвода энергии,* но продолжительность достижения необходимых температур в сырье определяется характеристиками процесса: ***видом подвода энергии***, интенсивностью внешнего и внутреннего переноса теплоты и массы, соотношением объема, площади поверхности и определяющего размера сырья и его физических характеристик. Предварительно измельченные непищевые отходы можно направить в рабочую камеру разными механизмами. Самый доступный способ – это при *помощи шнекового нагнетателя или центробежных дисковых распылителей* с гладкой поверхностью (для распыления вязкого сырья). Дисковые распылители распыляют жидкое сырье любой вязкости с получением капель однородной дисперсности. Сырье под небольшим давлением поступает к центру быстровращающегося диска, растягивается в нем центробежными силами тонкой пленкой и сбрасывается с периферии диска [109].

Последние годы интенсивно развивается новое направление в пищевой технологии – обработка сырья с помощью СВЧ энергии [186, 197, 209]. Имеются вакуумные микроволновые многомодульные установки серии **«Муссон»** ***периодического действия*** (рис. 1.16). При сокращении продолжительности термообработки в случае использования энергии электромагнитного поля сверх-

высокой частоты (ЭМПСВЧ), когда продолжительность термообработки становится существенно меньше продолжительности подготовительных операций, целесообразно иметь установку, работающую *в непрерывном режиме.*

Рисунок 1.16 – Вакуумная микроволновая установка «Муссон 1» периодического действия

Известно, что интенсифицировать теплообмен можно увеличивая поверхность передачи теплоты при постоянной массе сырья, т.е. измельчение сырья ускоряет внутренний перенос теплоты теплопроводностью. Повышение температуры выше 120°С приводит *к ухудшению качества продукта*. Совмещение процессов измельчения сырья, вибрационного воздействия с нагревом в ЭМПСВЧ ускоряет процесс теплопереноса и снижает эксплуатационные затраты, что следует учитывать при проектировании СВЧ установок непрерывного действия для варки и стерилизации непищевых отходов с получением кормового белкового продукта [200, 210].

СВЧ установка **УМОС-02** предназначена для обработки различных сыпучих продуктов для улучшения микробиологического состава, дезинфекции и сушки круп, сухофруктов и т.п. Производительность (при влажности 12-16 %) до 300 кг/ч, установленная мощность до 5 кВт, расход воды 2 л/мин (рис. 1.17).

Рисунок 1.17 – СВЧ установка УМОС-02

Микроволновая установка для сушки высокодисперсных продуктов **МУС-А** предназначена для сушки различных высокодисперсных сыпучих продуктов (2,45 МГц) (рис. 1.18). Рабочая камера оснащена магнетронами. Внутри основания расположены 3 одинаковых блока питания магнетронов с элементами коммутации, а также соединительный рукав вентиляции рабочей камеры.

Рисунок 1.18 – Микроволновая установка для сушки высокодисперсных продуктов МУС-А

В центральной части основания расположен мотор-редуктор с муфтой, обеспечивающий вращение поворотной платформы. Она имеет диаметр 800 мм для размещения тары с обрабатываемым продуктом. На торцевых панелях закреплены вентиляторы с фильтрами для охлаждения блоков питания. СВЧ излучатели размещены на трёх стенках рабочей камеры в одной плоскости и состоят из магнетронных генераторов и волноводов. Излучатели защищены тремя съемными стальными кожухами. Под кожухами установлена система охлаждения магнетронных генераторов. Блок управления размещен на корпусе, куда установлены компоненты автоматики, настройки и защиты.

Таблица 1.3 – Технические характеристики установки МУС-А

Рабочая частота излучения	2450 МГц
Количество магнетронов	3 шт.
Микроволновая мощность	3,6 кВт
Режим работы	повторно-периодический
Продолжительность цикла включения	1÷40 мин (регулируется)
Потребляемая мощность	не более 6 кВт
Охлаждение	воздушное принудительное
Объем рабочей камеры	100х98х93 см
Габаритные размеры установки	1800х1000х1700 мм

Имеются экспериментальные СВЧ установки (рис. 1.19).

Рисунок 1.19 – Экспериментальные СВЧ установки: 1) СВЧ установка «Импульс-1М»; 2) СВЧ установка для научных исследований; 3) Микроволновая установка Type 80 S - Sand master AG

Для пищевой промышленности авторами А.А. Рущиц и Е.И. Щербаковой проектируются СВЧ установки (рис. 1.20). В ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ» разработан опытный образец микроволновой установки непрерывного действия для обработки и сушки сыпучих материалов МСУ-1,5 стоимостью 400 тыс. руб. (рис. 1.21, 1.21 а). [apkrb.info›sites…files…mnogofunkcionalnayasvch.pdf].

Рисунок 1.20 – Экспериментальные образцы многогенераторной СВЧ установки для пищевой промышленности [Школа СВЧ-технологии. Образоваobrazovanie-ufa.ru]

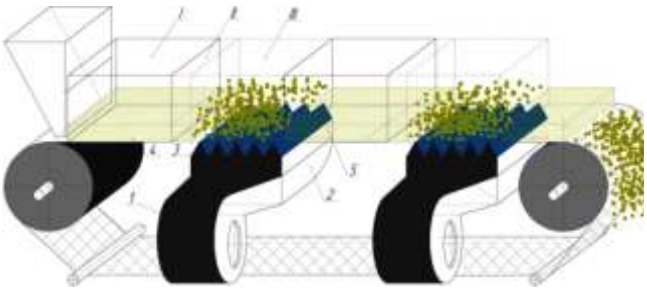


Рисунок 1.21 – Схема микроволновой сушильной установки непрерывного действия МСУ-1,5:1 – напорный вентилятор; 2 – криволинейный профиль воздуховода; 3 – сопловая коробка; 4 – сетка конвейера; 5 – сопла; *I* – зона СВЧ-нагрева, *II* – зона отлежки, *III* – зона охлаждения

Рисунок 1.21 а – Микроволновая сушильная установка МСУ-1,5: 1 – персональный компьютер; 2 – контрольно-измерительная аппаратура; 3 – загрузочный бункер; 4 – блок управления; 5 – измеритель уровня электромагнитного фона; 6 – вытяжная вентиляция; 7 – корпус установки; 8 – мотор-редуктор; 9 – выгрузное устройство; 10 – высушенный материал; 11 – напорные вентиляторы; 12 – исходный материал

Совершенствованием технологии и разработкой зерносушильного оборудования с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты занимаются такие ученые как: Вендин С.В., Пахомов В.И., Васильев А.Н., Цугленок Н.В. и др. Они разрабатывают установки поточного действия и с использованием мощных магнетронов. Энергоемкость сушки зерна, в зависимости от влажности колеблется в пределах 10-12 МДж/кг испаренной влаги [49, 50]. Совершенствованием СВЧ установок с маломощными магнетронами для повышения кормовой ценности фуражного зерна занимался Белов А.А. [31]. Перспективность электроимпульсных технологий в сельском хозяйстве доказывает д.т.н., профессор Башилов А.М.[38.]. В области разработки технологического оборудования для предприятий мясной промышленности и исследова-

ния процессов и аппаратов пищевых технологий были проанализированы работы следующих ученых: Болтенкова И.М., Бредихина С.А., Горбатова В.М., Дергунова А.А., Ивашова В.И., Пелеева А.И., Курочкина А.А. и др.

Теоретические и экспериментальные исследования, направленные на изучение и обоснование процессов, происходящих в ЭМПСВЧ при термообработке сырья, создание научных принципов проектирования СВЧ установок, а также проведение математического моделирования электромагнитных полей, получили развитие благодаря работам ученых указанных в общей характеристике работы. Проведенный анализ материалов отечественных и зарубежных научных публикаций показывает, что наибольшее внимание в развитии исследований в области СВЧ нагрева уделяется поиску принципиально новых решений для применения микроволновых технологий с целью замещения существующих технологий переработки сельскохозяйственного сырья [139]. На международных конференциях по применению микроволн рассматривается большой спектр различных направлений развития и технологий, в частности: энергетическая эффективность СВЧ технологий, термообработка разных диэлектрических материалов, моделирование и взаимодействие материалов с энергией ЭМПСВЧ. Отмечается, что применение СВЧ технологий позволяет значительно улучшить качественные показатели при обработке многих видов сырья [119,121, 122, 125]. В проанализированных технологиях переработки непищевых отходов убоя животных основу составил принцип обработки с.-х. сырья, согласно которому СВЧ энергия используется только в ограниченном диапазоне для достижения тех качественно новых эффектов, которые недостижимы или труднодостижимы другими известными способами.

Использование энергии ЭМПСВЧ позволит:

- интенсифицировать производственный процесс;
- снизить энергозатраты (не нужен газ, пар, горячая вода и т.п.);
- уменьшить трудовые затраты;
- повысить степень использования сырья;
- улучшить усвояемость продуктов;
- снизить микробиологическую обсеменённость продуктов;

- регулировать производительность установки в широком диапазоне;
- обеспечить безотходность производства продукции;
- обеспечить радиогерметичность установки без сложных систем ограничения излучений.

Сводная схема существующих и предлагаемых технических средств для переработки непищевых отходов убоя птиц и животных приведена на рис. 1.21.

Рисуно

Известно, что СВЧ установки в США, Англии, Канаде, Германии и Франции разрабатывают на основе одного или нескольких источников СВЧ - энергии, мощностью от 25 до 50 кВт. Такие установки имеют значительные размеры и большой вес, требуют специального водяного охлаждения и средств

защиты магнетронов от отраженной мощности (ферритовые циркуляторы), достичь равномерного нагрева сырья в таких установках сложно. Причем при выходе одного источника из строя необходимо остановить весь технологический процесс. Стоимость установленной СВЧ мощности оценивается 2500-3000 долларов за 1 кВт. Для широкого внедрения СВЧ установок в сельскохозяйственное производство необходимо снизить стоимость установленной СВЧ мощности в среднем ***до 100-300 долларов*** [118].

1.4 Выводы по разделу, цель и задачи исследований

1. Технология переработки непищевых боенских отходов (крови, кишечное сырье и другое вторичное сырье) включает: сбор и транспортирование сырья; предварительную его обработку (мойка, измельчение); тепловую обработку (коагуляция, варка, стерилизация); отделение жидкой фазы от общей массы. Для выполнения этих операций применяют отдельные установки. Режимы технологических процессов и конструкции установок определяются механическими свойствами сырья (жидкое, твердое, вязкое сырье и др.), химическим составом (жиросодержащее, кератиносодержащее, кровь и др.).

2. На основе анализа, выполненных ранее исследований по разработке и внедрению микроволновых технологий для термообработки непищевых отходов убоя животных, отмечаем, что разработанные установки обладают высокими эксплуатационными затратами, в том числе из-за периодического действия работы, а установки непрерывно-поточного действия не обеспечивают радиогерметичность. Задача повышения кормовой ценности белковых кормов путем воздействия ЭМПСВЧ в установках непрерывно-поточного действия с маломощными магнетронами, с соблюдением электромагнитной безопасности в условиях фермерских хозяйств, остается *нерешенной*.

3. С учетом изменения электрофизических параметров вторичного сырья следует разработать методику проектирования радиогерметичных СВЧ установок, предусматривающую использование маломощных источников энергии (700-800 Вт) с воздушным охлаждением, не требующим защиты от отраженной

мощности, обеспечивающих равномерность нагрева сырья за счет возможности их размещения в определенном месте по отношению к конфигурации резонаторов и размеров сырья.

4. Технологический процесс воздействия ЭМПСВЧ не должен прерываться при выходе из строя одного из источников с частотой 2450 МГц.

5. Проектируемые СВЧ установки должны реализовывать следующие основные требования:

- обеспечить непрерывность технологического процесса термообработки и обеззараживания сырья разного состава и вязкости;

- электродинамическая система СВЧ генератора должна быть самонастраивающаяся без водяного охлаждения;

- температура нагрева сырья – не более 110-120°C;

- улучшение микробиологических и органолептических показателей продукции до предельно допустимого уровня соответствующих ГОСТу;

- максимальное сохранение кормовой ценности сырья;

- снижение эксплуатационных затрат на технологический процесс производства кормовой белковой добавки из непищевых отходов животного происхождения.

Цель работы − обоснование технологии и оборудования сверхвысокочастотного нагрева вторичного сырья животного происхождения путем совершенствования конструкции многогенераторной установки непрерывно-поточного действия, основанной на принципах проектирования СВЧ установок, и технологии термообработки влажного сырья с сохранением кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах.

Основные научные задачи:

1. Разработать методологические основы создания СВЧ установки, реализующей технологию термообработки вторичного сырья животного происхождения для сохранения кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах.

2. Разработать модель процесса функционирования многогенераторных СВЧ установок непрерывно-поточного действия с рациональными конструкционно-технологическими параметрами для термообработки и обеззараживания влажного многокомпонентного сырья, отвечающую основным технологическим критериям проектирования СВЧ оборудования.

3. Вывести аналитические зависимости, позволяющие обосновать параметры электродинамической системы (ЭД) с нетрадиционными резонаторами и получить уравнение динамики эндогенного нагрева сырья при изменении диэлектрических и физико-механических параметров в процессе термообработки.

4. Разработать конструкционно-технологические схемы СВЧ установок с нетрадиционными резонаторами для термообработки вторичного сырья животного происхождения, и исследовать распределение ЭМП в резонаторах для выявления эффективных конструкционных исполнений, обеспечивающих высокую напряженность ЭП и высокую собственную добротность при работе установок непрерывно-поточного действия с соблюдением электромагнитной безопасности.

5. Обосновать комплекс конструкционно-технологических параметров и режимов работы СВЧ установок и составить алгоритм их согласования с учетом выявленных эмпирических зависимостей, регрессионных моделей и результатов исследований физико-механических, микробиологических и органолептических показателей, характеризующих кормовую ценность сырья.

6. Разработать техническое задание для создания СВЧ установки, обеспечивающей термообработку и обеззараживание вторичного сырья животного происхождения. Создать и апробировать в производственных условиях СВЧ установку непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором, обеспечивающим электромагнитную безопасность и оценить технико-экономическую эффективность внедрения СВЧ установок.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВЧ УСТАНОВОК С НЕТРАДИЦИОННЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ СЫРЬЯ

2.1 Методологические основы создания СВЧ установки непрерывно-поточного действия

Теоретические исследования процесса термообработки многокомпонентного сырья включают решение комплекса взаимосвязанных задач таких как [12, 13, 27]: выявление эффективных моделей СВЧ установок непрерывно-поточного действия с наиболее приемлемыми конструкциями объемных резонаторов, обеспечивающих термообработку и обеззараживания сырья; согласование параметров ЭД системы «генератор-резонатор-нагрузка» и электрофизических характеристик сырья с конструкционно-технологическими параметрами и режимами работы установок. Для термообработки и обеззараживание вторичного сырья предлагаются микроволновая технология и установки непрерывно-поточного действия. Причем из-за малой глубины проникновения сантиметровых волн в сырье (1,5-2 см), технологический процесс предусматривает предварительное и дополнительное *измельчение сырья*, позволяющее повысить равномерность диэлектрического нагрева, а для снижения энергетических затрат на термообработку – *обезвоживание сырья.*

Разработаны разные нетрадиционные конфигурации объемных резонаторов, преимущественно для термообработки и обеззараживания сырья в процессе обезвоживания и измельчения. Комбинированные резонаторы рассчитаны на термообработку и обеззараживания сырья предварительно обезвоженного и измельченного. Методология разработки техники СВЧ нагрева вторичного сырья животного происхождения для сохранения кормовой ценности включает обоснование критериев функционирования установок и критериев оценки кормовой ценности белкового продукта, выработки алгоритма исследований электродинамических процессов воздействия ЭМПСВЧ на сырье (рис. 2.1).

Методика проектирования СВЧ установки для термообработки непищевых отходов убоя животных. Ниже приведено описание реализации техниче-

ских требований, предъявляемых к конструкционному исполнению СВЧ установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения.

1. Непрерывность технологического процесса достигается за счет использования транспортирующих и измельчающих механизмов.

2. Высокая напряженность ЭП, при которой жизнедеятельность бактериальной микрофлоры прекращается, достигается за счет уменьшения объема резонатора, использования особой конфигурации резонатора с несколькими магнетронами, например, квазистационарного тороидального резонатора с конденсаторной частью.

3. Высокая собственная добротность резонатора достигается за счет его сферического или эллипсоидного исполнений.

4. Радиогерметичность установки достигается за счет использования экранирующего корпуса из неферромагнитного материала и запредельных волноводов вместо приемных и разгрузочных патрубков, а также за счет использования усеченных конических резонаторов.

5. Универсальность установки для широкого класса сырья достигается при использовании измельчающего и обезвоживающего механизмов.

6. Равномерность распределения электрического поля в резонаторе достигается за счет интерференции стоячих волн в сферическом резонаторе или в кольцевом резонаторе бегущих волн, а также за счет многократного воздействия ЭМПСВЧ.

7. Вариативность производительности установки достигается за счет использования нескольких маломощных генераторов с воздушным охлаждением.

8. Для санитарной обработки установки после проведения термообработки сырья предусмотрена возможность доступа внутрь резонаторов.

С учетом указанных требований разработаны СВЧ установки непрерывно-поточного действия для термообработки влажного сырья животного происхождения с новыми конструкционными исполнениями резонаторов.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СВЧ УСТАНОВКИ, реализующей технологию термообработки вторичного сырья животного происхождения для сохранения кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах, включает следующий алгоритм исследований электродинамических процессов воздействия ЭМПСВЧ на сырье (рис. 2.1).

Обзор существующих способов и технических средств для термообработки вторичного сырья в условиях фермерских хозяйств

1. Выявить пути совершенствования технологии и технических средств для термообработки многокомпонентного влажного сырья, обеспечивающие повышение кормовой ценности белкового продукта при сниженных эксплуатационных затратах.
2. Проанализировать диэлектрические характеристики непищевых отходов животного происхождения от частоты ЭМП, температуры, влажности и жирности; теплофизические характеристики от температуры и влажности сырья.

Теоретические исследования

1. Разработать методику реализации критериев проектирования СВЧ установок в конструкционных исполнениях объемных резонаторов и оценку режимов работы для их эффективного функционирования их в условиях фермерских хозяйств.
2. Разработать модель процесса функционирования многогенераторных СВЧ установок непрерывно-поточного действия с рациональными конструкционно-технологическими параметрами для термообработки и обеззараживания влажного многокомпонентного сырья.
3. Выявить аналитические зависимости, позволяющие обосновать параметры электродинамической системы с нетрадиционными резонаторами и получить уравнение динамики эндогенного нагрева сырья при изменении их диэлектрических и теплофизических параметров в процессе термообработки.
4. Разработать конструкционно-технологические схемы СВЧ установок непрерывно-поточного действия и исследовать электродинамические параметры по программе CST Microwave Studio нетрадиционных резонаторах для выявления эффективных конструкций, обеспечивающих высокую напряженность ЭП и высокую собственную добротность.

1. Исследовать комплекс конструкционно-технологических параметров и режимов работы СВЧ установок и составить алгоритм их согласования с учетом выявленных эмпирических зависимостей, регрессионных моделей и результатов исследований динамики нагрева, микробиологических и органолептических показателей, характеризующих кормовую ценность сырья.
2. Создать и апробировать в производственных условиях СВЧ установку непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором, обеспечивающим реализацию основных критериев, в том числе с соблюдением норм электромагнитной безопасности.
3. Провести сравнительную оценку технико-экономической эффективности внедрения СВЧ установок непрерывно-поточного действия с разными конструкционными исполнениями резонаторов в фермерское хозяйство.
4. Разработать техническое задание для создания СВЧ установки непрерывно-поточного действия, обеспечивающей термообработку и обеззараживание вторичного сырья животного происхождения.
5. Обозначить перспективы дальнейшего совершенствования технологии и установки непрерывно поточного действия с маломощными магнетронами для термообработки сырья, включая систему управления установкой с оснащением дистанционной контрольно-измерительной техникой, и расширение технологических процессов для обеспечения энергосбережения в условиях фермерских хозяйств.

Рисунок 2.1 Алгоритм разработки техники сверхвысокочастотного нагрева вторичного сырья животного происхождения для сохранения кормовой ценности

Структурная схема СВЧ установки непрерывно-поточного действия

Основными элементами в структурной схеме (рис. 2.2) многогенераторной СВЧ установки непрерывно-поточного действия являются генераторные блоки и рабочая камера, которая состоит из резонаторов, запредельных волноводов, механизмов для транспортировки сырья. Источниками электромагнитного поля являются маломощные магнетроны (700-850 Вт) с воздушным охлаждением, излучатели которых направлены в один резонатор, либо каждый резонатор с индивидуальным излучателем. В случае использования резонаторов с передвижной частью, когда предусмотрена резонаторно-лучевая электродинамическая система, рабочая камера содержит дополнительные устройства.

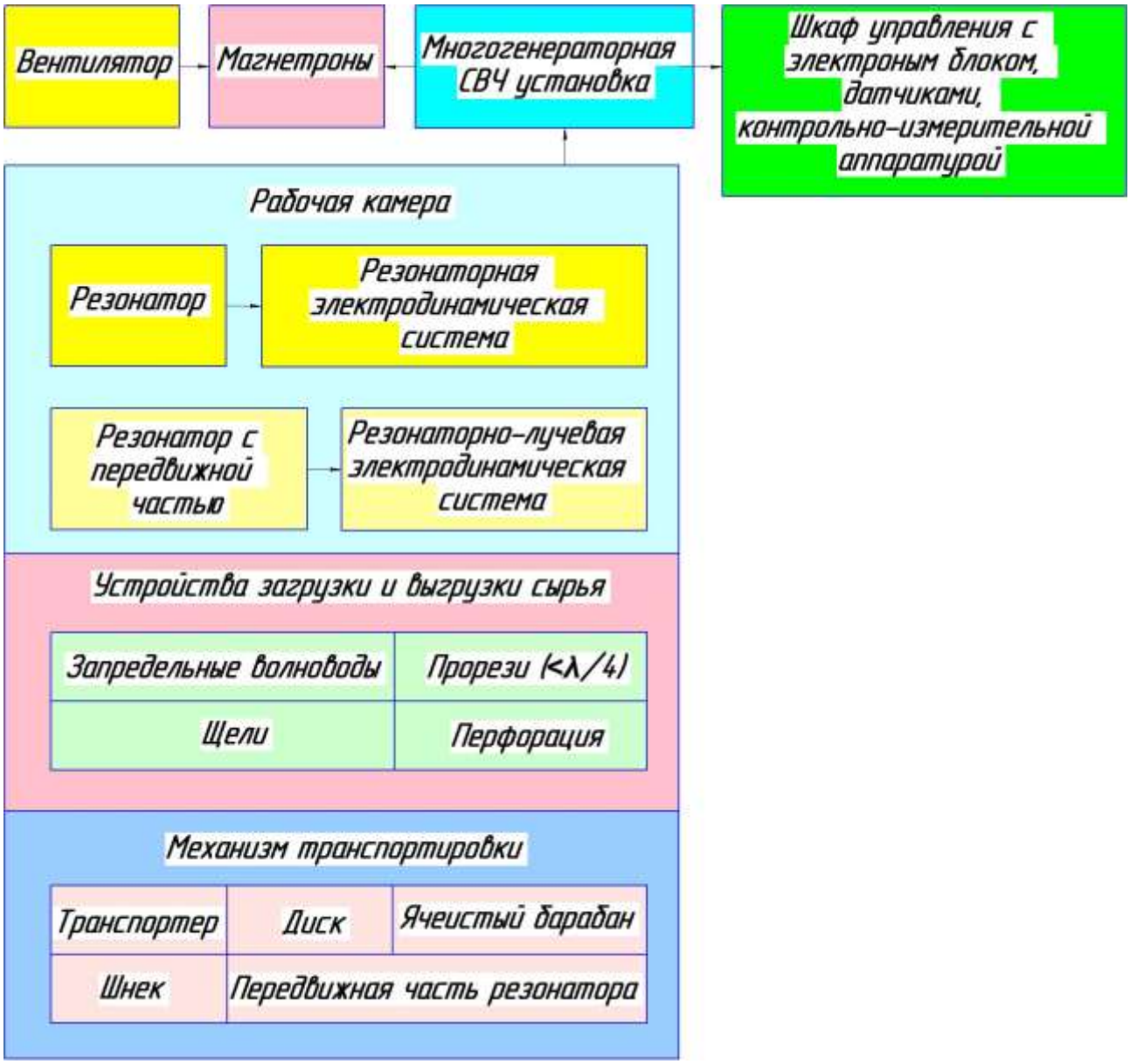


Рисунок 2.2 – Структурная схема многогенераторной СВЧ установки непрерывно-поточного действия для термообработки непищевых отходов животного происхождения

Основными элементами многогенераторной сверхвысокочастотной установки непрерывно-поточного действия для термообработки вторичного сырья животного происхождения являются генераторные блоки и рабочая камера, состоящая из резонаторов, запредельных волноводов, механизмов для транспортировки сырья (табл. 2.1). Источниками электромагнитного поля являются магнетроны с воздушным охлаждением, излучатели которых направлены в резонатор.

Таблица 2.1 − Структурная схема СВЧ установок для оценки энергоэффективности и электромагнитной безопасности

<table>
<tr><td colspan="4">СВЧ установки непрерывно-поточного действия содержат</td></tr>
<tr><td colspan="2">генераторные блоки,
состоящие из:</td><td colspan="2">рабочую камеру,
состоящую из:</td></tr>
<tr><td>магнетронов с излучателями, волноводами и системой охлаждения</td><td>электронных блоков</td><td>объемных резонаторов с механизмами для транспортирования сырья</td><td>запредельных волноводов для ограничения излучений</td></tr>
<tr><td colspan="4">Задача исследования – оценить энергоэффективность функционирования установок с нетрадиционными резонаторами, обеспечивающими электромагнитную безопасность,
при использовании:</td></tr>
<tr><td>запредельных волноводов</td><td colspan="2">прорезей на резонаторе</td><td>перфорации на резонаторе и смотрового окна</td></tr>
</table>

Система управления и контроля технологическим процессом расположена в шкафу управления. При непрерывном технологическом процессе электромагнитная безопасность обеспечивается за счет запредельных волноводов, если сырье сыпучее, жидкое или измельченное вязкое. При обработке сырья плоской формы, толщиной менее чем четверти длины волны, например шкурки кролика, соблюдение норм электромагнитной безопасности, возможно при особых конструкционных исполнениях резонаторов. Например, резонаторы в виде биконуса или объемной астроиды.

Установка (табл. 2.1, рис. 2.2) включает несколько генераторов, излучатели которых направлены в один резонатор, либо в передвижные части резонаторов. В первом случае это будет резонаторная электродинамическая система, а во втором – резонаторно-лучевая электродинамическая система. Магнетроны охлаждаются вентилятором. Рабочая камера состоит из резонатора, устройств, предназначенных для загрузки и выгрузки сырья – это либо запредельные волноводы, либо прорези, размером менее четверти длины волны, либо щели или перфорация. Рабочая камера содержит также механизм для транспортировки сырья сквозь электромагнитное поле сверхвысокой частоты − ленточный транспортер, шнек, ячеистый барабан, часть резонатора, диск и т.п. Установка

снабжена шкафом управления, где размещены электронные блоки генераторов и аппаратура управления технологическим процессом.

С учетом представленной структурной схемы нами разрабатываются СВЧ установки непрерывно-поточного действия с различными конфигурациями объемных резонаторов с требуемыми параметрами и необходимой для фермерских хозяйств, производительностью [30, 31, 32]. При этом резонаторы обеспечивают высокую напряженность электрического поля в сырье, достаточную для достижения бактерицидного эффекта. Для того чтобы СВЧ установки работали с максимальным КПД, спроектированы объемные резонаторы запроектированы нетрадиционной конфигурации, обладающие высокой собственной добротностью. При разработке СВЧ установки особое место занимает конструирование высокодобротных резонаторов. Они осуществляют накопление энергии электромагнитного поля, частотную селекцию, стабилизацию частоты генераторов [18, 20, 25, 34].

Особенности объемных резонаторов разной конфигурации. Объемные резонаторы по конфигурации могут быть: сферические, цилиндрические, коаксиальные, тороидальные, квазистационарные тороидальные, биконические и др. Их геометрические размеры зависят от диапазона волн [16, 17, 21, 24].

Известно, что при переходе к более коротким волнам геометрические размеры резонаторов уменьшаются пропорционально длине волны. В случае пропорционального уменьшения всех размеров резонатора в k раз его добротность снижается в $\sqrt{k}$ раз, объем резонатора и накопленная в нем энергия при той же напряженности электрического поля уменьшается в k^3 раз. С ростом частоты увеличиваются тепловые потери в металлах. Количество колебаний в резонаторе можно определить с учетом формулы Релея-Джинса [9]:

$$K = V / 2\pi^2 \cdot c^3, \qquad (2.1)$$

где V – объем резонатора, c – скорость распространения волн.

Рассмотрим основные формулы, позволяющие оценить параметры электродинамической системы в зависимости от конфигурации и геометрических

размеров резонаторов по методике Дробахина О.О. и Стрекалова А.В. [5, 69, 70, 205, 213].

1. ***Цилиндрический резонатор с прямоугольным сечением***. В прямоугольном и цилиндрическом резонаторах могут существовать колебания различных типов, отличающихся друг от друга распределением полей и частотой. Объемному резонатору присуще множество резонансных частот [127, 128, 156]. Известно, что в прямоугольном резонаторе с заданными размерами *a* и *b* могут распространяться электромагнитные волны, если частота волны ω больше частоты $\omega_{o.}$ Размеры *a* и *b* стандартизированы [17, 24, 40].

$$\omega \geq \omega_o = \frac{\pi}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}, \qquad (2.2)$$

где *m, n* – любые значения, но не равны нулю. Наибольшее практическое значение имеет основная волна, для которой *m* = 1, *n* = 0.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{Гн}{м}, \quad \varepsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{Ф}{м}.$$

Для этой волны по ширине прямоугольного резонатора укладывается одна полуволна, а по высоте резонатора интенсивность поля не изменяется. Оценим величину $\omega_{o,}$ для основной волны, при размере 5·λ = 0,612 м

$$\omega_o = \frac{\pi}{\sqrt{8,86 \cdot 10^{-12} \cdot 1,256 \cdot 10^{-6}}} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{0,612}\right)^2 + \left(\frac{0}{b}\right)^2}, \quad \omega_o = 1,54 \cdot 10^9 \frac{рад}{с}.$$

Таким образом, в резонаторе могут распространяться электромагнитные волны, частотой ω = 2450 МГц, так как $\omega_o < \omega$.

Энергия, запасенная в прямоугольном резонаторе для колебаний типа E_{110}:

$$W^{E110} = \varepsilon_a \cdot \frac{E_{\max}^2}{8} \cdot a \cdot b \cdot l, \qquad (2.3)$$

где $E_{\max}$ – максимальная амплитуда напряженности электрического поля в резонаторе.

Добротность резонатора $Q^{H101} = \dfrac{\omega_o \cdot \mu_a}{\Delta} \cdot \dfrac{a \cdot b \cdot l \cdot \left(a^2 + l^2\right)}{a \cdot l \cdot \left(a^2 + l^2\right) + 2 \cdot b\left(a^3 + l^3\right)}$. (2.4)

2. Цилиндрический резонатор с круглым сечением. Основным колебанием в цилиндрическом резонаторе, диаметром *a*, является тип E_{010}. Особенностью этого колебания является то, что резонансная частота не зависит от длины резонатора: $\omega_{рез} = \dfrac{2,4048}{a \cdot \sqrt{\varepsilon_a \cdot \mu_a}}$. (2.5)

Резонансная длина волны: $l = \dfrac{p \cdot \lambda_{рез}}{2}$,

где *p* – продольный индекс, целое число, $\lambda_{рез}$ – длина волны в резонаторе.

$$\omega_{рез} = \frac{2,4048}{0,3672 \cdot \sqrt{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1,256 \cdot 10^{-6}}} = 1,964 \cdot 10^9 \frac{рад}{с}, \quad (2.6)$$

$$f_{рез} = \frac{\omega_{рез}}{2\pi} = \frac{1,964 \cdot 10^9}{6,28} = 313 МГц.$$

Энергия, запасенная колебанием типа E_{010}: $W^{E010} = 0,423 \cdot \varepsilon_a \cdot E_{\max}^2 \cdot a^2 \cdot l.$ (2.7)

Добротность колебаний типа E_{010}: $Q = \dfrac{\mu_a \cdot \omega_{рез}}{2 \cdot \Delta} \cdot \dfrac{a \cdot l}{a + l}$,

где Δ – скин-слой.

3. Коаксиальный резонатор. Электрическое поле основной волны в коаксиальном резонаторе имеет только радиальную составляющую [41, 42, 50]:

$$E_r = \frac{A}{r} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot z}{l}\right),\ A = \frac{d}{2} \cdot E_{\max}. \quad (2.8)$$

Максимальная напряженность электрического поля существует в середине резонатора на поверхности внутренней трубы, т.е. при *r = d/2.*

Энергия, запасенная в резонаторе: $W = \dfrac{\pi}{2} \cdot \varepsilon_a \cdot E_{\max}^2 \cdot d \cdot l \cdot \ln\dfrac{D}{d}$. (2.9)

Длина резонатора выбирается кратной половине длины волны, а поперечные размеры R_1 *и* R_2 выбираются в соответствии с выражениями $\lambda > \pi (R_1 + R_2)$ и $R_2 / R_1 = 3,6$. Расчетная формула собственной добротности резонатора:

$$Q^{H101} = \frac{\omega \cdot \mu_a}{\Delta} \cdot \frac{l \cdot \ln\left(R_2 / R_1\right)}{4 \cdot \ln\left(R_2 / R_1\right) + l\left(\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right)}. \quad (2.10)$$

4. ***Кольцевой резонатор.*** Если цилиндрический резонатор диаметром *a* свернуть в кольцо, то образуется кольцевой резонатор бегущей волны [58, 205].

Резонанс наблюдается при условии, что длина резонатора l равна целому числу длин волн. Известно, что *энергию,* запасенную в объемном резонаторе любого типа можно определить по формуле: $W = \int_V \varepsilon_a \cdot \frac{E_{\max}^2}{2} \cdot dV$. (2.11)

В рассматриваемом резонаторе низшими типом являются колебания, имеющие наиболее простую структуру поля. Это основной тип колебания T_1 коаксиального резонатора и колебание типа E_{010}. Для колебания типа E_{010} уравнение Гельмгольца относительно продольной составляющей электрического поля E_z выглядит следующим образом [28]:

$$\frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial z^2} + \beta^2 \cdot \dot{E}_z = 0, \qquad (2.12)$$

где $\beta = \omega\sqrt{\varepsilon_o \cdot \mu_o}$. Учитывая, что для колебаний типа E_{010} составляющая E_z не зависит от φ и z, поэтому уравнение 2.12 представим:

$$\frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial r} + \beta^2 \cdot \dot{E}_z = 0. \qquad (2.13)$$

Задав размеры резонатора и граничные условия, то можно определить минимальную частоту.

5. *Открытый резонатор, образованный двумя полусферами*. В нем существуют собственные электромагнитные колебания [38]; основная мода это – $T_{\text{оор}}$, где p – число вариаций поля вдоль оси резонатора.

Добротность открытых сферических резонаторов определяется потерями в полусферах и дифракционными потерями: $Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot l}{\lambda_{рез}} \cdot \frac{1}{1 - R^2 + a_{диф}}$, (2.14)

где R – коэффициент отражения от полусфер; $a_{диф}$ – относительная потеря мощности излучения вследствие дифракции резонатора; l – расстояние между полусферами.

Дифракционные потери характеризуются волновым параметром:

$N = \frac{a^2}{l \cdot \lambda_{рез}}$, где a – радиус полусфер.

Для приближенного расчета дифракционных потерь можно воспользоваться формулой $a_{диф} \approx 10{,}9 \cdot 10^{4{,}94 \cdot N}$. (2.15)

Резонансные частоты колебаний типа T_{mnp}:

$$f = \frac{c}{l}\cdot(1+2p+2m+n), \text{ где } c \text{ – скорость света.} \quad (2.16)$$

Поперечное распределение электрического поля в открытом сферическом резонаторе описывается Гауссовой функцией: $E = A\cdot e^{-r^2/\omega^2}\cdot\cos\varphi$, (2.17)

где $\omega = \frac{l\cdot\lambda}{\pi}$, $\omega = \frac{l\cdot\lambda}{2\cdot\pi}$ – на поверхности полусфер и между ними;

$$A = \frac{d}{2}\cdot E_{\max}. \quad (2.18)$$

Для характеристики ***открытых*** резонаторов пользуются радиационной добротностью, учитывающей потери на излучение, т.е. радиационные потери.

При исполнении сферического резонатора собранного *из двух полусфер*, имеющих радиусы R_1, R_2 и разделенных друг от друга промежутком длиной L, можно воспользоваться следующими формулами для вычисления амплитуды мод, дифракционных потерь и резонансных частот. Так как R_1, R_2 могут принять любые значения, и можно составить любые комбинации полусфер, поэтому может быть неустойчивая конфигурация сферического резонатора. Поэтому необходимо определить *условия устойчивости сферического резонатора*. Введем две безразмерные величины $g_1 = 1 - L/R_1$; $g_2 = 1 - L/R_2$. (2.19)

Для вычисления распределения электрического поля составим систему трех уравнений для трех неизвестных:

$$-R_1 = Z_1 + Z_r^2/z_1, \quad -R_1 = Z_2 + Z_r^2/Z_2, \quad L = Z_2 - Z_1. \quad (2.20)$$

Если решить эти уравнения, то можно найти напряженность поля в любой точке резонатора, внутри и вне [53, 58, 97, 98]. Если принять диаметр сферы 30,6 см, то собственная добротность алюминиевого резонатора не превышает $Q = \frac{a}{3\cdot\Delta} = \frac{0,306}{3\cdot 1,716\cdot 10^{-5}} = 5944\cdot$. Чем больше диаметр сферического резонатора, тем больше его собственная добротность.

6. *Конические резонаторы.* Получить аналитические выражения для определения собственной и нагруженной добротности резонаторов разной конструкции сложно. Расчеты резонансной частоты f и добротности Q проводи-

лись для резонаторов с различными геометрическими размерами, как самой внутренней полости резонатора, так и внутреннего конического элемента [4].

7. *Квазистационарные тороидальные резонаторы* характеризуются тем, что центральный участок ограничен двумя поверхностями и расстояние между ними мало по сравнению с длиной волны [205]. В этом участке (конденсаторный участок) сконцентрировано почти все электрическое поле резонатора, а в других участках электрическое поле отсутствует. Магнитным полем в конденсаторном участке можно пренебречь. Магнитное и электрическое поля квазистационарного резонатора разделены в пространстве. Резонансная длина волны квазистационарных резонаторов превышает их геометрические размеры. Расчет такого резонатора проводят приближенно через параметры колебательного контура. Средняя часть квазистационарного тороидального резонатора образована двумя параллельными дисками диаметром a и междисковым расстоянием h (конденсаторная часть), образующая тора диаметром b представлена как индуктивная часть. Поэтому квазистационарный тороидальный резонатор эквивалентен колебательному контуру с резонансной частотой:

$$\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\varepsilon_a \cdot \mu_a}{2} \cdot \frac{h \cdot a^2}{d} \cdot \ln\frac{b}{a}}}. \qquad (2.21)$$

Существуют тороидальные резонаторы оригинальной конструкции (рис. 2.3), которые позволили бы реализовать многие критерии проектирования СВЧ установок. Но на практике использовать их пока не удается.

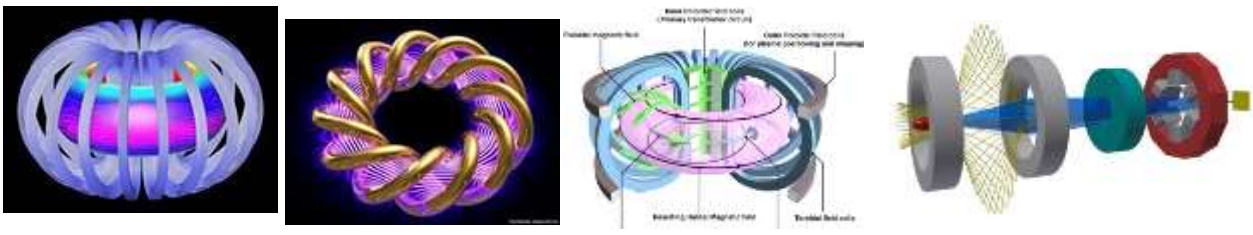


Рисунок 2.3– Существующие тороидальные резонаторы

8. Волноводно-диэлектрические резонаторы. Они выполняются в виде цилиндрических диэлектрических волноводов, на торцах которых помещают неферромагнитные пластины. Тогда на торцах таких резонаторов образуется

граница раздела, от которой волна полностью отражается как от идеально проводящих стенок в закрытых резонаторах. Резонанс в них достигается при помещении в волновод таких диэлектрических тел, как шар, диск и др. Концентрация энергии ЭМП в резонаторе и уменьшение потерь на излучение достигается благодаря применению диэлектриков с высоким значением диэлектрической проницаемости (более 30) и малым тангенсом диэлектрических потерь (менее 10^{-3}) [205]. По сравнению с традиционными резонаторами диэлектрические резонаторы имеют значительно меньшие размеры при одинаковой добротности. Из-за наличия поля вне диэлектрического резонатора рассчитать параметры электродинамической системы сложно.

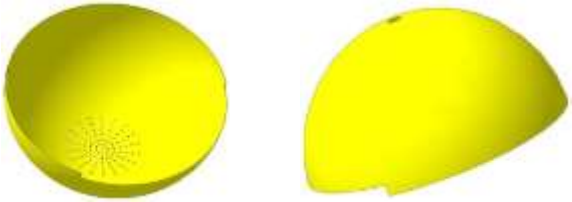
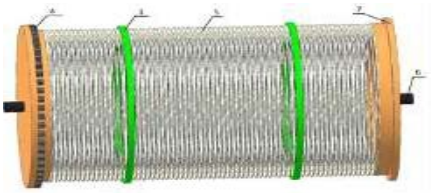
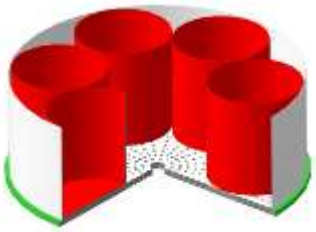
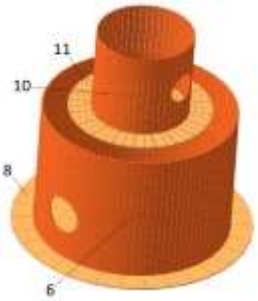
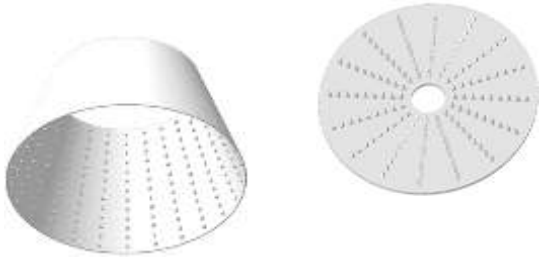
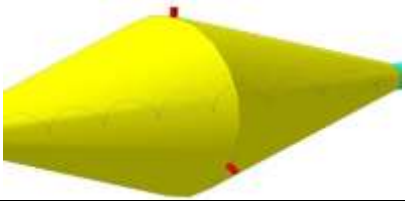
Пользуясь приведенными аналитическими выражениями, удается приблизительно определить параметры электродинамической системы с разными конфигурациями резонаторов [137, 144, 181, 185]. Для получения точных значений собственной добротности резонатора и мощности потока излучений и визуализации распределения напряженности ЭМП в резонаторах разного конструкционного исполнения пользовались методикой поиска собственных мод резонатора при помощи программного обеспечения CST Studio и модули Microwave Studio – системы.

2.2 Разработанные объемные резонаторы для термообработки многокомпонентного сырья

2.2.1 Объемные резонаторы для термообработки непищевых отходов животного происхождения

Непищевые отходы животного происхождения, содержащие влагу, белки, жиры по своим физико-химическим свойствам и структуре относятся к группе капиллярно-пористых коллоидных тел. Это многокомпонентное сырье характеризуется сложностью микроструктуры. Поглощение и рассеяния излучения в них определяются: резонансным поглощением излучения молекулами сухого вещества и связанной с материалом воды; рассеянием на молекулах белков, крахмала и др.; рассеянием излучения на взвешенных коллоидных частицах; рассеянием на других неоднородностях (капиллярах и порах и т.д.).

Классификация разработанных объемных резонаторов приведена на рис. 2.4.

№	Конфигурация резонатора	Наименование
	СФЕРИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ	
1	*Вращающийся сферический резонатор*	*Сферический перфорированный резонатор из двух полусфер* 
	ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ	
5	*Цилиндрический барабан-резонатор из витков безосевого шнека* 	*Передвижные цилиндрические резонаторы* 
7	*Многоярусный цилиндрический щелевой резонатор с вращающимся перфорированным диском* 	
	КОНИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ	
8	*Конический перфорированный резонатор с вращающимся диском* 	*Биконический резонатор* 
10		*Резонатор виде ячеистого барабана*

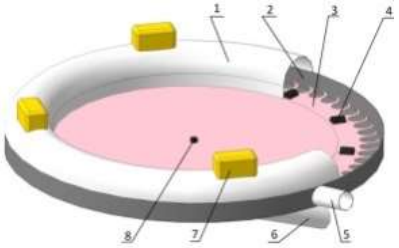
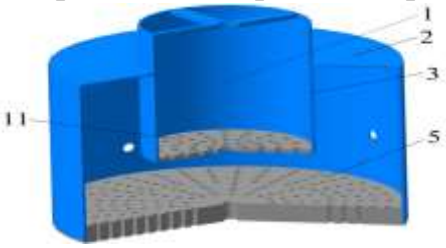
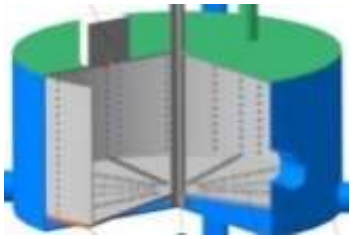
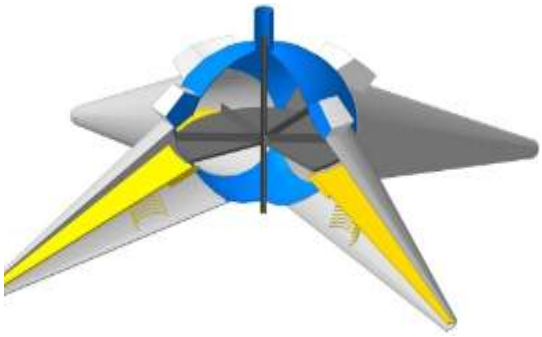
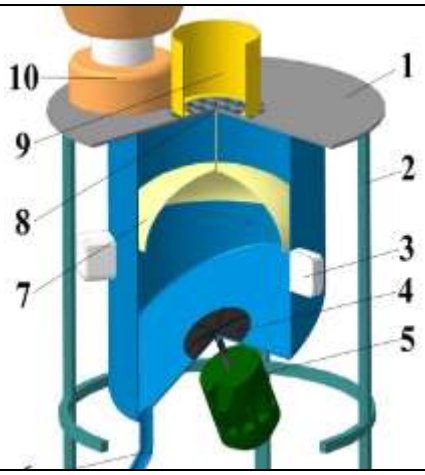
ТОРОИДАЛЬНЫЕ РЕЗОНАТОРЫ		
12	*Тороидальный открытый резонатор* 	*Квазистационарный тороидальный резонатор* 
ШНЕКОВЫЙ И КОАКСИАЛЬНЫЙ РЕЗОНАТОРЫ		
16	*Шнековый резонаторы*	*Коаксиальный резонатор* 
КОМБИНИРОВАНЫЕ РЕЗОНАТОРЫ		
17	*Комбинированный резонатор* (*сфера-тетроконический резонатор*) 	
18	*Комбинированный резонатор (полусфера с цилиндром, имеющим наклонное основание)* 	

Рисунок 2.4 − Классификация разработанных объемных резонаторов СВЧ установок

Эффективность применения СВЧ технологий оценивали [27, 33, 71]:

- сравнением энергетической эффективности других технологий;

- выявлением эффективного сочетания СВЧ технологий с другими видами обработки непищевых отходов убоя животных;

- оценкой эксплуатационных затрат на оборудование для реализации СВЧ технологий.

В связи с широким применением СВЧ техники в разных сферах, подобных исследований достаточно много, в том числе теоретических. Рассмотренные математические модели хотя и учитывают несколько разнообразных факторов, влияющих на процесс термообработки материалов, но они адекватны для материалов однородной структуры. Например, в работе Тригорлого С.В. обоснован общий подход к моделированию взаимосвязанных процессов СВЧ нагрева материалов в условиях изменения электрофизических параметров во времени, когда общее время процесса разбивается на интервалы, в пределах которых считают свойства неизменяющимися [94, 226]. На каждом шаге последовательно решаются задачи электродинамики, термодинамики. Решается задача нахождения мощности СВЧ генератора, при которой достигается равномерное температурное поле [197]. В работе Афанасьева А.М. предложена система дифференциальных уравнений, которая позволяет исследовать процессы теплообмена при СВЧ сушке материалов с учетом фильтрационного переноса жидкой и газообразной фаз, изменения диэлектрических и теплофизических характеристик древесины [65, 144]. Имеются работы, где для повышения равномерности нагрева материала предлагается использовать многочастотные СВЧ установки [129, 204, 214].

Очевидно, что для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме необходимо применить иной подход к нахождению зависимостей, позволяющих выполнять инженерные расчеты режимных параметров процесса и определение характеристик СВЧ установок, позволяющих снизить эксплуатационные затраты. Например, сначала получить эмпирические зависимости диэлектрических и теплофизических параметров сырья в зависимости от температуры и решить дифференциальное уравнение динамики диэлектрического нагрева, т. е. получить полуэмпирическую модель, где будут учтены параметры электромагнитного поля. Далее сочетать процесс термообработки с

одним из процессов, таких как измельчение, обезвоживание. Это улучшает однородность структуры сырья, обеспечивая равномерность диэлектрического нагрева [215, 219]. В работе получены новые научные результаты, связанные с обоснованием методики проектирования СВЧ установок непрерывно-поточного действия с резонаторами, обеспечивающими равномерный нагрев сырья [77, 78, 79].

Исследования проводили *в следующей последовательности*. Определяли соотношения удельной мощности и глубины проникновения энергии электромагнитных излучений СВЧ диапазона в обрабатываемое сырье, зависящей от диэлектрических свойств на данной частоте. Это позволит выявить необходимую частоту электромагнитного поля и мощность генератора, объем загрузки сырья в резонатор. Но вследствие многофакторности процесса СВЧ нагрева (неоднородность структуры сырья, размеры измельченного сырья намного меньше длины волны излучения, изменение напряженности электромагнитного поля и т.п.) данные соотношения можно применить только для конкретного диапазона электрофизических и теплофизических свойств исследуемого сырья, а это значит, метод расчета параметров СВЧ установок несовершенен [80-83].

Провели теоретические и экспериментальные исследования электродинамических и тепловых расчетов, обеспечивающих выполнение критериев оценки технологического процесса воздействия ЭМПСВЧ на сырье. Рассчитывали элементы СВЧ установок через задачи электродинамики, разработали алгоритм оптимизации размеров резонаторных камер с учетом длины волны и напряженности электрического поля. Созданы принципиально новые конструкционные исполнения объемных резонаторов, обеспечивающие равномерный нагрев сырья в непрерывном режиме, при заполнении малого объема [84-85].

Известно, что при моделировании совместных электромагнитных и тепловых полей в резонаторных камерах закрытого типа применяются аналитические и численные методы решения системы уравнений электродинамики. При этом основной задачей считается обеспечение равномерного нагрева объема сырья. В данной работе теоретические и экспериментальные исследования

направлены на исследование и обоснование процессов, происходящих в резонаторах разной конструкции; создание научных принципов проектирования СВЧ установок непрерывно-поточного действия [86-89].

Моделирование равномерного нагрева многокомпонентного сырья в непрерывном режиме проводится за счет применения многогенераторных излучающих систем и использования резонаторов разных конфигураций [90-94]. На основе критерия равномерности распределения электромагнитного поля в резонаторе и в многокомпонентном сырье сформулированы принципы построения многогенераторных СВЧ установок непрерывно-поточного действия с маломощными магнетронами с воздушным охлаждением [95-98].

Разработаны (табл. 2.2) и проанализированы нижеприведенные нетрадиционные резонаторы, обеспечивающие термообработку вторичного сырья. Они реализованы в СВЧ установках, функционирующих с учетом основных критериев, предъявляемых к технологии.

Таблица 2.2 − Название разработанных и запатентованных нетрадиционных резонаторов СВЧ установок непрерывно-поточного действия для термообработки вторичного сырья животного происхождения

№	Исполнение резонаторов	Название установки, № патента
1	Сферические	1. СВЧ установка непрерывно-поточного действия со сферическим резонатором для термообработки вторичного сырья животного происхождения (патент № 2660906). 2. СВЧ установка с резонатором, образованным между двумя сферами для термомеханического разрушения непищевых отходов убоя животных (патент № 2629221). 3. СВЧ установка непрерывно-поточного действия со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья (патент № 2667751). 4. Микроволновая технология извлечения жира из измельченного жиросодержащего сырья с помощью СВЧ установки непрерывно-поточного действия со сферическими резонаторами (патент № 2636155).
2	Цилиндрические	1. СВЧ установка с цилиндрическими резонаторами для варки отходов убоя птицы и животных (патент №

		2629259). 2. Установка с цилиндрическим резонатором для гранулирования измельченных отходов животного и растительного происхождения в процессе диэлектрического нагрева (патент №2703940). 3. СВЧ установка с цилиндрическим резонатором для обезвоживания и термообработки непищевых отходов убоя животных. (патент № 2693737). 4. СВЧ установка с цилиндрическим резонатором в виде беличьей клетки (патент № 2650540). 5. Устройство для дозирования вязкой жидкости в передвижные цилиндрические резонаторы (патент № 2636156). 6. Многоярусная СВЧ установка непрерывно-поточного действия с перфорированными цилиндрическими резонаторами для термообработки влажного сырья (патент № 2661372). 7. СВЧ установка непрерывно-поточного действия с перфорированным цилиндром-ротором для термообработки вторичного сырья в процессе измельчения (патент № 2671710).
3	Цилиндрические вращающиеся щелевые резонаторы	СВЧ установка с цилиндрическими вращающимися резонаторами для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме (патент № 2671712).
4	Конические и биконические	1. Многомодульная СВЧ установка с коническими перфорированными резонаторами для термообработки сырья животного происхождения и отделения жидкой фракции (патент № 2694179). 2. СВЧ установка непрерывно-поточного действия с биконическим резонатором для варки отходов убоя животных (патент № 2729151).
5	Тороидальные	1. Радиоволновые установки для термообработки непищевого сырья, обеспечивающие комплексное воздействие электромагнитных излучений разных длин волн (патент № 2626156). 2. Установка с движущимися источниками СВЧ энергии в тороидальном резонаторе для термообработки

		непищевых отходов убоя животных (патент № 2629220). 3. СВЧ установка с тороидальным резонатором для термообработки непищевых отходов убоя животных в процессе транспортирования с помощью ячеистого ротора (патент № 2629159). 4. Установка с тороидальным резонатором для гранулирования обезвоженных непищевых отходов убоя животных в ЭМПСВЧ (патент 2703944.)
6	Шнековые	СВЧ установка непрерывно-поточного действия со шнековым резонатором для термообработки непищевых отходов животного происхождения в (патент № 2679203).
7	Призматические	СВЧ установка с призматическими резонаторами в виде ячеистого барабана для термообработки непищевых отходов убоя животных (патент № 2671714).
8	Эллипсоидные	Установка с эллипсоидным резонатором для гранулирования измельченного сырья в процессе диэлектрического нагрева (патент № 2709089).
9	Комбинированные	1. СВЧ установка непрерывно-поточного действия с комбинированными резонаторами в виде конусов пристыкованных к сфере (патенты № 2690482, 2729153). 2. СВЧ установка непрерывно-поточного действия с резонатором, образованным полусферой и цилиндром (патент № 2693737). 3. Каскадная СВЧ установка непрерывно-поточного действия с цилиндрическим резонатором комбинированным полусферическим резонатором (патент № 2728179).

Классификация разработанных СВЧ установок, предназначенных для термообработки сырья в разных конструкционных исполнениях резонаторов, приведена на рис. 2.5. Анализ критериев, реализуемых в разных конструкционных исполнениях резонаторов, приведен в табл. 2.3.

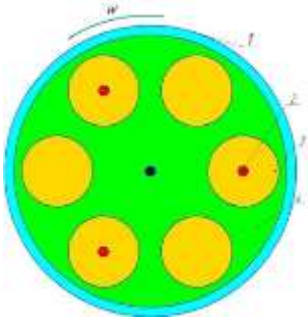
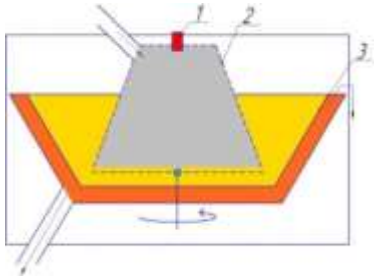
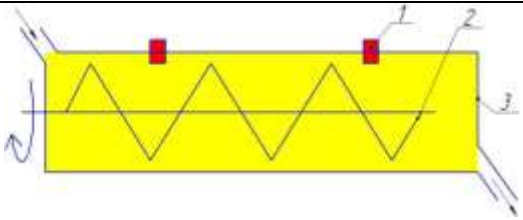
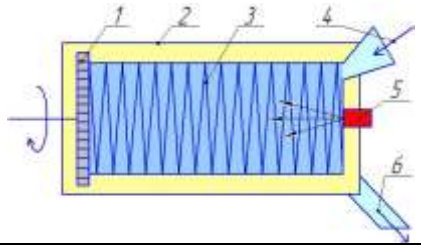
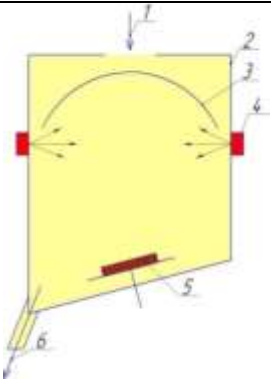
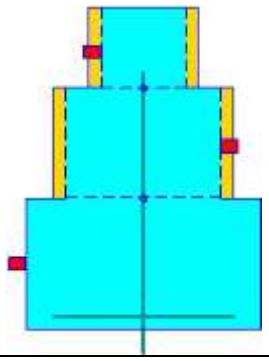
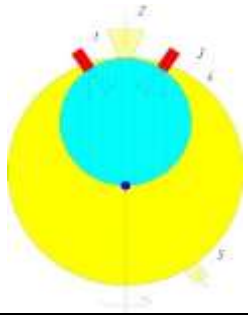
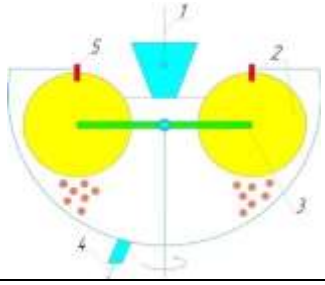
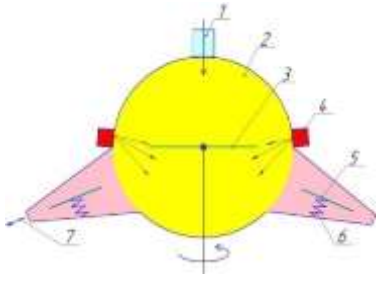
Цилиндрический	№ 2629259 	**Конический**	№ 2694179 
Шнековый	 №2679203	**Винтовой**	№ 2671712 
Комбинированный	№2729153, 2636155 	**Цилиндрический многоярусный**	№ 2661372 
Сферический	№ 2660906 	**Сферические**	№ 2667751 
Биконический	№ 2729151	**Тетроконический**	№ 2690482 

Рисунок 2.5 − Классификация разработанных объемных резонаторов

Таблица 2.3 – Основные критерии, реализованные в разработанных конструкционных исполнениях резонаторов

Высокая напряженность электрического поля	Высокая собственная добротность резонатора	Непрерывность технологического процесса
1. Тороидальный резонатор	1. Сферический резонатор	Запредельные волноводы или щелевой зазор, размером не более четверти длины волны
2. Конический и биконический резонаторы	2. Тороидальный резонатор	
3. Квазистационарные тороидальные резонаторы	3. Цилиндрический резонатор	
4. Цилиндрический и сферический резонаторы	5. Конический резонатор	

Для обеспечения максимальной добротности следует проектировать установки со сферическим резонатором, для обеспечения высокой напряженности электрического поля в сырье – тороидальный или квазистационарные резонаторы, а для обеспечения радиогерметичности (без запредельных волноводов) при непрерывном режиме работы – биконический резонатор. В изготовленном резонаторе комбинированы полусферический резонатор с цилиндрическим резонатором, имеющим наклонное основание, обеспечивающим высокую напряженность электрического поля и возможность стыковки запредельного волновода. Полусфера позволяет регулировать объем резонатора и обеспечивает загрузку измельченного сырья при зазоре намного меньше, чем четверть длины волны, т.е. излучение ЭМИ через зазоры минимальные. Несмотря на очевидные конструкционно-технологические достоинства сферический резонатор применяется на практике реже, чем резонатор с прямоугольным сечением. Поляризационная неустойчивость основной волны типа H_{11} в цилиндрическом резонаторе выше, чем в резонаторе с прямоугольным сечением. Ценным свойством цилиндрического резонатора является возможность распространения в нем симметричных типов колебаний и поэтому находит широкое применение в качестве запредельного волновода. Структурная схема реализации процессов воз-

действия ЭМПСВЧ на непищевое сырье в непрерывном режиме приведена на рис. 2.6.

Рисунок 2.6 – Структурная схема реализации процессов воздействия ЭМПСВЧ на непищевое сырье в непрерывном режиме

2.2.2 Согласование длины волны и конструкционных параметров с собственной добротностью объемных резонаторов

Сведения об объемных резонаторах. Известно, что резонансные контуры, составленные из сосредоточенных элементов индуктивности и емкости, в диапазоне СВЧ не применимы. Это связано с тем, что с ростом резонансной частоты уменьшаются значения индуктивности и емкости ($\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$), а это влечет за собой уменьшение размеров катушки индуктивности и конденсатора, которые становятся соизмеримыми с длиной волны. При этом возрастают потери на излучение, LC – контур теряет способность запасать энергию, его добротность падает [205]. Из теоремы Умова-Пойнтинга следует, что в изолированном объёме, энергия электрического поля периодически преобразуется в энергию

магнитного поля. Изолированная область, в которой созданы условия для резонанса, называется объемным резонатором. Различают *закрытые и открытые объемные резонаторы*. Закороченные полые металлические волноводы образуют закрытые резонаторы, а резонаторы на основе диэлектрических волноводов и системы зеркал являются открытыми.

Одним из важнейших параметров резонансной системы является добротность (отношение запасенной энергии к средней энергии потерь за период колебания) [58, 67, 201]. Полная мощность потерь в объемном резонаторе складывается из мощности потерь в металлических стенках и потерь в диэлектрической среде. Строгий учет мощности потерь в резонаторах связан со значительными трудностями. Поэтому обычно используют приближенные подходы к оценке добротности, основанные на предположении равенства запасенной энергии в резонаторе с малыми потерями и в резонаторе без потерь. Значение собственной добротности зависит от размеров и формы резонатора, материала стенок и качества обработки их внутренних поверхностей. Величина собственной добротности может достигать до $(10\text{-}50)\cdot 10^3$ [68, 73, 102].

Для характеристики ***открытых*** резонаторов пользуются радиационной добротностью, учитывающей потери на излучение, т.е. радиационные потери. Получить аналитические выражения для определения собственной и нагруженной добротности резонаторов разной конструкции сложно [107, 110, 111]. При проектировании СВЧ установок следует предусмотреть непрерывность технологического процесса, возможность обеспечения высокой напряженности электрического поля в резонаторе и максимальной собственной добротности резонаторов, все это повысит энергоэффективность процесса [120, 121, 123]. Непрерывность технологического процесса воздействия ЭМПСВЧ на сырье достигается при использовании разработанных объемных резонаторов, приведенных на рис. 2.4. При этом многократное воздействие ЭМПСВЧ на многокомпонентное сырье обеспечивает: нагрев до эффективной температуры при напряженности электрического поля 1-3 кВ/см; выравнивание давления и температуры в компонентах сырья.

Добротность объемного резонатора определяют как отношение энергии электромагнитного поля, запасенной в резонаторе, к энергии, теряемой за период собственных колебаний [131, 135, 138]:

$$Q = \frac{\omega_0 W_0}{P}, \qquad (2.22)$$

где W_0 – энергия электромагнитного поля, запасенная в резонаторе, Дж;
P – активная мощность, затрачиваемая на потери от вихревых токов в стенках резонатора, потери через щель в виде излучения и на потери в диэлектрике, Вт.

Расчет добротности объемных резонаторов по формулам довольно трудоемкий. Запас энергии в резонаторе пропорционален его объему. Энергия потерь пропорциональна объему, в котором они происходят: произведение площади поверхности на толщину поверхностного слоя (скин-слоя). Для любого колебания в объемном резонаторе имеет место пропорциональность [138, 182, 183]:

$$Q \approx \frac{2 \cdot V}{\Delta \cdot S}, \qquad (2.23)$$

где V – объем резонатора, м^3; Δ – толщина поверхностного слоя, м [182];
S – площадь поверхности, ограничивающей объем резонатора, м^2.

Отметим, что при увеличении размеров резонатора его добротность для данного типа колебаний растет пропорционально корню квадратному собственной длины волны. Эти параметры должны быть согласованы с длиной волны следующим образом: $\Delta \approx \sqrt{\lambda}$, $V \approx \lambda^3$, $S \approx \lambda^2$, $Q \approx \sqrt{\lambda}$. С уменьшением длины волны при соответствующем уменьшении размеров резонатора, его добротность уменьшается. При стремлении сохранить одномодовый режим колебательной системы, необходимо сохранить пропорциональность объема резонатора с длиной волны в кубической степени $V \approx \lambda^3$. [198]. Размеры и электродинамические параметры объемных резонаторов должны быть рассчитаны и оптимизированы для того, чтобы выбрать такие размеры, при которых в нем можно было бы возбуждать только определенные виды колебаний, а интерференция между ними давала бы более равномерное поле по объему. В работе рассматривается и другой способ получения равномерного нагрева сырья, т.е. за счет применения двух или более генераторов, работающих на близких часто-

тах в одном резонаторе при малой загрузке. Причем размеры резонатора с прямоугольным сечением должны быть соизмеримы, но не равны (близкие к кубу) [199]. Анализируем при равных значениях объемов резонаторов разных конфигураций, как отличаются величины собственной добротности.

Сферический резонатор $$V = \frac{4}{3}\cdot\pi\cdot R^3, \quad S = 4\cdot\pi\cdot R; \tag{2.24}$$

Тороидальный резонатор $$\begin{aligned} V_{тор\ квазист.} &= 2\cdot\pi^2\cdot R\cdot r^2 + \pi\cdot r_1^2\cdot d, \\ S_{тор\ квазист.} &= 4\cdot\pi^2\cdot R\cdot r + 2\cdot\pi\cdot r_1^2; \end{aligned} \tag{2.25}$$

Конический резонатор $$V = \frac{1}{3}\cdot\pi\cdot R^2\cdot h, \quad S = \pi\cdot R^2 + \pi\cdot R\cdot l, \tag{2.26}$$

Резонатор в виде усеченного конуса

$$V = \frac{1}{3}\cdot\pi\cdot h\cdot\left(R^2 + r^2 + R\cdot r\right), \quad S = \pi\cdot\left(R + r\right)\cdot l + \pi\cdot R^2 + \pi\cdot r^2, \tag{2.27}$$

где V – объем, S –площадь поверхности, h – высота конуса, l – длина образующей, R – радиус большого основания, r – радиус малого основания.

Объем сферического резонатора равен объему конического резонатора, если $R = h/4$, $\left(\frac{4}{3}\cdot\pi\cdot R^3 = \frac{\pi\cdot R^2\cdot h}{3}\right)$ (2.28)

Объем сферического резонатора равен объему резонатора в виде усеченного конуса при $h = 3\ R$.

$$\frac{4\cdot\pi\cdot R^3}{3} = \frac{1}{3}\cdot\pi\cdot h\cdot\left(R^2 + r^2 + R\cdot r\right),$$ принимаем $r = R/4$.

Учитывая, что собственная добротность объемного резонатора пропорциональна отношению емкости к его площади поверхности с учетом скин-слоя, проанализируем, в какой степени отличаются значения добротности конического резонатора, резонатора в виде усеченного конуса, цилиндрического резонатора от добротности сферического резонатора, при равных объемах резонаторов. Сферический резонатор $$Q \approx \frac{2\cdot V}{\Delta\cdot S} \approx \frac{2\cdot 4\cdot\pi\cdot R^3}{\Delta\cdot 3\cdot 4\cdot\pi\cdot R} \approx \frac{2\cdot R^2}{\Delta\cdot 3}, \tag{2.29}$$

Конический резонатор $$Q \approx \frac{2\cdot V}{\Delta\cdot S} \approx \frac{2\cdot\pi\cdot R^3\cdot h}{\Delta\cdot 3\cdot\pi\cdot\left(R^2 + R\cdot l\right)} \approx \frac{2\cdot R}{\Delta\cdot 3}, \tag{2.30}$$

Резонатор в виде усеченного конуса

$$Q \approx \frac{2 \cdot V}{\Delta \cdot S} \approx \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot \left(R^2 + r^2 + R \cdot r\right)}{\Delta \cdot 3 \cdot \pi \cdot \left(R + r\right) \cdot l},$$
$$V_{ус.конуса} = V_{сферы}. \qquad \frac{\pi \cdot h}{3} \cdot \left(R^2 + r^2 + R \cdot r\right) = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3. \cdot \tag{2.31}$$

Объемы равны, если высота усеченного конуса равна $h = \frac{4 \cdot R^3}{R^2 + r^2 + R \cdot r}$

Тогда $Q_{ус.конуса} = \frac{4 \cdot R^3}{3 \cdot \left(R + r\right) \cdot l}$, если принять $r = R/4$, $l = R$ (см. требования по открытым биконическим резонаторам, параграф 2.7.3), то

$$Q_{ус.конуса} = \frac{2 \cdot 4 \cdot R^3}{\Delta \cdot 3 \cdot \left(R + \frac{R}{4}\right) \cdot R} \approx \frac{8}{3 \cdot \Delta} \cdot R. \tag{2.32}$$

Тороидальный квазистационарный резонатор

$$Q \approx \frac{2 \cdot V}{\Delta \cdot S} \approx \frac{2}{\Delta} \cdot \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot R \cdot r^2 + \pi \cdot r_1^2 \cdot d}{4 \cdot \pi^2 \cdot R \cdot r + 2 \cdot \pi \cdot r_1^2} \approx \frac{2}{\Delta} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot r^2 + r_1^2 \cdot d}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot r + r_1^2}, \tag{2.33}$$

где R – радиус окружности вращения образующей окружности тора; r – радиус окружности тора; r_1 – радиус центрального диска; d – расстояние между дисками.

Анализ показывает, что добротность конического резонатора меньше сферического на R раз, а усеченного конуса на R /3 раз, цилиндра 4/3 R, при равных объемах. Уменьшение размера кубического резонатора приводит к снижению добротности. Нами разработана и изготовлена СВЧ установка с комбинированным резонатором, т.е. в котором скомбинированы полусферический, цилиндрический и конический резонаторы (рис. 2.7). Изготовленный комбинированный резонатор имеет в среднем площадь поверхности 0,377 м^2 и объем 0,0226 м^3. Добротность, вычисленная через конструкционные параметры комбинированного резонатора, составляет в пределах 6910-7800, а по программе CST Studio 2017 – 9270.

Значения добротности резонаторов разных конфигураций, вычисленные через геометрические параметры, сведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Формулы для определения добротности резонаторов разных конфигураций через геометрические параметры

Резонаторы	Формулы собственной добротности	Формулы объем
Сферический	$Q \approx \frac{2 \cdot V}{\Delta \cdot S} \approx \frac{2}{\Delta} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot R^3}{3 \cdot 4 \cdot \pi \cdot R} \approx \frac{2 \cdot R^2}{\Delta \cdot 3}$,	$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$
Квази-стационарный тороидальный	$Q \approx \frac{2 \cdot V}{\Delta \cdot S} \approx \frac{2}{\Delta} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot r^2 + r_1^2 \cdot d}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot r + r_1^2}$,	$V_{тор.} = 2 \cdot \pi^2 \cdot R \cdot r^2 + \pi \cdot r_1^2 \cdot d$
Цилиндрический	$Q \approx \frac{2 \cdot V}{\Delta \cdot S} \approx \frac{2}{\Delta} \cdot \frac{\pi \cdot R^2 \cdot h}{2 \cdot \pi \cdot R^2 + 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h} \approx \frac{2}{\Delta} \cdot \frac{R}{4}$,	$V = \pi \cdot R^2 \cdot h$, если принять $h = R$
Конический	$Q \approx \frac{2 \cdot V}{\Delta \cdot S} \approx \frac{2}{\Delta} \cdot \frac{\pi \cdot R^2 \cdot h}{3 \cdot \pi \cdot \left(R^2 + R \cdot l\right)} \approx \frac{2}{\Delta} \cdot \frac{R}{3}$,	$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h$ при $R = h/4$, объем равен объему сферы
Усеченный конус	$Q_{ус.конуса} \approx \frac{2}{\Delta} \cdot \frac{4 \cdot R^3}{3 \cdot \left(R + \frac{R}{4}\right) \cdot R} \approx \frac{2}{\Delta} \cdot R.$	$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot \left(R^2 + r^2 + R \cdot r\right)$ при $h = 3\ R,\ r = R/4$ объем равен объему сферы

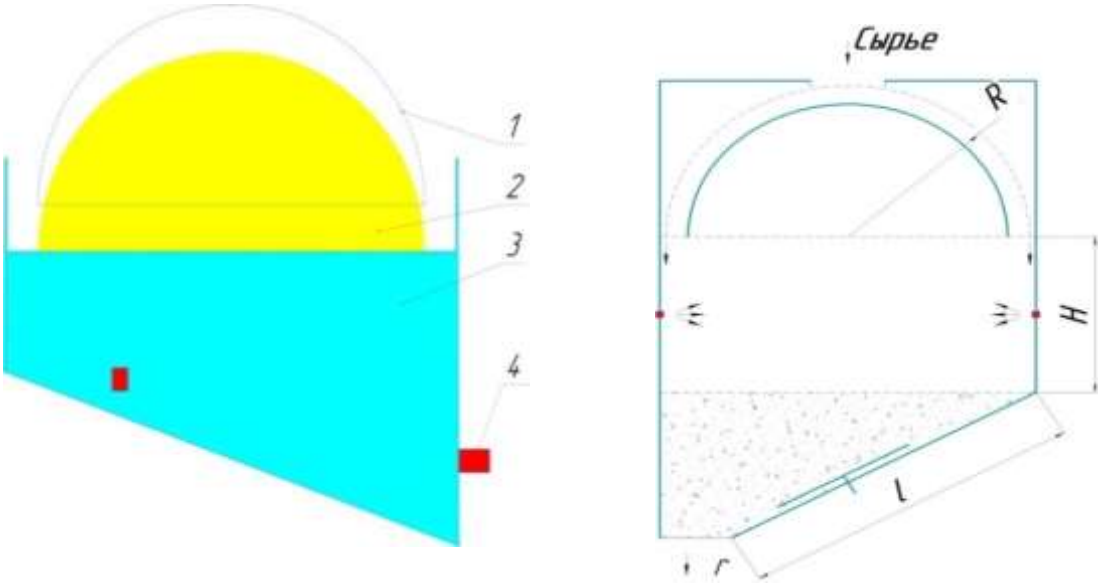


Рисунок 2.7 – Схема комбинированного резонатора: 1 – полусфера; 2 – образующий цилиндра;3 − наклонный конус; 4 − магнетроны

Систематизация формул для определения собственной добротности нетрадиционных резонаторов убеждает, что для многих резонаторов сложных конструкционных исполнений не существует простых аналитических зависимостей, справедливых в широкой полосе частот. Поэтому резонансную частоту

определяли по формуле Томсона, а емкость межу малыми зазорами, емкость боковых поверхностей и собственную добротность по формулам колебательного контура с сосредоточенными постоянными. Или ориентировочно собственную добротность резонатора рассчитывали как удвоенное отношение объема, в котором запасается энергия ЭМП, к объему, в котором она расходуется.

Определим добротность комбинированного резонатора через геометрические параметры. Изготовленный комбинированный резонатор имеет в среднем площадь поверхности и объем:

$$S = 2\pi\left(R^2 + R\cdot H\right) = 6,28\left(0,2^2 + 0,2\cdot 0,1\right) = 0,377\ м^2.$$

$$V = \pi R^2\cdot H_1 = 3,14\cdot 0,2^2\cdot 0,18 = 0,0226\ м^3.$$

$$V_{усеч.\ конуса} = \frac{1}{6}\cdot\pi\cdot h\cdot\left[(R+d)^2 + r^2 + (R+d)\cdot r)\right];\quad S_{усеч.конуса} = \pi\cdot(R+d+r)\cdot l + \pi\cdot r^2;$$

$$S_{бок.цилинд} = 2\cdot\pi\cdot(R+d)\cdot H;\ V_{цилинд} = \pi\cdot\left(R+d\right)^2\cdot H;$$

$$S_{полусферы} = 2\cdot\pi\cdot R^2;\ V_{полусферы} = \frac{2}{3}\cdot\pi\cdot\left(R+d\right)^3.$$

$$V_{общ} = \frac{1}{6}\cdot\pi\cdot h\cdot\left[(R+d)^2 + r^2 + (R+d)\cdot r)\right] + \left[\pi\cdot\left(R+d\right)^2\cdot H\right] + \left[\frac{2}{3}\cdot\pi\cdot\left(R+d\right)^3\right].$$

$$S_{общ.} = 2\cdot\pi\cdot R^2 + \left[2\cdot\pi\cdot(R+d)\cdot H\right] + \left[\pi\cdot(R+d+r)\cdot l + \pi\cdot r^2\right].$$

$$Q \approx \frac{2}{\Delta}\cdot\frac{V}{S} \approx \frac{2}{\Delta}\cdot\frac{\frac{1}{6}\cdot h\cdot\left[(R+d)^2 + r^2 + (R+d)\cdot r)\right] + \left[\left(R+d\right)^2\cdot H\right] + \left[\frac{2}{3}\cdot\left(R+d\right)^3\right]}{2\cdot R^2 + \left[2\cdot(R+d)\cdot H\right] + \left[(R+d+r)\cdot l + r^2\right]}. \quad (2.34)$$

2.2.3 Расчет собственной добротности комбинированного резонатора через уравнения кривой, ограничивающей объем при вращении вокруг оси Оу

Для определения *собственной добротности комбинированного резонатора* (рис. 2.8) вычисляли его объем и площадь поверхности, пользуясь программой Mathcad 15. Объем комбинированного резонатора представили как сумма объемов его частей: $V_{рез.} = V_{ч.шара} + V_{цилиндра\ 1} + V_{цилиндра\ 2}$, (2.35)

где: $V_{рез.}$ – объем резонатора; $V_{ч.\ шара}$ – объем части шара, ограниченного полусферой, радиусом R_1; $V_{цилиндра\ 1}$ – объем цилиндра с основанием R_2 и высотой h_1; $V_{цилиндра\ 2}$ – объем цилиндра со скошенным основанием и высотой h_2.

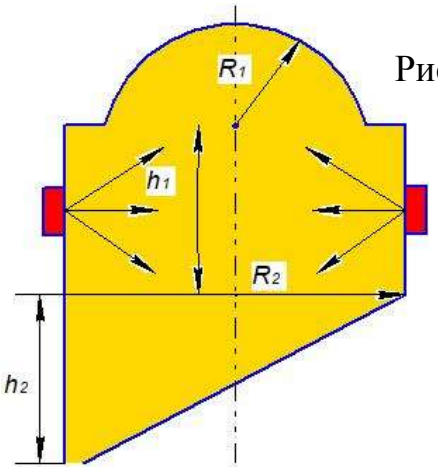


Рисунок 2.8 – Схема комбинированного резонатора

Если криволинейная трапеция ограничена графиком непрерывной функции $x = \varphi(y)$ и прямыми $x = 0$, $y = c$, $y = d$ $(c < d)$, то объем тела, образованного вращением этой трапеции вокруг оси y, равен

$$V = \pi \int_c^d x^2 dy, \qquad (2.36)$$

где: $x = f(y)$ – уравнение кривой, ограничивающей криволинейную трапецию, при вращении которой вокруг оси Oy, получаем тело вращения; $y = c$, $y = d$, где $(c < d)$ – нижний и верхний предел интегрирования (уравнения прямых, ограничивающих криволинейную трапецию по оси Oy).

Для нахождения объема шара, ограниченного полусферой радиуса R_1, проектировали уравнение окружности радиусом R_1 и центром в точке $(0, h_1)$

$$(x-0)^2 + (y-h_1)^2 = R_1^2. \qquad (2.37)$$

Выразим x: $x = \sqrt{R_1^2 - (y-h_1)^2}$. Тогда объем части шара, ограниченный полусферой примет вид: $V_{ч.шара} = V_{y_1} = \pi \cdot \int_{h_1}^{h_1+R_1} \left[(R_1)^2 - (y-h_1)^2 \right] \cdot dy.$ (2.38)

По аналогии рассчитали объем первого цилиндра и цилиндра со скошенным основанием. Объем первого цилиндра равен:

$$V_{цилиндра1} = V_{y2} = \left(\int_0^{h_1} R_2^2 dy \right) \cdot \pi. \quad V_{y_2} = 5{,}132 \cdot 10^4. \qquad (2.39)$$

Объем цилиндра со скошенным основанием

$$V_{цилиндра2} = V_{y3} = \left(\int_0^{h_2} R_2^2 dy \right) \cdot \frac{\pi}{2}. \qquad (2.40)$$

Комбинированный резонатор имеет следующие размеры: R_1 – радиус полусферы 15 см; R_2 – радиус основания первого цилиндра и цилиндра со скошенным основанием 18 см; h_1 – высота первого цилиндра 15 см; h_2 – высота цилиндра со скошенным основанием 16 см.

Объем резонатора равен: $V_{рез.} = V_{y_1} + V_{y_2} + V_{y_3}$. $V_{рез.} = 3,048 \cdot 10^4\ см^3$. (2.41)

Площадь поверхности резонатора определяем как сумму площадей его частей:

$$S_{рез} = S_{y_1} + S_{y_2} + S_{y_3} + S_{y_4}. \qquad (2.42)$$

где: $S_{рез}$ – площадь поверхности резонатора; S_{y1}– площадь боковой поверхности полусферы; S_{y2} – площадь боковой поверхности цилиндра радиусом основания R_2 и высотой h_2; S_{y3} – площадь боковой поверхности цилиндра со скошенным основанием; S_{y4} – площадь скошенного основания цилиндра.

Площадь S поверхности, образованной вращением кривой вокруг оси Oy вычисляется по формуле:

$$S_{рез.} = 2\pi \int_a^b x \cdot \sqrt{\left[1 + \left(f'(y)\right)^2\right]}\, dy, \qquad (2.43)$$

где $f'(y)$ – производная функции $x = f(y)$; $y = b$, $y = a$ – верхний и нижний предел интегрирования (уравнения прямых, ограничивающих фигуру по оси Oy).

Площадь боковой поверхности полусферы:

$$S_{y_1} = 2\pi \left[\int_{h_1}^{h_1 + R_1} \left[\sqrt{R_1^{\,2} - \left(y - h_1\right)^2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dy} \sqrt{R_1^{\,2} - \left(y - h_1\right)^2} \right)^2} \right] \right] dy. \qquad (2.44)$$

Площади поверхности первого и скошенного цилиндров:

$$S_{y_2} = 2\pi \int_0^{h_1} R_2 \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dy} R_2 \right)^2}\, dy. \; S_{y_3} = \left[\int_0^{h_2} R_2 \sqrt{1 + \left(\frac{d}{dy} R_2 \right)^2}\, dy \right] \cdot \pi. \qquad (2.45)$$

Площадь скошенного основания цилиндра, находим интегрируя уравнение эллипса:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \qquad \text{где } b = R_2, \qquad a = \sqrt{\frac{h_2^2 + 4 \cdot R_2^2}{2}}, \qquad (2.46)$$

подставляя значения a и b в уравнение эллипса, получаем

$$\frac{y^2}{R_2^2} + \frac{4 \cdot x^2}{h_2^2 + 4 \cdot R_2^2} = 1, \text{ отсюда } x = \frac{\sqrt{\left(1 - \frac{y^2}{R_2^2}\right) \cdot \left(h_2^2 + 4R_2^2\right)}}{2}. \qquad (2.47)$$

Площадь скошенного основания цилиндра:

$$S_{y_4} = 4 \cdot \left[\int_0^{R_2} \frac{\sqrt{\left(1 - \frac{y^2}{R_2^2}\right)\left(4R_2^2 + h_2^2\right)^2}}{2} dy \right]. \qquad (2.48)$$

При подстановке размеров резонатора, в программе Mathcad 15 вычислим его площадь. $S_{рез} = 5{,}129 \cdot 10^3$ *см*^{2}. Собственная добротность комбинированного резонатора составляет 6910.

$$Q = \frac{2 \cdot V_{рез}}{\Delta \cdot S_{рез}} = \frac{2 \cdot 3{,}048 \cdot 10^{-2}}{1{,}72 \cdot 10^{-5} \cdot 5{,}129 \cdot 10^{-1}} = 6910, \qquad (2.49)$$

где Δ – толщина поверхностного слоя, для немагнитных материалов $\Delta = 1{,}72 \cdot 10^{-5}$ м, (Ю.Н. Пчельников, стр.15).

Формулы для определения собственной добротности разработанных резонаторов сведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Формулы для определения собственной добротности разработанных резонаторов

Собственная добротность резонаторов разных конфигураций
Цилиндрический $Q^{H01p} = \frac{a^2}{\Delta \cdot \left[\left(2a - l\right) \cdot \left(\frac{p \cdot \lambda}{2a} \right)^2 + a \right]}$, $Q^{E011} = \frac{l \cdot a}{2 \cdot \Delta \cdot \left(l + a\right)}$, где *a, l* – радиус и высота цилиндра; λ – длина волны; *p* – число вариаций поля по оси z.
Сферический $Q = \frac{\omega_o \cdot \mu_a \cdot d}{3 \cdot \Delta}$ *или* $Q = \frac{2 \cdot r}{3 \cdot \Delta}$, где ω – частота; *d, r* – диаметр и радиус; Δ – скин-слой; μ_a – магнитная проницаемость материала корпуса резонатора.
Квазистационарный тороидальный $C_{зазора} = \frac{\varepsilon_o \cdot \pi \cdot a^2}{d}, C_{бок.стен} = 4 \cdot \varepsilon_o \cdot a \cdot \ln \frac{l}{d}, Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{L / C}$, где *d* – расстояние между пластинами, диаметром *a; l* – средний периметр тора, *R*, *L*, активное и индуктивное сопротивление, *C* – емкость резонатора.
Коаксиальный $Q^{H101} = \frac{\omega_o \cdot \mu_a}{\Delta} \cdot \frac{l \cdot \ln\left(R_2 / R_1\right)}{4 \cdot \ln\left(R_2 / R_1\right) + l\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}$, $Q = \frac{\omega_o \cdot W}{P} = \frac{\omega_o \cdot \pi \cdot E_{\max}^2 \cdot \varepsilon_o \cdot d^2 \cdot l \cdot \ln\left(D / d\right)}{8 \cdot P}$, где *W* – энергия накапливаемая в резонаторе; *P* – мощность рассеиваемая в резонаторе.

Биконический	$Q = \dfrac{4 \cdot r^2 \cdot h}{3 \cdot \Delta \cdot \left(r^2 + r \cdot \sqrt{r^2 + h^2} \right)}$,
где r – радиус основания, h – высота конуса.	
Комбинированный	
$Q \approx \dfrac{2 \cdot V}{\Delta \cdot S} \approx \dfrac{2}{\Delta} \cdot \dfrac{\frac{1}{6} \cdot h \cdot \left[(R+d)^2 + r^2 + (R+d) \cdot r) \right] + \left[\left(R+d \right)^2 \cdot H \right] + \left[\dfrac{2}{3} \cdot \left(R+d \right)^3 \right]}{2 \cdot R^2 + \left[2 \cdot (R+d) \cdot H \right] + \left[(R+d+r) \cdot l + r^2 \right]}$.	
R – радиус полусферы, H – высота цилиндрической части резонатора, l – длина образующей усеченного конуса, d, r – диаметр и радиус оснований усеченного конуса	

Элементы теории согласования мощности электромагнитных излучений со скорость изменения бактериальной обсемененности в сырье. Известно, что эффект диэлектрического нагрева достигается благодаря проникновению в сырье ЭМПСВЧ на значительную глубину. В процессе обработки в ЭМПСВЧ сырье подвергается глубоким изменениям, в том числе изменяются их диэлектрические свойства, что влияет на технологический процесс. Электромагнитное поле, проникая в сырье на значительную глубину, не обеспечивает равномерного нагрева его во всем объеме. Такая неравномерность связана с падением удельной мощности, неоднородностью состава и влагосодержанием, формой сырья. Рекомендуется выбирать измельченное сырье, чтобы его линейные размеры хотя бы в одном измерении не превышали удвоенного значения глубины проникновения. В противном случае вследствие возникающего градиента температуры и избыточного давления возникают явления переноса теплоты и массы. Глубину проникновения ЭМПСВЧ в сырье определяли по формуле: $\gamma = \dfrac{9{,}55 \cdot 10^9}{tg\delta \cdot f \cdot \sqrt{\varepsilon}}$, *см*, $\gamma = \dfrac{9{,}55 \cdot 10^9}{0{,}51 \cdot 2450 \cdot 10^{6} \cdot \sqrt{46{,}3}} = 1{,}12$ *см*, (2.50)

где f – частота, Гц; ε – диэлектрическая проницаемость говяжьей печени, почки (46,3-69) при температуре (20-100°С), $tg\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь сырья (0,51-0,68) [46, 47, 107].

Необходимая мощность электромагнитных излучений для снижения бактериальной обсемененности сырья по формуле Соколова В.Ф [167]:

$$P = -\frac{Q \cdot \alpha \cdot k \cdot \ln\left(\frac{Б_{доп}}{Б_0}\right)}{\eta} = -\frac{10{,}5 \cdot 0{,}11 \cdot 2300 \cdot \ln\left(\frac{500 \cdot 10^3}{1000 \cdot 10^3}\right)}{0{,}75} = 2454\ Вт. \quad (2.51)$$

где k = 2300-2500 мкВт·с/см^2; производительность установки Q = 45 кг/ч; (10,5 см^3/с., плотность 1200 кг/м^3); КПД = 0,75; a – коэффициент поглощения ЭМИ водой a = (0,1-0,2) см$^{-1}$.

Необходимая мощность для снижения общего микробного числа в сырье в два раза, при производительности установки до 45 кг/ч, составляет 2454 Вт. Принимаем три генератора по 800 Вт (2400 Вт). Далее согласуем конструкционные параметры комбинированного резонатора с напряженностью электрического поля, добротностью и объемом загрузки сырья [183].

Известно, что одновременно с нагреванием сырья в ЭМПСВЧ происходит разрушение микроорганизмов. Поэтому температуру и продолжительность воздействия необходимо выбирать с учетом этих факторов. Исследования показывают, что при температуре выше 120°С происходит разрушение сырья. При кратковременном нагреве с высокой дозой воздействия ЭМПСВЧ сохраняются в полном объеме биологически ценные компоненты сырья, чем при длительном нагреве малой дозой воздействия ЭМПСВЧ.

При переменной температуре изменение бактериальной обсемененности сырья за промежуток времени τ можно определить интегрированием следующего выражения [176]:

$$\lg\left(\frac{N_0}{N}\right) = \int_0^{\tau} \frac{1}{D} d\tau, \quad (2.52)$$

где N_o – концентрация микроорганизмов в сырье при τ = 0; N – концентрация микроорганизмов в сырье после термообработки; D – продолжительность, в течение которой количество микроорганизмов в сырье уменьшается в 10 раз. Она равна $D = \ln 10/k$.

Скорость разрушения микроорганизмов при достижении летальной температуры:

$$\frac{dN}{d\tau} = -k \cdot N. \qquad \text{Тогда } N = N_0 \cdot \exp(-k \cdot \tau), \quad (2.53)$$

где k – скорость гибели бактерий после достижения летальной температуры.

При постоянной температуре, продолжительность нагрева τ можно определить из выражения:

$$\tau = D \cdot \lg\left(\frac{N_0}{N}\right). \quad (2.54)$$

Согласование напряженности электрического поля, добротности и объема комбинированного резонатора, можно определить по формуле: 2.55:

$$E = \sqrt{\frac{Q \cdot P}{0,27 \cdot \varepsilon_0 \cdot 2\pi \cdot f \cdot V_{резон.}}} = \sqrt{\frac{6000 \cdot 2400}{0,27 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6,28 \cdot 2450 \cdot 10^6 (10...20) \cdot 10^{-3}}} = (14...63) \cdot 10^4 \frac{В}{м}. \quad (2.55)$$

где V – объем резонатора, м^3; Q – собственная добротность комбинированного резонатора; ε_o = 8,85·10^{-12} Ф/м – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума.

Если принять собственную добротность равной 6000, то в объеме резонатора 10-20 л можно обеспечить напряженность ЭП 1,4-6,3 кВ/см, при мощности генератора 2400 Вт.

Итак, в резонаторе объемом до 20 л можно обеспечить критическую напряженность электрического поля 1,2-1,5 кВ/см, при воздействии которого уменьшается бактериальная обсемененность в сырье два раза, если производительность установки не превышает 45 кг/ч.

Разработанный алгоритм согласования конструкционных параметров резонатора и параметров электродинамической системы с технологическими критериями, реализуемыми в СВЧ установке для термообработки непищевых отходов убоя животных включает определение необходимой мощности электромагнитных излучений для снижения бактериальной обсемененности сырья, например в два раза с 1 млн. КОЕ/г до ПДУ (500 тыс. КОЕ/г), содержащего бактерии коли (k = 2400-2500 мкВт·с/см^2) при производительности установки Q = 36 кг/ч (10 см^3/с) и КПД = 0,75, по формуле Соколова В.Ф. Далее, по методике Ю.В. Корчагина следует определить критическую напряженность электрического поля в резонаторе, при которой прекращается размножение микроорганизмов. После чего по методике Ю.Н. Пчельникова нужно вычислить объ-

ем резонатора, обеспечивающего критическую напряженность электрического поля, при необходимой мощности СВЧ генератора.

2.3 Моделирование объемных резонаторов, обеспечивающих эффективные параметры электродинамической системы

Для трехмерного моделирования резонаторной камеры разнообразной формы использовали программу CST Microwave Studio. Результатом моделирования станет получение собственных мод резонатора, вычисление собственной добротности, напряженности электромагнитного поля и плотности тока [134].

В процессе проектирования объемных резонаторов в трехмерном представлении с помощью CST Microwave Studio задаются граничные условия и определяется местоположение источников излучения. Далее выполняется разбиение всего пространства задачи на сетку, а затем рассчитывается электрическое и магнитное поле в каждой точке пространства. Наиболее эффективный метод расчета – это в виде программы расчета переходного процесса «***Transient Solver».*** Программа выполняет расчет проектируемого резонатора в широком диапазоне. Важная особенность решения во временной области – пропорциональная зависимость требуемых вычислительных ресурсов от размеров резонатора; возможность полной параметризации модели структуры (от геометрии до свойств сырья), которая использует переменные при определении каждого варьируемого параметра. В комбинации со встроенным оптимизатором и возможностью прямого изменения параметров программа CST Microwave Studio эффективно выполняет проектирование устройств на электродинамическом уровне. Методика решения задач сводится к точному моделированию физических процессов, таких как распространение электромагнитных волн, тепловые явления, движение частиц [134].

Программу CST Microwave Studio мы использовали для вычисления и визуального представления различных характеристик электромагнитного типа: электрического поля, магнитного поля, поверхностных токов, потоков мощности, плотности потерь, а также тепловых характеристик. Пользуясь цифровыми

методами, вычислили электромагнитное распределение поля, а также распределения температуры при сложной геометрии объемных резонаторов [134]. Известно, что во время разработки СВЧ установок решающим является распределение электромагнитного поля. Для того чтобы точно определить процесс нагрева, следует исследовать различные механизмы теплообмена, а также образовавшиеся при этом эффекты. Компьютерное моделирование позволило проанализировать и оптимизировать поведение отдельных узлов СВЧ установки на стадии проектирования. Пакет программ позволяет получать и анализировать комплексные характеристики, например, эффективную площадь отражения объекта (*RCS*) или удельный коэффициент поглощения (*SAR),* оптимизировать расположение излучателей, учитывать эффекты затухания электромагнитной волны и резонанса в среде и т.п. Можно моделировать СВЧ поля внутри очень сложных структур. При этом микроструктура сырья заменяется макросредой, описываемой диэлектрической проницаемостью.

Предлагаемая методика может применяться для моделирования резонаторов различных типоразмеров. Ниже приведены результаты исследования электродинамических параметров разработанных резонаторов (рис. 2.9-2.16).

Исследования показывают, что вектора напряженностей электрического поля собственных мод резонаторов, в соответствии с графической визуализацией и текстовой информацией на рисунках равномерно распределены по всей рабочей области. Амплитудные значения напряженности электрического поля концентрируются в наибольшей степени по месту расположения излучателя в резонаторных камерах.

Сферический резонатор

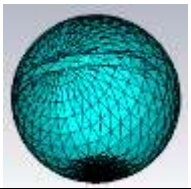
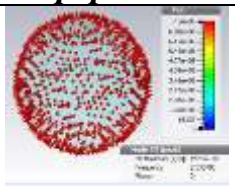
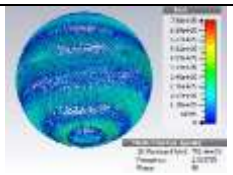
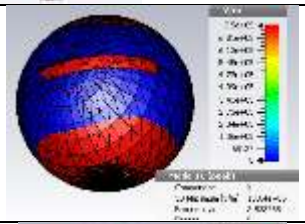
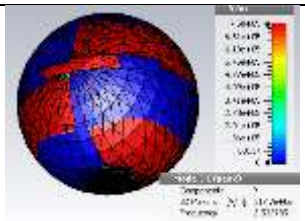
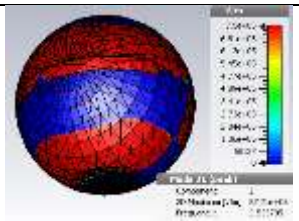
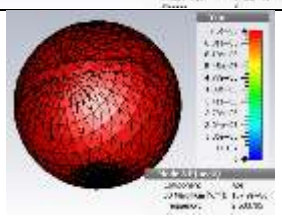
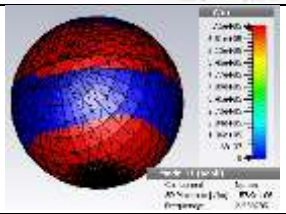
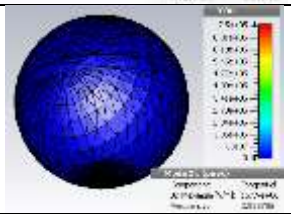
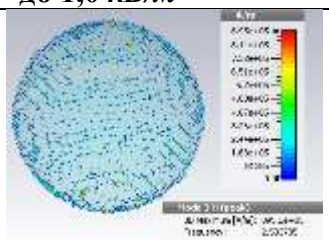
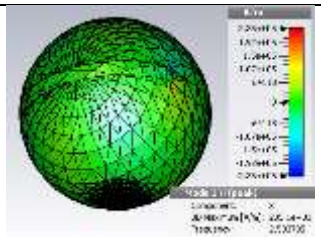
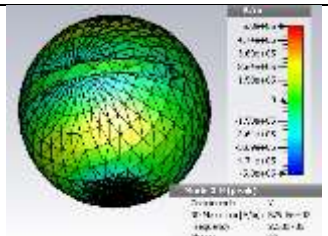
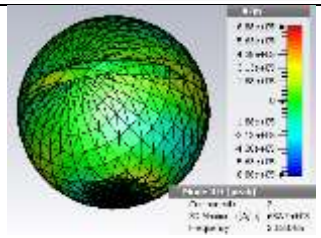
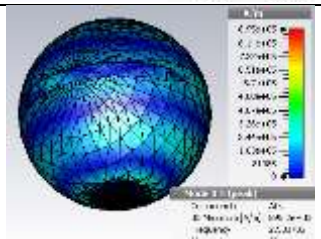
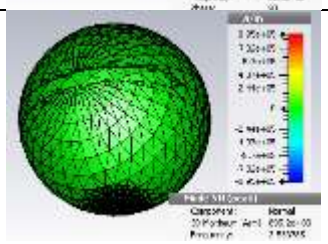
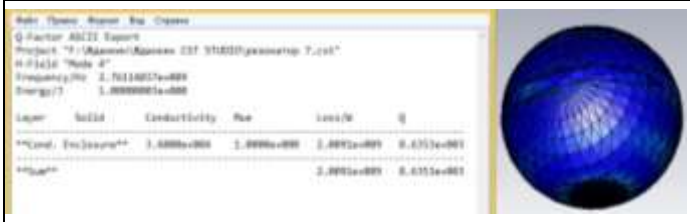
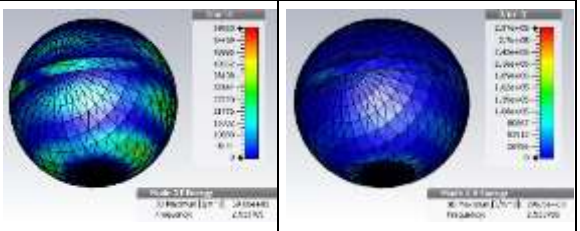
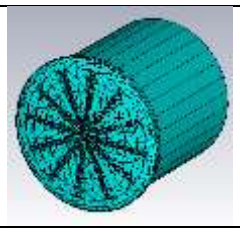
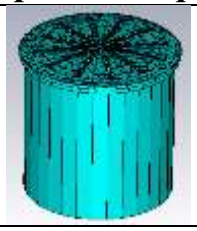
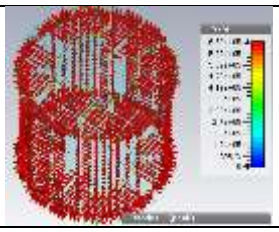
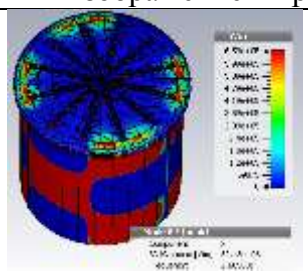
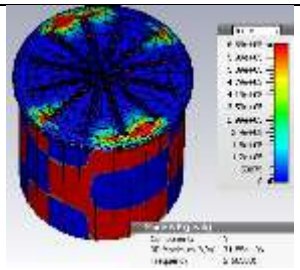
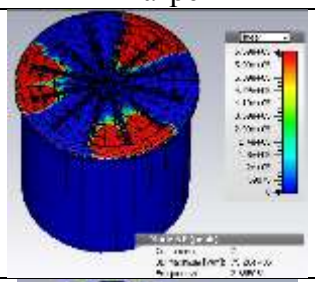
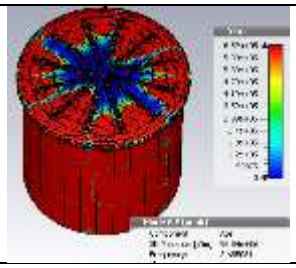
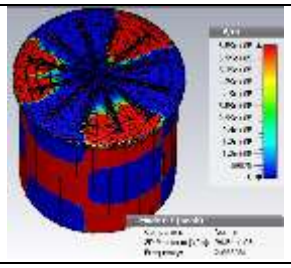
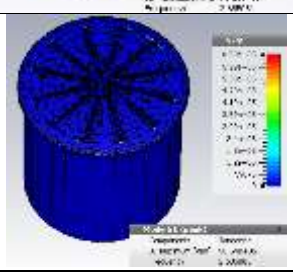
<table>
<tr><td>  Изображение сферического резонатора</td><td>  Нагрев сферического резонатора E = до $7{,}5\cdot10^5$ *В/м*</td><td>  Излучение через щели в сферическом резонаторе H = до $7{,}58\cdot10^5$ *А/м*</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="3">Катина распределения ***напряженности электрического поля*** в сферическом резонаторе (мода 3, по оси x, y, z; средняя abc; нормальная normal; тангенциальная tangential)
E* = до 1,0·*кВ/м</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="3">Картина распределения ***напряженности магнитного поля*** в сферическом резонаторе (мода 3, по оси x, y, z; средняя abc; нормальная normal; тангенциальная tangential)
H = до $8{,}95\cdot10^5$ *А/м*</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td rowspan="2">  </td></tr>
<tr><td>Добротность сферического резонатора (мода 4)
***Q* = 8,64·10³**</td><td>Картина распределения плотности тока в сферическом резонаторе (мода 3)</td></tr>
</table>

Рисунок 2.9 – Результаты исследования электродинамических параметров сферического резонатора

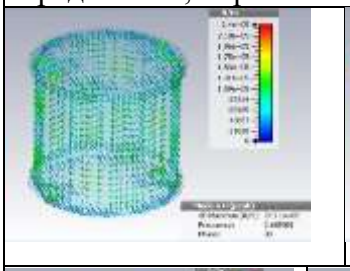
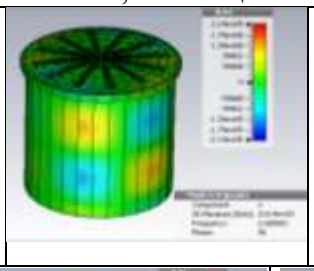
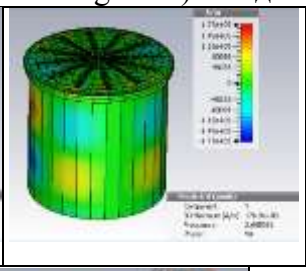
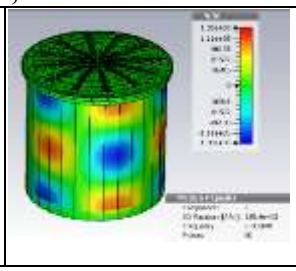
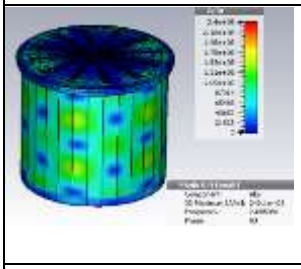
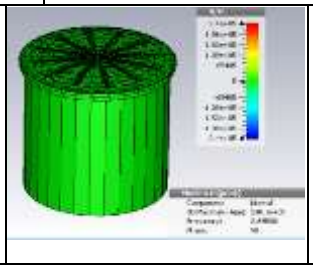
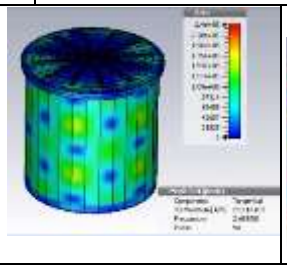
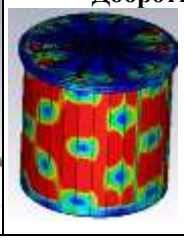
Цилиндрический резонатор

Изображение в программе CSTStudioSuite | Нагрев

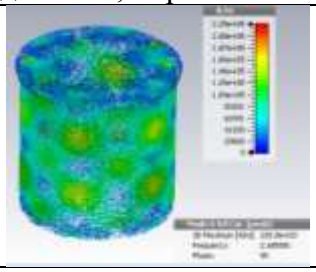
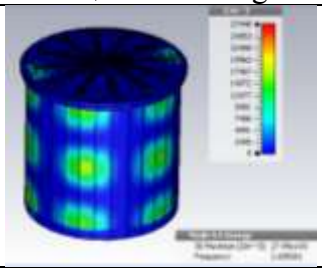
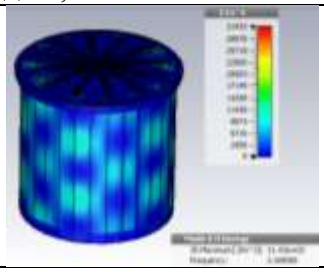







Картина распределения напряженности ***электрического поля*** (мода 6, по оси x, y, z; средняя abc; нормальная normal; тангенциальная tangential) ***E* = до 6,59·10^5 *В/м***

Добротность (мода 9)
***Q* = 6,53·10^3**

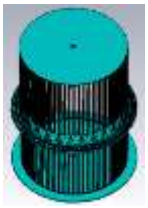
Картина распределения напряженности ***магнитного поля*** в (мода 10, по оси x, y, z; средняя abc; нормальная normal; тангенциальная tangential) *H* = до 2,4·10^5 *А/м*

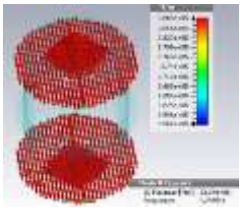
Излучение через щели в *H* = до 2,29·10^5 *А/м* | Картина распределения ***плотности тока*** (мода 6, при электрической и магнитной напряженности поля)

Рисунок 2.10 – Результаты исследования электродинамических параметров цилиндрического резонатора

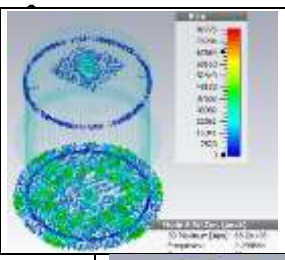
Цилиндрический щелевой резонатор



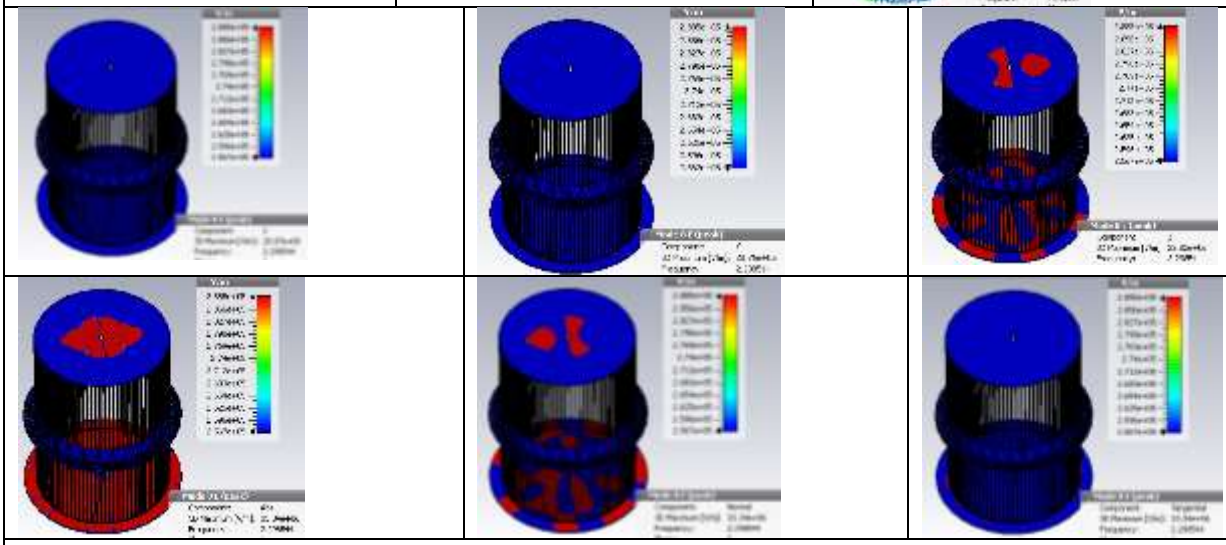
Изображение цилиндрического щелевого резонатора



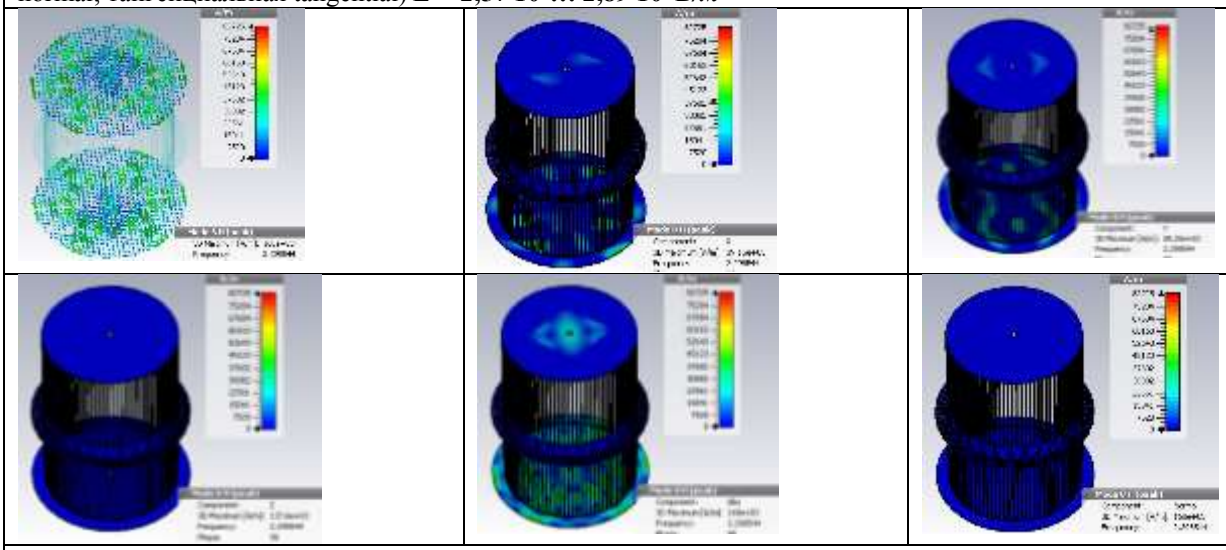
Нагрев оснований резонатора $E = (2{,}57\ldots 2{,}89)\cdot 10^5$ *В/м*



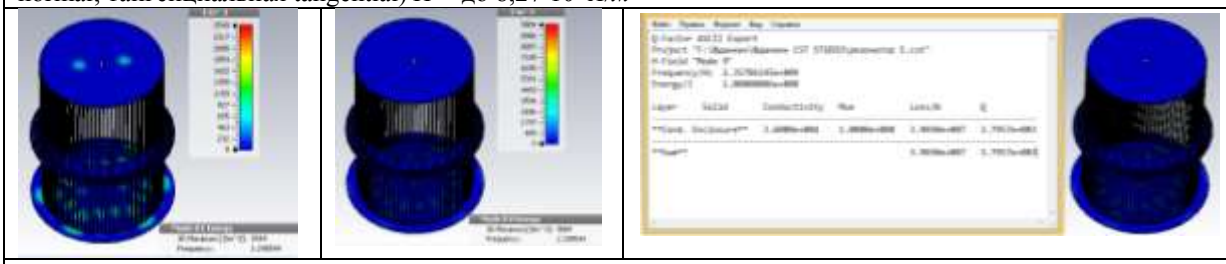
Излучение через щели в цилиндрическом резонаторе $H =$ до $8{,}27\cdot 10^4$ *А/м*



Картина распределения ***напряженности электрического поля*** (мода 8, по оси x, y, z; средняя abc; нормальная normal; тангенциальная tangential) $\boldsymbol{E = 2{,}57\cdot 10^5 \ldots 2{,}89\cdot 10^5}$ ***В/м***



Картина распределения ***напряженности магнитного поля*** (мода 8, по оси x, y, z; средняя abc; нормальная normal; тангенциальная tangential) $H =$ до $8{,}27\cdot 10^4$ *А/м*



Картина распределения плотности тока (мода 8). Добротность щелевого цилиндрического резонатора (мода 9) $\boldsymbol{Q = 3{,}79\cdot 10^3}$

Рисунок 2.11 – Результаты исследования электродинамических параметров цилиндрического щелевого резонатора

Цилиндрический резонатор, боковые поверхности образованы витками безосевых шнеков

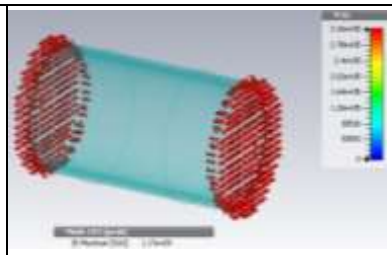
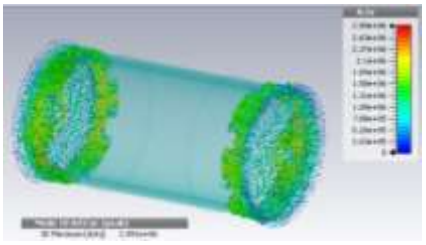
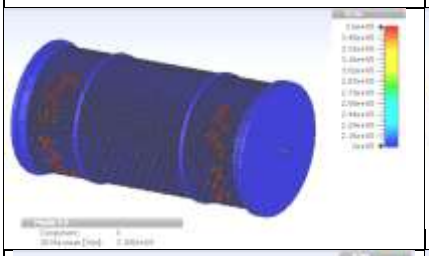
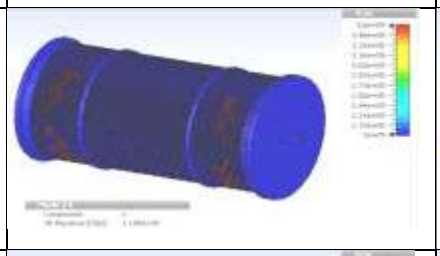
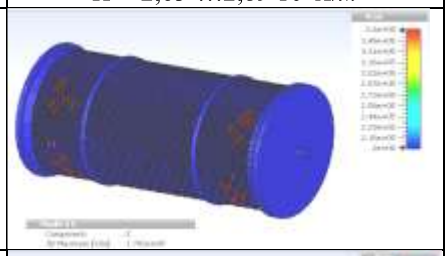
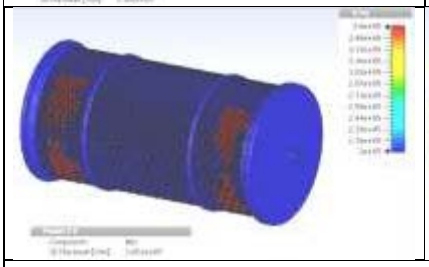
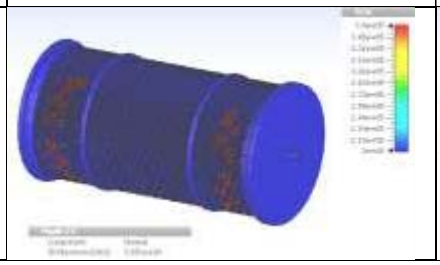
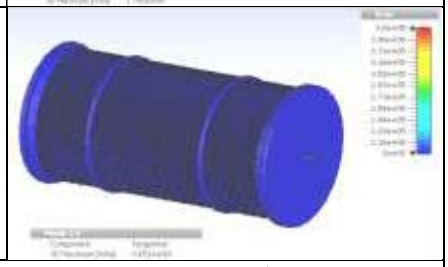
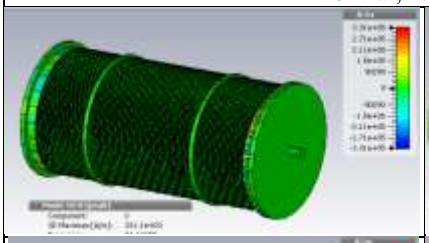
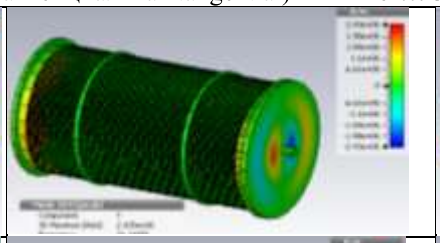
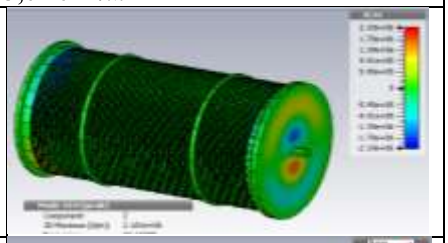
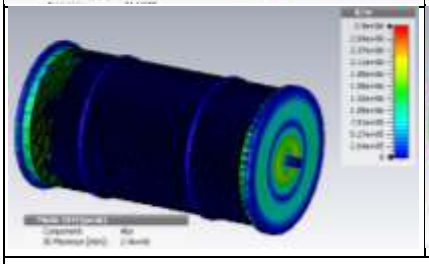
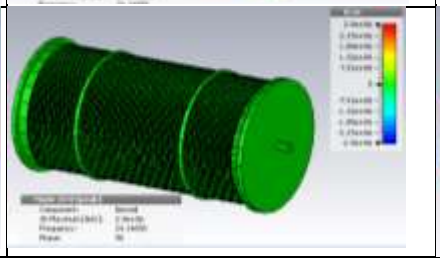
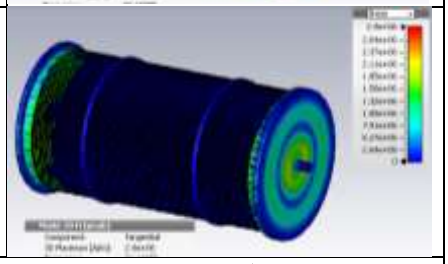
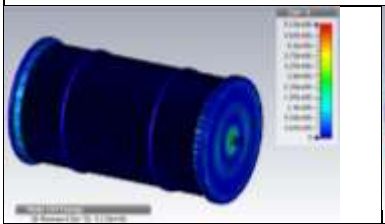
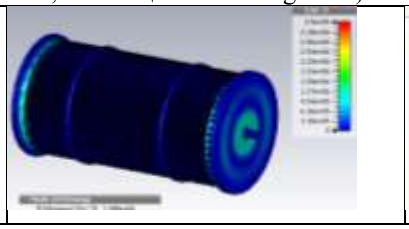
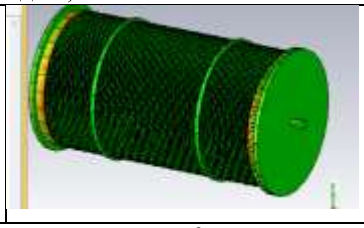
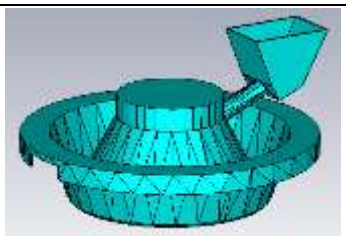
		
Изображение цилиндрического резонатора	Нагрев оснований цилиндрического резонатора E = до $3{,}16 \cdot 10^5$ *В/м*	Излучение через щели в цилиндрическом резонаторе $H = 2{,}63^6 \ldots 2{,}89 \cdot 10^6$ *А/м*
		
		
Картина распределения ***напряженности электрического поля*** (мода 2, по оси x, y, z; средняя abc; нормальная normal; тангенциальная tangential) $\boldsymbol{E = 2 \cdot 10^5 \ldots 3{,}6 \cdot 10^5}$ ***В/м***		
		
		
Картина распределения ***напряженности магнитного поля*** (мода 10, по оси x, y, z; средняя abc; нормальная normal; тангенциальная tangential) H = до $2{,}9 \cdot 10^5$*А/м*		
		
Картина распределения плотности (мода 10). Добротность $\boldsymbol{Q = 5{,}13 \cdot 10^3}$		

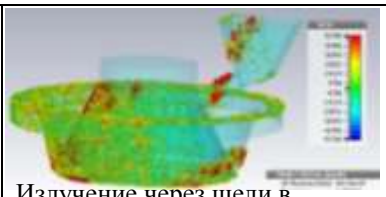
Рисунок 2.12 – Результаты исследования электродинамических параметров цилиндрического резонатора, у которого *боковые поверхности образованы витками безосевых шнеков*

Конический резонатор

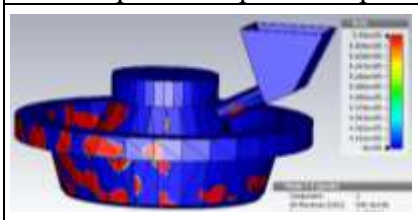


Изображение резонатора

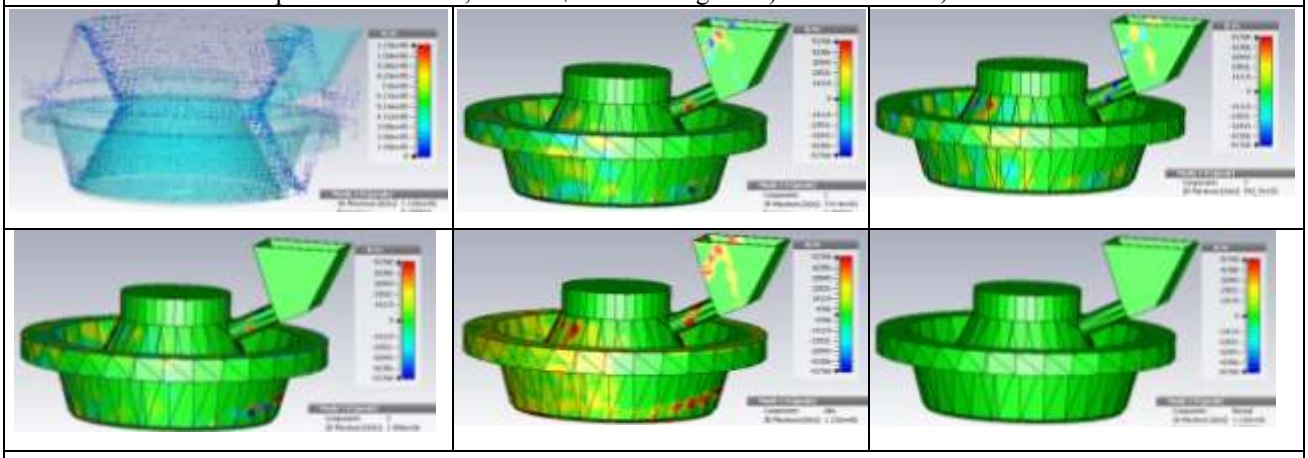
Нагрев резонатора, E = до $5{,}99 \cdot 10^5 В/м$



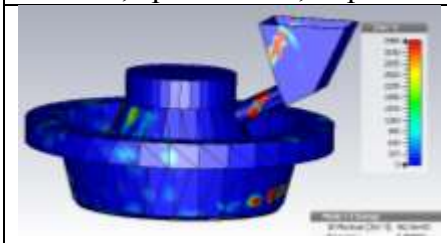
Излучение через щели в резонаторе

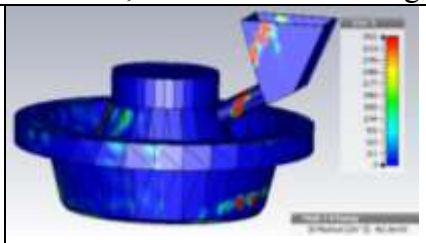


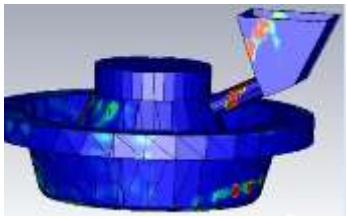
Картина распределения напряженности ***электрического поля*** в резонаторе (мода 1, по оси x, y, z; средняя abc; нормальная normal; тангенциальная tangential) $\boldsymbol{E = 4 \cdot 10^5 \ldots 5{,}99 \cdot 10^5 В/м}$



Картина распределения напряженности ***магнитного поля*** в резонаторе (мода 1, по оси x, y, z; средняя abc; нормальная normal; тангенциальная tangential) $\boldsymbol{H}$ = **до** $\boldsymbol{5{,}2 \cdot 10^4 А/м}$





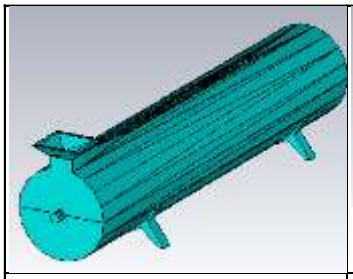


Добротность резонатора (мода 4) $\boldsymbol{Q = 4{,}16 \cdot 10^3}$

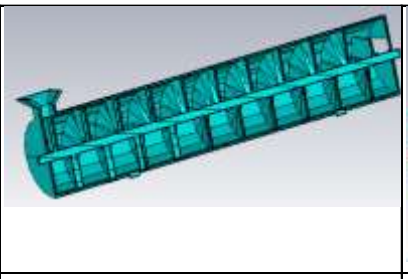
Картина распределения плотности тока в резонаторе (мода 1) J = до $3465 А/м^3$

Рисунок 2.13 – Результаты исследования электродинамических параметров конусообразного резонатора

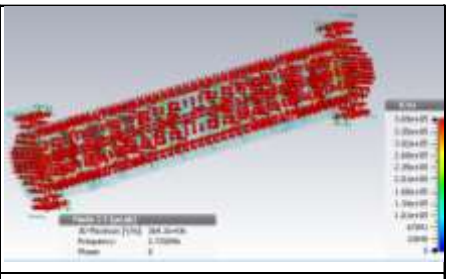
Шнековый резонатор



Изображение шнекового резонатора в программе CSTStudioSuite



Изображение шнекового резонатора в разрезе



Нагрев оснований шнекового резонатора
E = до $3{,}69 \cdot 10^5 В/м$

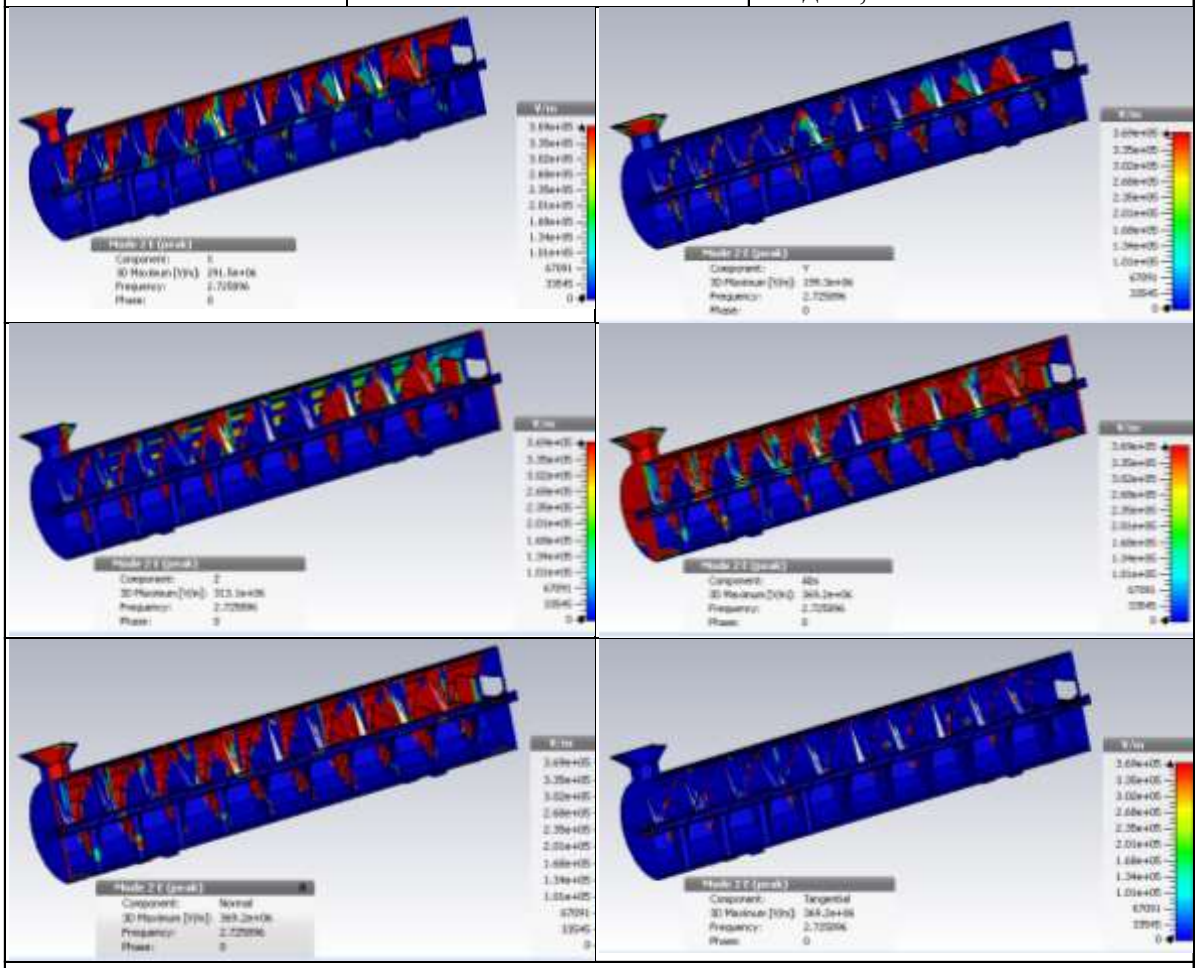
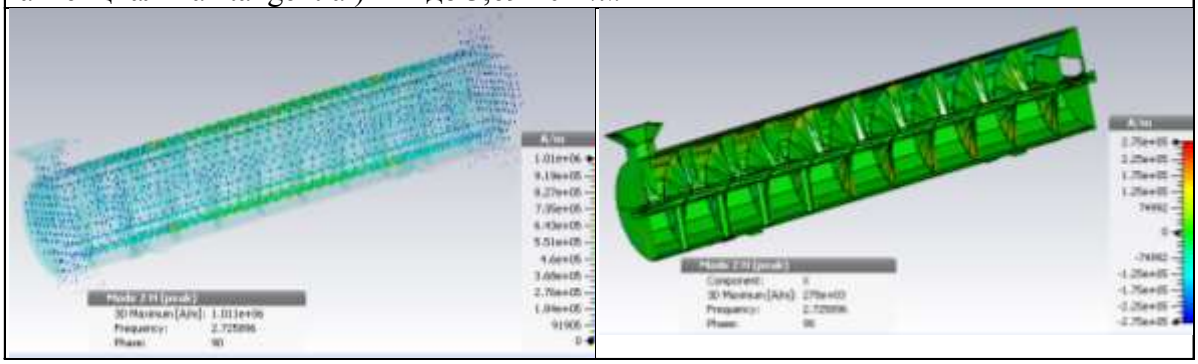


Рисунок 2.14 – Картина распределения напряженности электрического поля в шнековом резонаторе (мода 2, по оси x, y, z; средняя abc; нормальная normal; тангенциальная tangential) E = до $3{,}69 \cdot 10^5 В/м$



Комбинированный резонатор

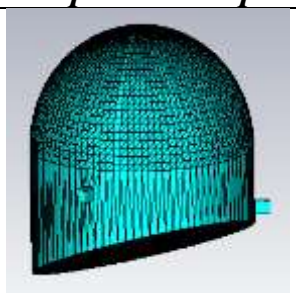
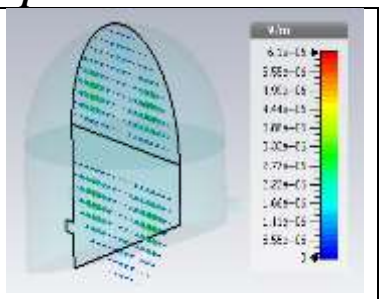
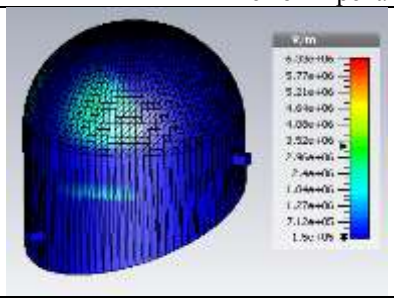
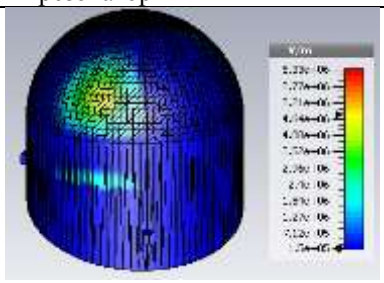
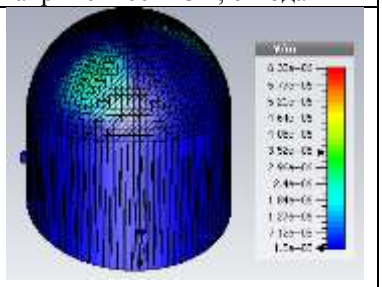
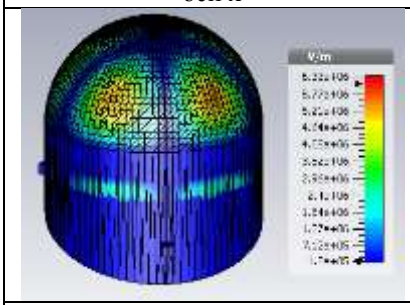
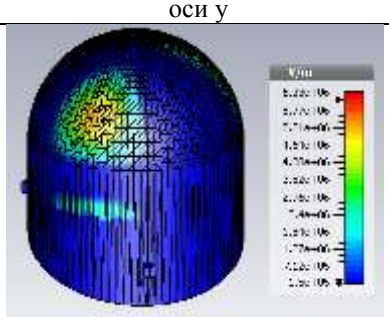
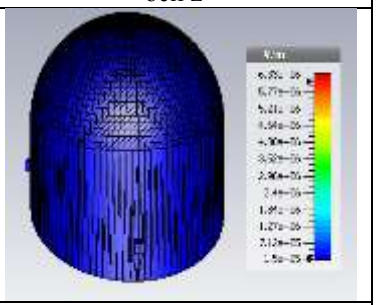
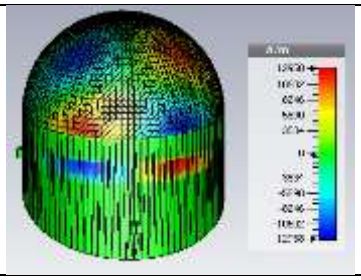
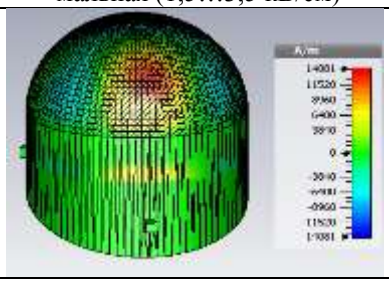
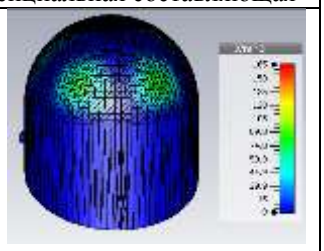
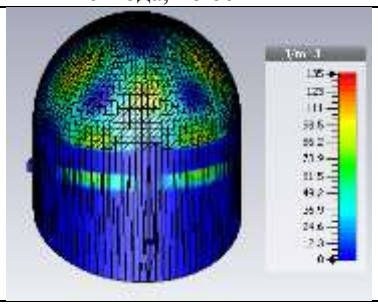
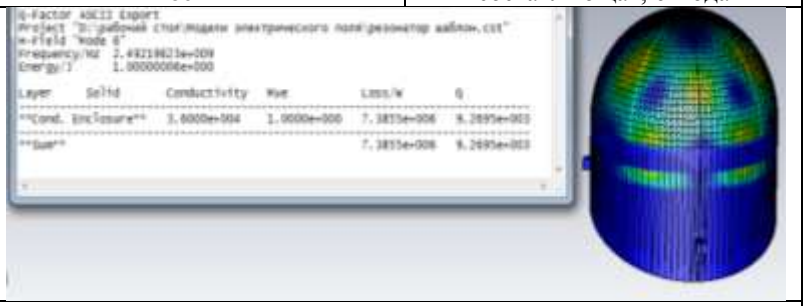
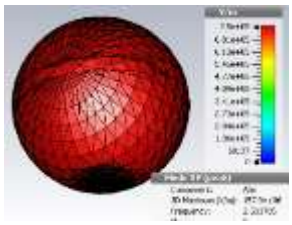
<table>
<tr><td> </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>Комбинированный резонатор</td><td></td><td>Напряженность ЭП, 6 мода</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>Напряженность ЭП, 6 мода, по оси x</td><td>Напряженность ЭП, 6 мода, по оси y</td><td>Напряженность ЭП, 6 мода, по оси z</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>Напряженность ЭП, 6 мода, abc</td><td>Напряженность ЭП, 6 мода, нормальная (1,5…3,5 кВ/см)</td><td>Напряженность ЭП, 6 мода, тангенциальная составляющая</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>Напряженность магнитного поля, 6 мода, по оси x</td><td>Поверхностный ток, 6 мода, по оси x</td><td>Плотность тока, электрическая составляющая, 6 мода</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>Плотность тока, магнитная составляющая, 6 мода</td><td>Добротность 9270</td></tr>
</table>

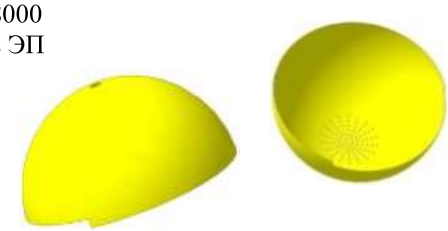
Рисунок 2.15 – Распределение электромагнитного поля в комбинированном резонаторе



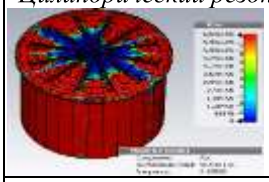
Сферический резонатор
Добротность 8640-10000

Напряженность ЭП 0,6-1,0 кВ/см

Сферический перфорированный резонатор
Добротность 8000
Напряженность ЭП
0,6-1,0 кВ/см

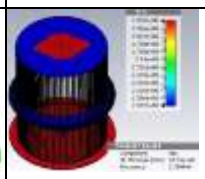


Цилиндрический резонатор



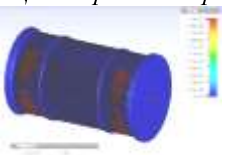
Добротность 6530

Напряженность
ЭП 0,6-1,6 кВ/см



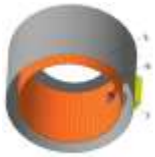
Цилиндрический щелевой резонатор
Добротность 3790
Напряженность ЭП
0,6-2,0·кВ/см

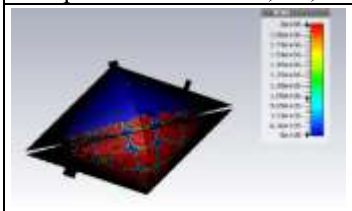
Цилиндрический резонатор, боковые поверхности образованы витками безосевого шнека



Добротность 5130
Напряженность ЭП 0,6-2,0 кВ/см

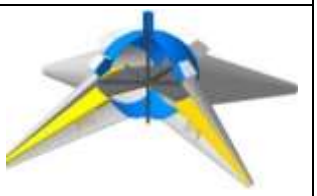
Цилиндрический перфорированный
Добротность 6200
Напряженность ЭП 0,6-2,8 кВ/см

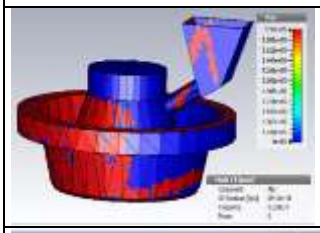




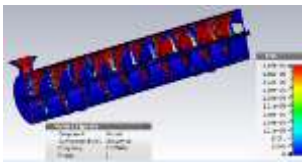
Биконический резонатор
Добротность 7098
Напряженность ЭП
0,6-3,5 кВ/см

Тетроконический резонатор
Добротность 4000-6000
Напряженность ЭП
0,6-2,5 кВ/см



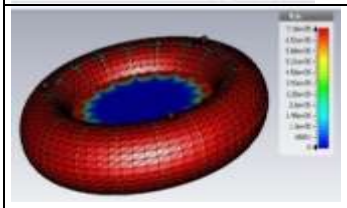


Конический резонатор
Добротность 4160
Напряженность ЭП
0,6-6 кВ/см

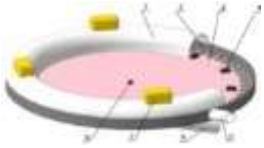


Шнековый резонатор
Добротность 2570

Напряженность ЭП 0,6-2,7 кВ/см

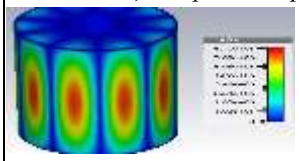


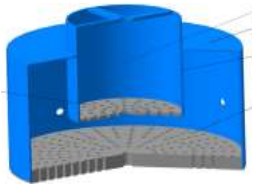
Тороидальный открытый резонатор



Добротность 7400
Напряженность ЭП 0,6-4 кВ/см

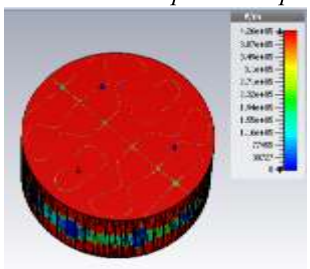
Квазистационарный тороидальный резонатор

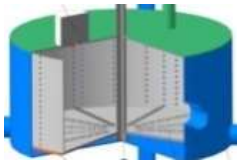




Добротность 3800-6000
Напряженность ЭП 0,6-5 кВ/см

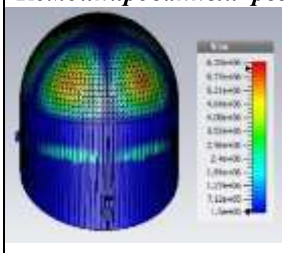
Коаксиальный резонатор





Добротность 5000
Напряженность ЭП
0,6-2 кВ/см

Комбинированный резонатор



Добротность 7000-9270
Напряженность ЭП
0,6-3,5 кВ/см

Рисунок 2.16 – Результаты исследования электродинамических параметров резонаторов разных конфигураций

Анализ существующих объемных резонаторов показывает, что наибольшее распространение получили СВЧ установки стационарного типа, резонаторная камера которых выполнена на основе резонаторных структур, предназначенных для термообработки неподвижного сырья. Известны и установки конвейерного типа, рабочая камера которых выполнена на основе волноводов сложного поперечного сечения [63]. В них проводят непрерывную термообработку сырья (сыпучего, жидкого), движущегося с постоянной скоростью. Результаты исследования основных электродинамических параметров (напряженности электрического поля и собственной добротности) разработанных резонаторов разных конструкционных исполнений приведены на рис. 2.15. Анализ полученных результатов показывает, что термообработку и обеззараживание непищевых отходов убоя животных, производительностью 30-50 кг/ч в непрерывном режиме может обеспечить СВЧ установка с 3-4 магнетронами, излучатели которых направлены в резонатор разных конфигураций. При этом максимальной собственной добротностью 8000-8640 обладает сферический резонатор, а напряженность электрического поля достигает 0,6-4 кВ/см. На втором месте по величине добротности биконический, тетроконический и тороидальный резонаторы (7098-7400), но в них можно возбудить электрическое поле максимальной напряженности 5-13 кВ/см.

Собственная добротность цилиндрических резонаторов (перфорированных, щелевых) не превышает 6000 и в них напряженность электрического поля 0,4-3,6 кВ/см. Собственная добротность квазистационарного резонатора 3800, а напряженность электрического поля может достичь 4-8 кВ/см.

В изготовленном комбинированном резонаторе с собственной добротностью 9200, напряженность электрического поля составляет 1,5-7,12 кВ/см.

Методика определения диэлектрических параметров многокомпонентного сырья. Электродинамические процессы в установках стационарного и конвейерного типов существенно отличаются, но внутренняя краевая задача электродинамики для них имеет общие исходные данные, это замкнутая электродинамическая система, частично заполненная сырьем. Причем объемный

резонатор заполнен не только многокомпонентным сырьем, но и воздухом. При этом электрофизические и тепловые параметры обрабатываемого сырья зависят от температуры нагрева [27, 56, 151].

Для каждого из исходных компонентов непосредственно определяют концентрацию, диэлектрическую проницаемость и коэффициент потерь поляризации. При этом комплексную относительную диэлектрическую проницаемость каждого компонента на частоте 2450 МГц определяем по методике А.И. Рогова [191]. Концентрацию компонентов определяют математически, путем решения относительно неизвестных параметров системы уравнений.

$$\sum_{k=1}^{N} Z_{ik} \cdot V_k = \varepsilon_r(\omega_1) - 1 - \frac{\sigma}{j \cdot \omega \cdot \varepsilon_o} - \sum_{i=1}^{k} \varsigma_{i1} \cdot \theta_1, \qquad (2.56)$$

где i = 1, 2, 3…; K – количество компонентов с полностью известными параметрами; N – количество компонентов с неизвестными параметрами; σ – удельная проводимость сырья; Z_{ik} – комплексная диэлектрическая проницаемость k-ой компоненты; j – мнимая единица; ε_r – комплексная диэлектрическая проницаемость среды, определяемая на частоте ω; $\xi_{i1} \cdot \theta_1$ – параметры, аналогичные соответственно Z_{ik}, V_{k}, но для компонента с известными параметрами; V_k – объемная концентрация *к-ой* компоненты ($V_k = \frac{\gamma_k \cdot \rho}{\rho_k}$,); γ_k, ρ_k – концентрация и плотность компонентов сырья; ρ – плотность многокомпонентного сырья.

Смесь непищевых отходов животного происхождения относится гетерогенным неоднородным смесям (жидкость и отходы мясной продукции). После измельчения такой смеси однородность повышается. При поляризации гетерогенных смесей наблюдаются сложные процессы, определяемые неоднородностью структуры. Расчет диэлектрической проницаемости двухфазной смеси проводили по методике Лихтенекера. Для мелкодисперсной смеси с хорошо перемешанными фазами имеется формула [191]:

$$\ln \varepsilon' = x_1 \cdot \ln \varepsilon_1' + (1 - x_1) \cdot \ln \varepsilon_2', \qquad (2.57)$$

где x_1 – объемная концентрация одного из компонентов; (1-x_1) − объемная концентрация другого из компонента; $\varepsilon', \varepsilon_2'$ – диэлектрические проницаемости компонентов.

С уменьшением *влажности* диэлектрическая проницаемость и коэффициент диэлектрических потерь мясных отходов непрерывно снижается. Такой характер изменения диэлектрических параметров связан с образованием в измельченном сырье воздушных полостей и обезвоженных участков. Поэтому при выборе режимов термообработки сырья следует учитывать его влажность.

Уменьшение значения диэлектрической проницаемости измельченного вторичного мясного сырья с повышением *температуры* объясняется уменьшением фактора диэлектрических потерь воды и изменением форм связи влаги за счет денатурации белка.

При увеличении *жирности* вторичного мясного сырья диэлектрические параметры снижаются, так как диэлектрические параметры жировой ткани на много меньше, чем мышечной ткани.

Разработана блок-схема расчета объемного резонатора

Для рациональной передачи энергии к сырью должно быть обеспечено согласование технологических и электродинамических параметров СВЧ установки. Согласование этих параметров многогенераторной установки проведено в соответствии с разработанной блок-схемой расчета объемного резонатора (рис. 2.17). Она предусматривает сравнение значений собственной добротности резонатора, напряженности электрического поля в нем, и оценивает электромагнитную безопасность и энергетические затраты. Алгоритм позволяет выявить установки с эффективными электродинамическими параметрами (максимальная напряженность, максимальная собственная добротность, мощность). Для этого необходимо ввести исходные конструкционные размеры соответствующих резонаторов, с учетом длины волны и при приближенном равенстве их объемов.

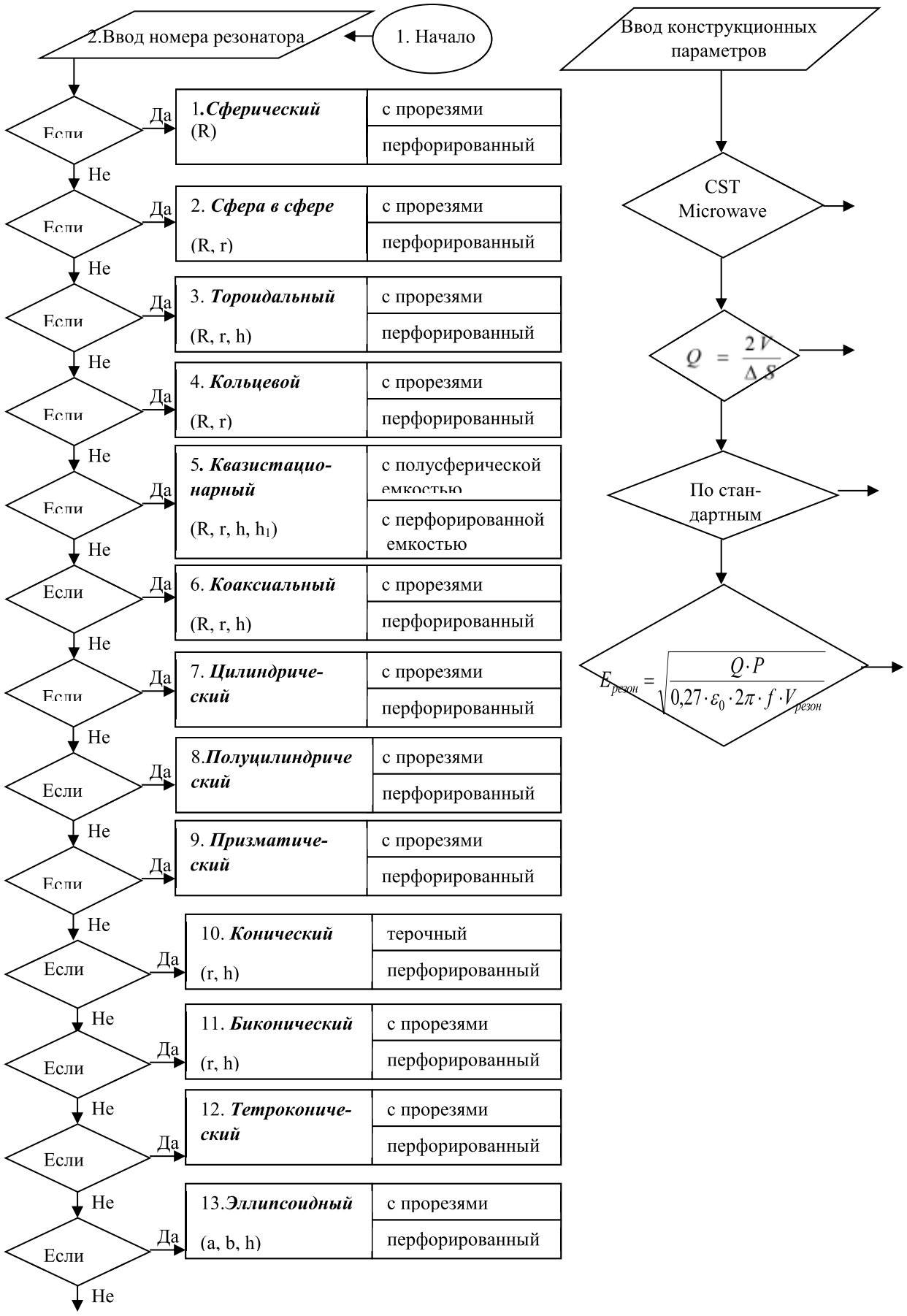


Рисунок 2.17– Блок-схема алгоритма расчета объемного резонатора

2.4 Математические выражения, описывающие динамику нагрева непищевого мясного сырья при изменении электрофизических параметров

Удельные диэлектрические потери в единице объема диэлектрика зависят от параметров электрического поля сверхвысокой частоты (напряженности, частоты) и от диэлектрических параметров сырья (диэлектрической проницаемости, фактора потерь, тангенса угла диэлектрических потерь многокомпонентного сырья), а также от физико-механических свойств сырья (плотности, теплоемкости) [191, 196]. Диэлектрические параметры сырья зависят от частоты, влажности и температуры. С учетом изменения диэлектрических и физико-механических свойств многокомпонентного сырья в процессе обработки, определяем уравнение динамики нагрева сырья [54, 179, 180]:

$$\Delta\tau = \frac{\Delta T \cdot \rho \cdot C}{5{,}55 \cdot 10^{-11} \eta \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon \cdot tg\delta} = \frac{\Delta T \cdot \rho(\tau) \cdot C(T)}{5{,}55 \cdot 10^{-11} \cdot \eta \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon(T) \cdot tg\delta(T)}, \qquad (2.58)$$

где $\rho(\tau)$ – изменение плотности сырья в процессе воздействия, кг/м^3;
$C(T)$ – изменение удельной теплоемкости сырья в зависимости от температуры, Дж/кг·^{o}С; $\Delta\tau$ – продолжительность воздействия, с; η – термический КПД;
f – частота электромагнитного поля, Гц; E – напряженность электрического поля, В/м; $\varepsilon(T)$ – изменение диэлектрической проницаемости многокомпонентного сырья в процессе диэлектрического нагрева; $tg\delta(T)$ – изменение тангенса угла диэлектрических потерь многокомпонентного сырья в зависимости от температуры нагрева.

Рассмотрим динамику эндогенного нагрева многокомпонентного сырья.

Диэлектрические характеристики непищевых отходов убоя животных в зависимости *от температуры* при частоте 2450 МГц приведены в разделе 1. Изменения фактора потерь ($k = \varepsilon \cdot tg\delta$), теплоемкости С($T$), плотности $\rho(T)$ сырья в зависимости от температуры нагрева определяются по нижеприведенным эмпирическим формулам:

печень	$K = 24{,}1 \cdot T^{0{,}45}$;
мышечная ткань	$K = 19{,}1 \cdot T^{-0{,}0006}$;
жировая ткань	$K = 0{,}13 \cdot T^{0{,}14}$;
кровь	$K = 29{,}325 \cdot T^{-1}$;
теплоемкость непищевых отходов	$C = 3806 \cdot T^{-0{,}1}$, Дж/кг·^{o}С;
плотность	$\rho = 1213{,}8 \cdot T^{-0{,}021}$, кг/м^3.

С учетом изменения диэлектрических и физико-механических параметров сырья при нагреве в электромагнитном поле сверхвысокой частоты определяем уравнение динамики нагрева непищевых отходов убоя животных (кровь). Для этого решим дифференциальное уравнение (2.58):

$$\frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot \left(29,33 \cdot T^{-1}\right) \cdot E^2 \cdot \eta \cdot}{1213,8 \cdot T^{-0,021} \cdot 3806 \cdot T^{-0,1}} =$$

$$\frac{5,55 \cdot 10^{-11} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot E^2 \cdot 0,65 \cdot \left(29,33 \cdot T^{-1}\right)}{1213,8 \cdot T^{-0,021} \cdot 3806 \cdot T^{-0,1}} = 0,056 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \cdot T^{-0.88}.$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta \tau} = 0,056 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \cdot T^{-0,88}. \qquad (2.59)$$

$$\frac{\Delta T}{T^{-0,88}.} = 0,056 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \cdot \Delta \tau, \qquad \int \frac{dT}{T^{-0,88}} \cdot = \int 0,056 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \cdot d\tau$$

$$\int T^{0,88} \cdot dT = 0,056 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \int d\tau \qquad \int T^{0,88} \cdot dT = 0,056 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \cdot \tau + C,$$

$$T^{1,88} \cdot \frac{1}{1,88} = 0,056 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \cdot \tau + C, \qquad T^{1,88} = 0,105 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \cdot \tau + C,$$

При $\tau = 0$, $T = 15^{o}$C, тогда C = $15^{1,88} = 162,58$.

$$T^{1,88} = 0,105 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \cdot \tau + 162,58, \qquad (2.60)$$

Графики зависимости, полученные на основании данного уравнения (2.60) приведены на рис. 2.18. Динамику нагрева непищевых отходов убоя животных можно описать и эмпирическими выражениями при разных напряженностях электрического поля (3 кВ/см; 4 кВ/см; 5 кВ/см):

$$T_3 = 6,72\ \tau^{0,5}, \qquad T_4 = 5,76\ \tau^{0,49}, \qquad T_5 = 5,12\ \tau^{0,47}. \qquad (2.61)$$

Теоретические значения динамики диэлектрического нагрева непищевых отходов с 95% доверительной вероятностью совпадают с экспериментальными значениями. Экспериментальные исследования динамики нагрева непищевых отходов убоя животных (раздел 4) показывают, что при напряженности электрического поля сверхвысоких частот 5 кВ/см, сырье нагревается до 100-105°C за 4 мин. При этой температуре начинает происходить изменения структуры сырья, т. е. денатурация белка, клейстеризация крахмала и т.п.

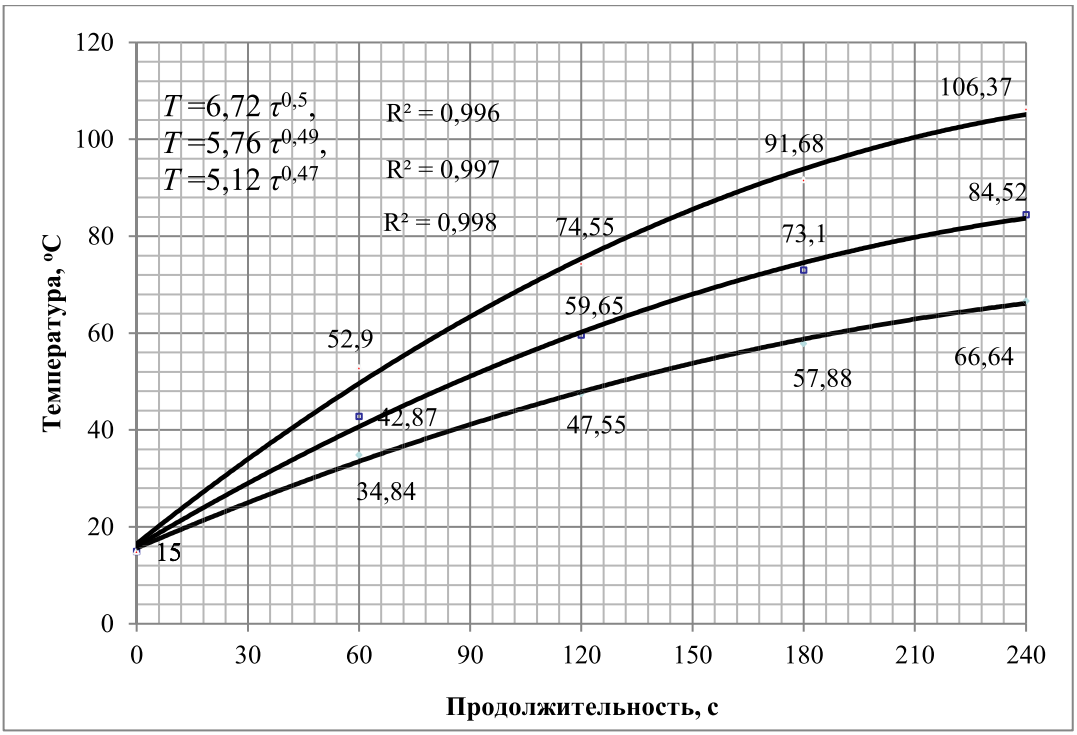


Рисунок 2.18 – Динамика нагрева непищевых отходов убоя животных при напряженностях электрического поля: 1 – 0,6 кВ/см; 2 – 1,0 кВ/см; 3 – 1,5 кВ/см

Краткое описание технологического процесса воздействия ЭМПСВЧ в разработанных установках для термообработки и обеззараживания непищевых отходов убоя животных и птиц с особенностями объемных резонаторов приведено ниже.

2.5 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ТЕРМООБРАБОТКИ СЫРЬЯ В СФЕРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРАХ СВЧ УСТАНОВОК

2.5.1 Стационарные сферические резонаторы в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки жиросодержащего сырья (патент № 2636155)

Известно, что особое место среди СВЧ элементов занимают высокодобротные резонаторы. Основные требования, предъявляемые к резонаторам: высокая собственная добротность, возможность согласования со стандартными волноводами в диапазоне перестройки без регулировки элементов связи. Над созданием новых способов повышения добротности резонаторов занимаются многие ученые. Нами разрабатывается сферический резонатор. Родионова В.Н. и Диденко А.Н. [72] предложили аналитическое выражение для расчета собственной добротности открытого резонатора со сферическими зеркалами круг-

лой формы и прямоугольного волновода на волне H_{10}. Выражение учитывает коэффициент поляризуемости, расстояние между зеркалами и радиус кривизны зеркал.

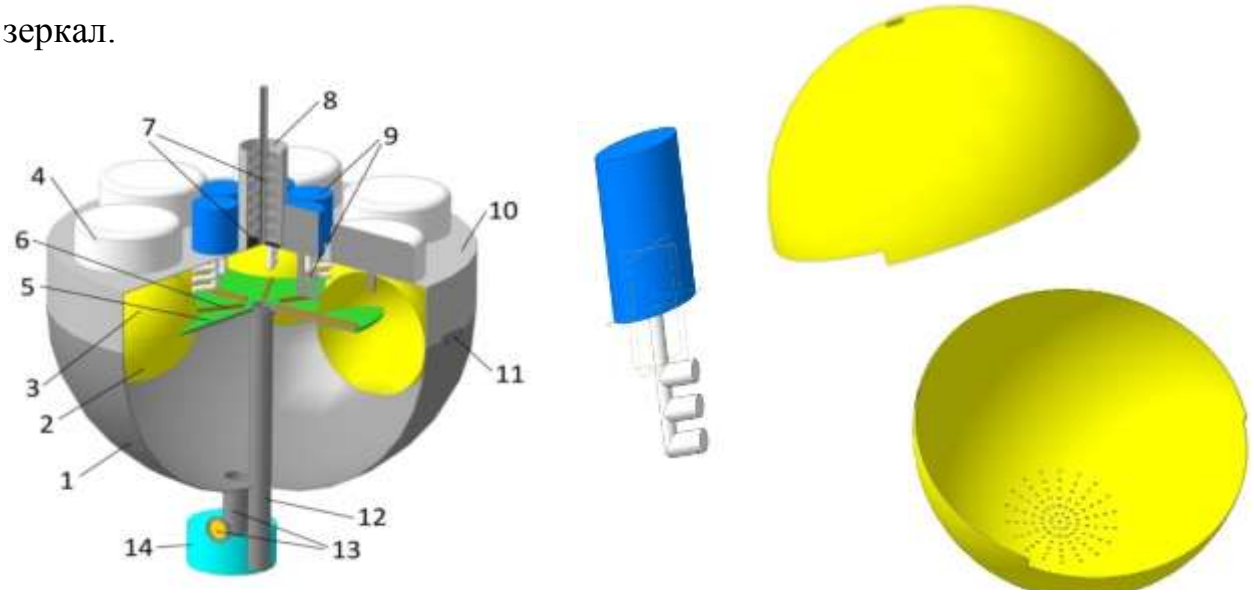


Рисунок 2.19 – СВЧ установка со сферическими перфорированными резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья: 1 – экранирующий корпус; 2 – нижние полусферы; 3 – верхние полусферы; 4 – сверхвысокочастотные генераторные блоки; 5 – диск из неферромагнитного материала; 6 – направляющие из неферромагнитного материала; 7 – измельчающий механизм (ножи, решетки, нагнетательный шнек); 8 – приемный патрубок; 9 – источники энергии килогерцовой частоты с электрогазоразрядными лампами; 10 – крышка экранирующего корпуса; 11 – шарнирные петли; 12 – вал привода диска; 13 – сливной патрубок с вентилем; 14 – шестеренчатый насос

Установка (рис. 2.19) содержит внутри экранирующего корпуса, жестко закрепленные сферические перфорированные резонаторы, собранные из двух полусфер, куда направлены излучатели от СВЧ генераторов, установленных на крышку экранирующего корпуса, глубина которой равна радиусу полусферы.

Причем через центр основания цилиндрической крышки экранирующего корпуса в рабочую камеру направлен измельчающий механизм волчка, вокруг которого внутри крышки установлены электрогазоразрядные лампы, запитанные от генераторов килогерцовой частоты. При этом по центру полусферического экранирующего корпуса установлен неферромагнитный диск так, что его край находится внутри сферических резонаторов, где на стыке полусфер имеется прорезь размером больше, чем толщина диска с радиально направляющими и сырьем. Причем экранирующий корпус содержит сливной патрубок, соединенный с перекачивающим насосом [161, 167].

Преимущества: радиогерметичность обеспечивают запредельные волноводы; высокая собственная добротность сферических резонаторов; термообработка и обеззараживание *предварительно измельченного сырья* за счет комплексного воздействия ЭМП килогерцовой и сверхвысокой частоты; удельные энергетические затраты 0,124 кВт·ч/кг.

2.5.2 Вращающийся сферический резонатор в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки сырья (патент № 2660906)

СВЧ установка (рис. 2.20) со сферическим резонатором для термообработки сырья животного происхождения в непрерывном режиме содержит в сферическом экранирующем корпусе 1 вращающийся сферический резонатор 4 с пластинчатым диэлектрическим сегментом 5 в верхней части. Верхние части экранирующего корпуса и резонатора максимально приближены друг другу. Они имеют соосные отверстия для закрепления приемного патрубка 7 и диэлектрического вала 3. Диаметр сферического резонатора согласован с длиной волны. Сверху корпуса установлены измельчитель с загрузочной емкостью 9 и нагнетательным шнеком 8, а также СВЧ генераторы 6. Излучатели направлены внутрь вращающегося резонатора равномерно по периметру диэлектрического пластинчатого сегмента 5. Резонатор перфорирован или имеет щели, размеры отверстий перфорации и щелей согласованы с размерами частиц готовой продукции.

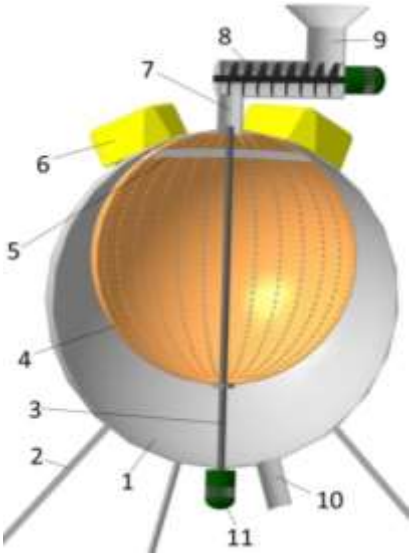


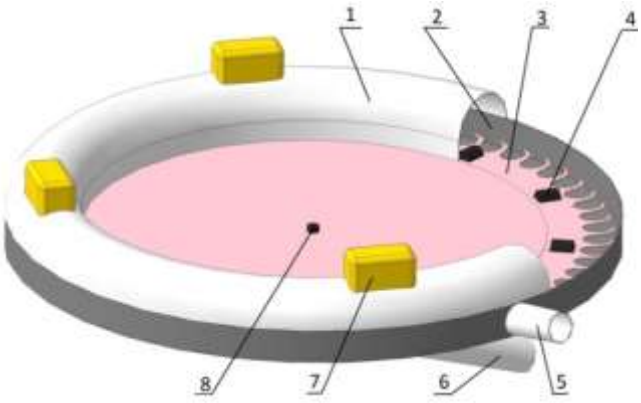
Рисунок 2.20 – СВЧ установка непрерывно-поточного действия со сферическим резонатором для термообработки сырья: 1 – сферический экранирующий корпус; 2 – монтажный каркас; 3 – вал диэлектрический для привода резонатора; 4 – сферический резонатор; 5 – диэлектрический пластинчатый сегмент (поверхность между параллелями сферической поверхности); 6 – СВЧ генератор; 7 – приемный патрубок; 8 – нагнетательный шнек; 9 – зарузочный патрубок; 10 – выгрузной патрубок; 11 – электродвигатель для привода резонатора

Преимущества: радиогерметичность, высокая собственная добротность сферического резонатора. *Недостатки:* потери мощности потока излучений через перфорацию и диэлектрический шаровой пояс.

2.6 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ТЕРМООБРАБОТКИ СЫРЬЯ В ТОРОИДАЛЬНЫХ РЕЗОНАТОРАХ СВЧ УСТАНОВОК

2.6.1 Тороидальный резонатор с ячеистым ротором в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки сырья (патент № 2629159)

СВЧ установка содержит тороидальный резонатор с цилиндрическим основанием и со щелью по его внутреннему периметру, размером менее четверти длины волны, и средним периметром, равным кратной половине длины волны (рис. 2.21). Над цилиндрическим основанием соосно установлен ротор, радиопрозрачная периферийная часть которого, содержащая ячейки, расположена внутри тора с полукруглым поперечным сечением, а над центральной частью ротора установлен экранирующий диск. Геометрию тороидального резонатора выбираем исходя из длины волны в центре зоны генерации. Передвижение сырья в тороидальном резонаторе обеспечивает ротор. При этом происходит многократное воздействие ЭМПСВЧ со скважностью менее чем 0,5.



Преимущества: высокая равномерность нагрева сырья в ячейках ротора и возможность обеспечения высокой напряженности ЭП.

Рисунок 2.21 – СВЧ установка с тороидальным резонатором и ячеистым ротором для термообработки сырья (без экранирующего диска): 1, 2 – верхняя и нижняя части тороидального резонатора; 3 – периферийная часть ротора с ячейками, выполненная из радиопрозрачного материала; 4 – опорные ролики; 5, 6 – патрубки для загрузки сырья и выгрузки продукта (запредельные волноводы); 7 – СВЧ генераторы; 8 – центральная часть ротора из неферромагнитного материала, над которой прикреплен съемный неферромагнитный диск (не показан), ограничивающий излучение через щель по внутреннему периметру тора

2.6.2 Квазистационарный тороидальный резонатор в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для высокотемпературного формования сырья (патент № 2703944)

На базе теории квазистационарного тороидального резонатора [18] разработана установка для высокотемпературного формования непищевых отходов убоя животных в процессе воздействия ЭМПСВЧ (рис. 2.22). Ее рекомендуется

использовать при производстве гранулированного белкового продукта из обезвоженных непищевых отходов животного происхождения. Установка содержит тороидальный резонатор. Он выполнен в виде двух коаксиально расположенных двух цилиндров. Нижним основанием наружного цилиндра служит матрица из неферромагнитного материала с множеством отверстий. Нижним основанием внутреннего цилиндра служит неферромагнитная решетка. Размеры кольцевого пространства, между цилиндрами и зазора между решеткой и вращающейся матрицей согласованы с длиной волны. При этом зазор между ними меньше, чем радиус решетки. В зазоре, над вращающейся матрицей, установлены диэлектрические прижимные ролики с ребристой поверхностью, расположенные на оси. Верхнее основание наружного цилиндра закрыто кольцевой поверхностью. Во внутреннем цилиндре находится измельчающее устройство. Под матрицей установлен стационарный нож. Данный резонатор относится к квазистационарному тороидальному резонатору, позволяющему сохранить высокую собственную добротность при малом промежутке в центральной части (конденсаторной части) при достаточно большом объеме.

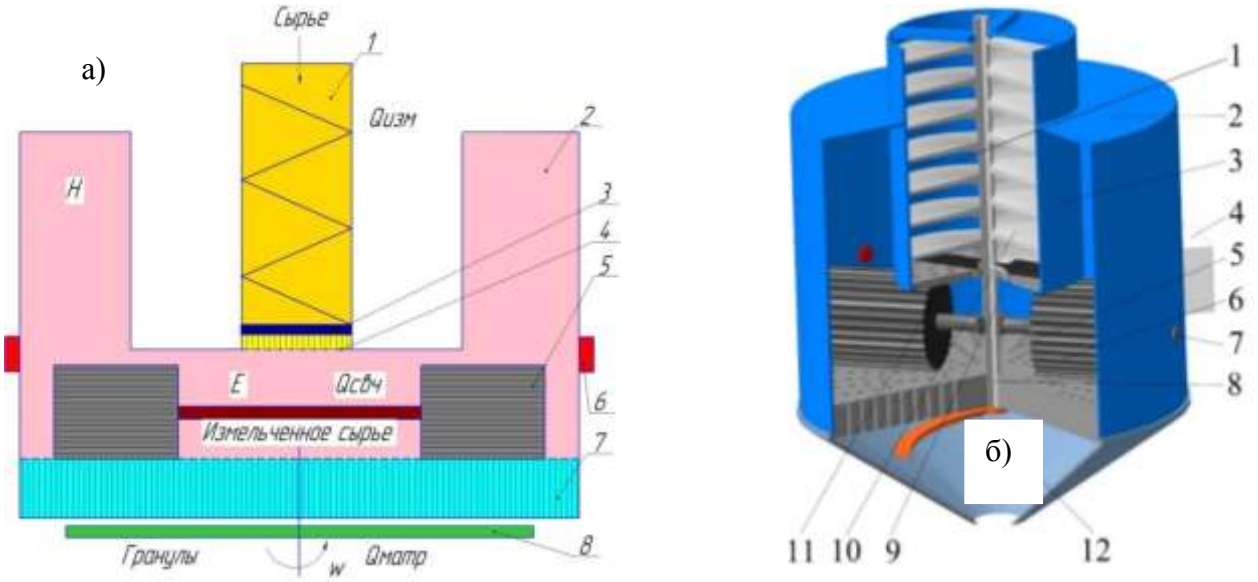


Рисунок 2.22 – Схема процесса высокотемпературного формования непищевых отходов в тороидальном резонаторе при вращающемся диске-матрице: а) 1– измельчитель; 2 – тороидальная часть; 3, 4 – нож и решетка; 5 – прижимные ролики; 6 – магнетроны; 7 – вращающаяся матрица; 8 – нож для срезания гранул; б) 1, 10 − измельчитель; 2 − резонатор; 3 − тороидальная часть; 4 − магнетрон; 5 – решетка; 6, 11 – ролики; 7 , 8 − валы; 9 – нож

2.7 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ТЕРМООБРАБОТКИ СЫРЬЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРАХ СВЧ УСТАНОВОК

2.7.1 Передвижные цилиндрические резонаторы в СВЧ установке для термообработки отходов убоя птиц и животных в периодическом режиме (патент № 2629259)

СВЧ установка для варки отходов убоя птицы и животных содержит внутри горизонтально расположенного цилиндрического экранирующего корпуса перфорированный диск-ротор из неферромагнитного материала, вращающийся от электродвигателя (рис. 2.23). На диск-ротор по периферии жестко закреплены цилиндрические открытые резонаторы с перфорированными основаниями, внутри которых с помощью фиксаторов установлены съемные термостойкие диэлектрические контейнеры с перфорированными крышками. При этом внутренняя поверхность контейнеров покрыта силиконовым материалом, а на открывающейся крышке экранирующего корпуса вмонтированы СВЧ генераторные блоки так, что излучатели направлены внутрь резонаторов, причем на основании экранирующего корпуса имеется сливной патрубок. В качестве объемных резонаторов использованы передвижные цилиндры, высотой равной целому числу полуволн..

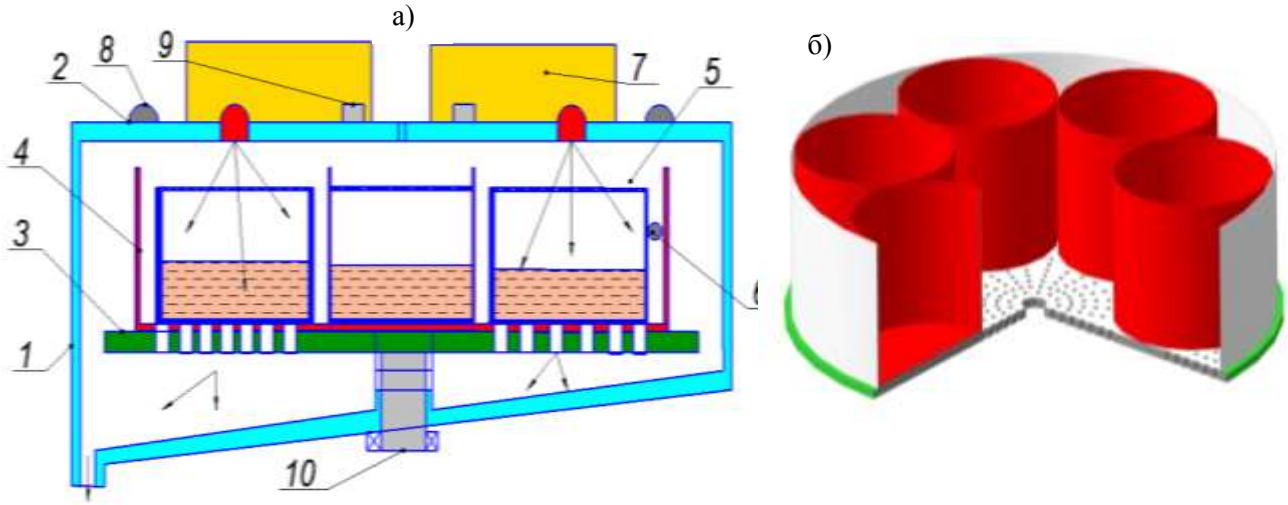


Рисунок 2.23– СВЧ установка для варки отходов убоя птицы и животных:
а) схематическое изображение; б) цилиндрические резонаторы на диске-роторе; 1 – экранирующий корпус; 2 – открывающаяся крышка корпуса; 3 – перфорированный диск-ротор; 4 – цилиндрические резонаторы с перфорированными основаниями; 5 – цилиндрические диэлектрические контейнеры с перфорированными крышками и силиконовым покрытием; 6 – фиксаторы контейнеров (не показан); 7 – СВЧ генераторные блоки; 8 – шарнирные петли; 9 – ручки на крышке корпуса; 10 – вал, закрепленный на опорный диск

В случае если отношение высоты к диаметру меньше 2,03, основным колебанием является E_{010}, а если больше 2,03, то H_{111}. Выбор основного колебания зависит от назначения резонатора. Резонансная частота не зависит от высоты резонатора.

Преимущества: отделение жидкости от твердых частиц сырья, равномерный нагрев сырья за счет перемешивания при передвижении контейнеров с высокой скоростью.

2.7.2 Поярусно расположенные цилиндрические щелевые резонаторы в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки непищевых отходов животного происхождения (патент № 2661372)

Многоярусная СВЧ установка (рис. 2.24) содержит монтажный стол 1 на котором по ярусно расположены цилиндрические экранирующие корпусы 2, 5, 9. Внутри корпусов соосно установлены цилиндрические перфорированные резонаторы 2, 6, 10 с разными диаметрами. Основания резонаторов выполнены в виде тёрочных дисков 8, 11 с разными диаметрами, закрепленных на вертикально расположенный вал 4. Причем круглая поверхность стола 1 служит нижним основанием цилиндрического резонатора 6 нижнего яруса, а над поверхностью расположен перемешивающий механизм 3, закрепленный на вал 4.

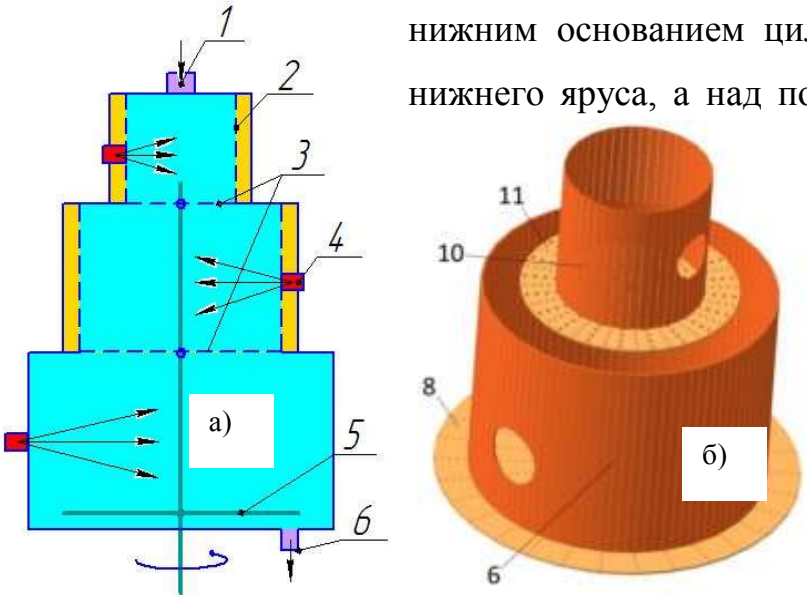


Рисунок 2.24 – Многоярусная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для термообработки влажного сырья: а) схематическое изображение; б) пространственное изображение резонаторов (не все номера приведены; 6, 10 – перфорированные цилиндрические резонаторы соответствующих ярусов; 8 –вращающийся перфорированный диск; 11 – вращающийся диск в виде терки); б) схема многоярусных цилиндрических резонаторов: 1 – загрузочный патрубок; 2 – цилиндрический резонатор; 3,5 – диски; 4 – магнетрон; 6 – выгрузной патрубок

Нижними основаниями резонаторов 6,10 являются терочные диски 8, 11, диаметры которых больше диаметров резонаторов 6, 10 соответствующих вышерасположенных ярусов. С боковой поверхности каждого экранирующего корпуса 2, 5, 9 установлены СВЧ генераторы 7, 12, 14, излучатели которых направлены в перфорированные цилиндрические резонаторы 2, 6, 10 через диэлектрические вставки. На верхнем основании экранирующего корпуса 9 первого яруса установлен измельчающий механизм 13 с нагнетательным шнеком и загрузочной емкостью.

Преимущества: поярусное обезвоживание предварительно *измельченного сырья* за счет центробежной силы; равномерная термообработка и обеззараживание при разных дозах воздействия по ярусам в процессе дополнительного *измельчения и обезвоживания;* удельные энергетические затраты 0,12-0,137 кВт·ч/кг.

2.7.3 Цилиндрические вращающиеся щелевые резонаторы в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки непищевых отходов убоя животных (патент № 2671712)

СВЧ установка для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме содержит на монтажном каркасе рабочую камеру с механизмом фиксации и регулирования ее угла наклона (рис. 2.25). Рабочая камера представлена в виде закрытого экранирующего корпуса, внутри которого по поперечному сечению параллельно установлены вращающиеся от электродвигателей цилиндрические резонаторы, удерживающиеся на диэлектрических осях и ободках, прикрепленных к экранирующему корпусу с внутренней стороны. Боковые поверхности цилиндрических резонаторов образованы витками безосевых шнеков так, что сечение витков представлено как лезвия ножа. На неферромагнитные основания каждого цилиндрического резонатора по периферии установлен ведомый венец, входящий в зацепление с ведущей шестерней, установленный на вал соответствующего электродвигателя, причем со стороны диэлектрических оснований резонаторов на экранирующий корпус установлены СВЧ генераторные блоки так, что излучатели направлены через ди-

электрические подшипники в сторону резонаторов.

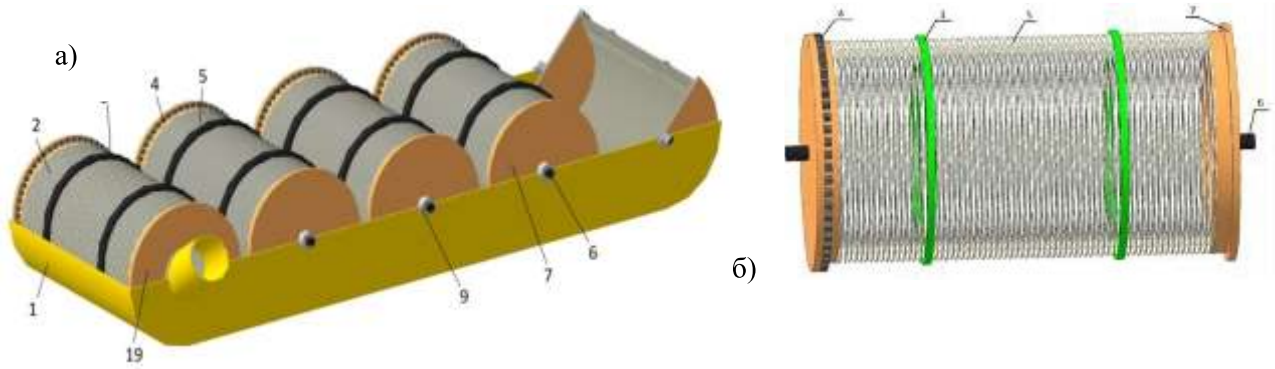


Рисунок 2.25 – СВЧ установка для термообработки непищевых отходов убоя животных а) щелевые резонаторы в корпусе; б) щелевой резонатор с зубчатым венцом; 1 – экранирующий корпус, состоящий из двух частей; 2 – цилиндрический резонатор; 3 – направляющие диэлектрические ободки; 4 – венец, опоясывающий резонатор; 5 – боковая поверхность цилиндрического резонатора, образованная из витков безосевого шнека; 6 – диэлектрическая ось; 7 – диэлектрическое основание резонатора; 8 – сверхвысокочастотные генераторные блоки; 9 – диэлектрические подшипники; 10 – патрубок для подачи сырья; 11 – ведущая шестерня; 12 – электродвигатели для вращения резонаторов; 13 – виток шнека в виде лезвии ножа, 14 – мелкоячеистый фильтр; 15 – механизм для фиксации и изменения угла наклона рабочей камеры; 16 – каркас для монтажа установки; 17 –перфорация, 18 – патрубок для выгрузки продукта; 19 – диэлектрическое основание первого резонатора с отверстием для подачи сырья; 20 – смотровое окно.

Патрубок для загрузки сырья пристыкован к диэлектрическому основанию первого резонатора, под которым на дне экранирующего корпуса имеется мелкоячеистый фильтр, а под последним резонатором дно экранирующего корпуса перфорировано, куда пристыкован выгрузной патрубок.

Преимущества: вариативность производительности установки; тонкое *измельчение и обезвоживание сырья* в процессе термообработки и транспортировки; удельные энергетические затраты 0,145-0,165 кВт·ч/кг.

Теоретические аспекты. Известно, что уменьшить потери на излучение удается в линии передачи типа «витая пара» [100]. Это разновидность двухпроводной линии, в которой проводники в диэлектрической изоляции скручены между собой. Волновое сопротивление такой линии может быть рассчитано по формуле для двухпроводной линии, в которой вместо относительной диэлектрической проницаемости среды находят значение $\varepsilon_{эф}$, которое зависит от числа

витков на единицу длины линии. Пользуясь данной методикой, приблизительно вычисляли волновое сопротивление безосевого виткового шнека в сырье по формуле: $R = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon_{эф}}} \ln\left(\frac{D}{d}\right)$, (2.62)

где $\varepsilon_{ф} = 1 + q \cdot (\varepsilon_r - 1)$; $q = 0,25 + 0,0004 arctg^2 (\pi \cdot D \cdot k)$; k – количество витков (65 шт.); D – диаметр витка шнека (0,2448 м); ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость сырья (46, 3 при частоте 2450 МГц).

где $\varepsilon_{ф} = 1 + q \cdot (\varepsilon_r - 1) = 1 + 0,25 \cdot (46,3) = 12,575$;

$q = 0,25 + 0,0004 arctg^2 (\pi \cdot 0,2448 \cdot 65) = 0,25$;

$$R = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon_{эф}}} \ln\left(\frac{D}{d}\right) = \frac{120}{\sqrt{12,575}} \cdot \ln\left(\frac{0,2448}{0,01}\right) = 108\ Ом. \quad (2.63)$$

2.7.4 Шнековый резонатор в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки сырья (патент 20679203)

СВЧ установка (рис. 2.26) содержит внутри цилиндрического экранирующего корпуса, состоящего из двух половинок, установленного в горизонтальной плоскости на монтажную стойку, шнек со сплошной винтовой поверхностью вдоль продольной оси из неферромагнитного материала и с фторопластовым валом, диаметр витков и шаг между ними равен кратной половине длины волны. С одной торцевой стороны экранирующего корпуса установлен загрузочный патрубок, а с другой – выгрузной люк.

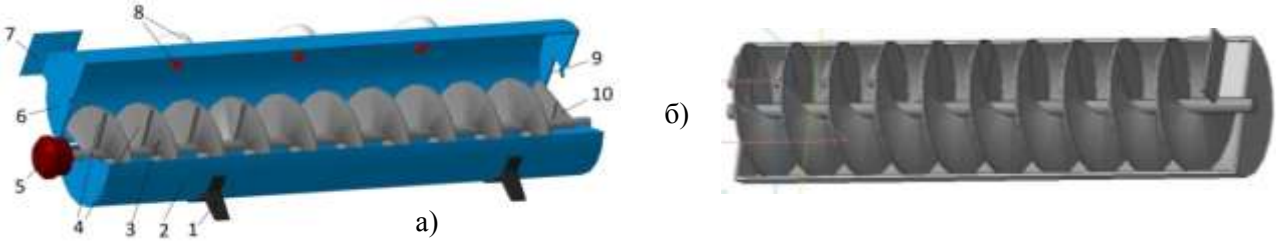


Рисунок 2.26 – СВЧ установка с шнековым резонатором для термообработки непищевого сырья животного происхождения: а) установка в разрезе; б) шнек;
1 – монтажная стойка, 2 – нижняя часть экранирующего корпуса, 3 – шнек, 4 – направляющие пластины, 5 – электропривод, 6 – верхняя часть экранирующего корпуса, 7 – загрузочный патрубок, 8 – СВЧ генератор с излучателем, 9 – люк для выгрузки готовой продукции, 10 – перфорированный латок, обеспечивающий выгрузку продукта

На винтовой поверхности каждого витка шнека имеется направляющая пластина, а в конце шнека установлен перфорированный лоток, при этом на

наружную поверхность вдоль верхней части экранирующего корпуса установлены СВЧ генераторные блоки так, что излучатели направлены внутрь резонаторов, образованных между витками шнека.

При работе нескольких магнетронов в данной конструкции открываются новые возможности для улучшения использования СВЧ энергии. Так, например, если генерируемые частоты несколько отличны друг от друга, то можно получить более равномерное распределение плотности СВЧ энергии по объему, в котором происходит технологический процесс. Поля различных видов колебаний, если они возбуждены от одного генератора с фиксированной длины волны, могут в различных точках объема резонатора интерферировать. Поэтому суммарное поле может быть существенно неравномерным и следовательно надо решить задачу оптимизации, т.е. выбрать такие размеры и конфигурации резонатора, при которых в нем интерференция волн давала бы более равномерное поле по объему. Для реализации такой задачи предложен резонатор с несколькими магнетронами и неферромагнитным шнеком внутри, винтовая поверхность которого равномерно распределяет отраженные волны.

Преимущества: равномерный нагрев с соблюдением скважности технологического процесса, равной 0,5, для выравнивания давления и температуры в сырье; *дополнительное измельчение* в процессе термообработки; удельные энергетические затраты 0,15-0,166 кВт·ч/кг.

2.7.5 Коаксиальный резонатор в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки сырья в процессе измельчения (патент № 2671710)

Через центральное отверстие диска 6 проходит нижний конец вала 5. Диск 6 с терочным неферромагнитным цилиндром 4 вращается с помощью электродвигателя. К корпусу 2 прикреплены амортизационные пружины. Излучатели от СВЧ генераторов направлены в цилиндрический резонатор, исполненный в виде терки, выполняющий функцию коаксиального резонатора из-за имеющего по центру вала 7. Патрубок 3 для присоединения пневмотранспора с циклоном-разгрузителем расположен на боковой поверхности корпуса. Под нижним основанием корпуса установлен шатунный механизмом.

Установка (рис. 2.27) представляет собой цилиндрический экранирующий корпус 2, внутри которого соосно расположен неферромагнитный цилиндр 4, выполненный в виде терки. Цилиндр 4 жестко установлен на диск 6, образуя ротор. Амортизационные пружины, удерживающие корпус, прикреплены к стойкам 1. Измельченное сырье до определенных размеров проходит через боковую поверхность резонатора 4, накапливается в узком кольцевом пространстве, откуда через выгрузной патрубок 3 транспортируется за счет вытяжного вентилятора в циклон-разгрузитель.

Преимущества: возможность создания высокой напряженности ЭП для обеззараживания и термообработки при тонком *измельчении сырья*; обеспечение электромагнитной безопасности; удельные энергетические затраты 0,14-0,15 кВт·ч/кг.

а) б)

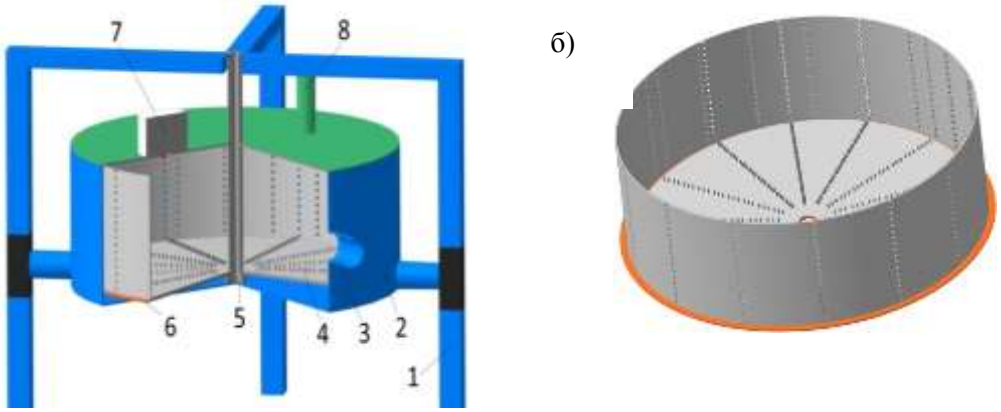


Рисунок 2.27 – СВЧ установка с коаксиальным резонатором для термообработки сырья в процессе измельчения: а) общий вид; б) цилиндрический щелевой резонатор; 1 – монтажная стойка; *2* – цилиндрический экранирующий корпус; 3 – выгрузной патрубок для присоединения пневмотранспора с циклоном-разгрузителем; 4 – неферромагнитный цилиндр в виде терки; 5 – вал для привода неферромагнитного цилиндра и диска (ротора); 6 – диск; 7 – СВЧ генераторы; 8 – патрубок для приема сырья

Определим энергию, которая может быть накоплена в коаксиальном резонаторе с размерами d = 3,08 см, D = 48,96 см, l = 36,72 см, на основном типе колебаний. Известно, что максимально допустимая напряженность электрического поля E_{max} = 15 кВ/см, а электрическое поле основной волны в коаксиальном резонаторе имеет только радиальную составляющую [175,178, 194].

$$W = \frac{\pi}{2} \cdot \varepsilon_a \cdot A^2 \cdot l \cdot \ln \frac{D}{d}, \quad A = \frac{d}{2} \cdot E_{\max}, \tag{2.64}$$

С учетом того, что максимальная напряженность электрического поля существует в середине коаксиального резонатора, т. е при *d*/2.

$$W = \frac{\pi}{8} \cdot \varepsilon_a \cdot E_{\max}{}^2 \cdot d \cdot l \cdot \ln \frac{D}{d}, \tag{2.65}$$

$$W = \frac{\pi}{8} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot (14 \cdot 10^5)^2 \cdot 3,08 \cdot 10^{-2} \cdot 36,72 \cdot 10^{-2} \cdot \ln \frac{48,96}{3,08} = 0,213 \ \textit{Дж}.$$

Объемный резонатор представляет собой кольцевую полость. Размеры изготовленного резонатора: D = 367,2 мм, d = 36,7 мм, L = 367,72 мм. Вычислим, какой тип колебаний в резонаторе является основным, изобразим картину силовых линий электрического поля и определим резонансную частоту каждого основного типа колебаний. В рассматриваемом резонаторе низшими типами являются колебания, имеющие наиболее простую структуру поля. Это тип колебания T_1 коаксиального резонатора и колебание типа $E_{010.}$ Резонансная частота колебаний типа T_1 – 2450 МГц. Для нахождения резонансной частоты колебаний типа E_{010} необходимо решить уравнение Гельмгольца относительно продольной составляю щей электрического поля E_z.

2.8 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ТЕРМООБРАБОТКИ СЫРЬЯ В КОНИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРАХ СВЧ УСТАНОВОК

2.8.1 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с ячеистыми барабанами для термообработки сырья (патент № 2671714)

СВЧ установка с ячеистыми барабанами (рис. 2.28) содержит экранирующий корпус 4, внутри которого на валу 12 расположены неферромагнитные пустотелые ячеистые барабаны 1 с продольными неферромагнитными отсеками 9. Отсеки имеют поперечные радиопрозрачные ячейки 8 шириной не более двух глубин проникновения электромагнитного поля сверхвысокой частоты. Ширина, длина и глубина неферромагнитных отсеков согласованы с длиной волны. Под ячеистыми барабанами имеется ванна 3, обеспечивающая полное погружение неферромагнитного отсека по горизонтальной оси. К ванне пристыкован измельчитель. У боковой поверхности ячеистых барабанов, ниже их горизонтальной оси, установлены на валу

12 радиопрозрачные скребковые валки 6, так что их пластинчатые скребки 7 по горизонтальной оси погружены в соответствующие радиопрозрачные ячейки 8. Вращения ячеистых барабанов и радиопрозрачных валков 6, передаваемые через клиноременную передачу и редуктор от электродвигателя, направлены навстречу друг другу. Под радиопрозрачными валками 6 установлена выгрузная емкость 5 для термообработанной продукции.

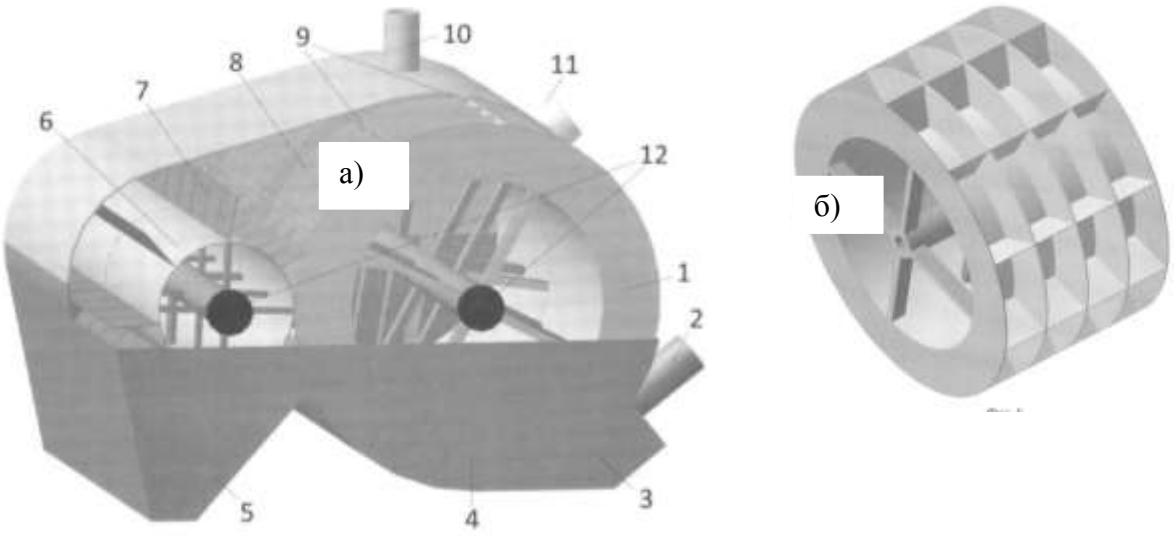


Рисунок 2.28 – СВЧ установка с ячеистыми барабанами: а) общий вид; б) резонатор; 1 − ячеистые барабаны; 2 – измельчитель; 3 − ванна для вязкого сырья; 4 − экранирующий корпус; 5 − выгрузная емкость для термообработанной продукции; 6 − радиопрозрачные скребковые валки; 7 − пластинчатый скребок из фторопласта; 8 − ячейки из радиопрозрачного материала; 9 − отсеки из неферромагнитного материала; 10 − вытяжные вентиляторы; 11 − сверхвысокочастотные генераторы; 12 − валы для электропривода ячеистых барабанов 1 и радиопрозрачных скребковых валков 6

Вдоль боковой поверхности экранирующего корпуса 4, в месте, где до ячеистых барабанов минимальный зазор, установлены сверхвысокочастотные генераторы 11 так, что излучатели направлены в неферромагнитные отсеки, выполняющие функции объемных резонаторов. На экранирующем корпусе предусмотрены вытяжные вентиляторы 10 и люк.

Преимущества: возможность создания высокой напряженности ЭП в отсеках; равномерная термообработка и обеззараживание предварительно *измельченного сырья* при перемещении в ячейках; удельные энергетические затраты 0,15-0,16 кВт·ч/кг.

2.8.2 Вращающиеся конические перфорированные резонаторы в многомодульной СВЧ установке для обезвоживания и термообработки сырья животного происхождения (патент № 2694179)

Многомодульная центробежная СВЧ установка (рис. 2.29) для термообработки сырья животного происхождения и отделения жидкой фракции содержит внутри цилиндрического экранирующего корпуса, по периферии рабочие камеры, каждая из которых состоит из верхней и нижней части.

Верхняя часть камеры из неферромагнитного материала представлена как соосно состыкованные периметрами большого и малого диаметров усечённые конические корпуса. Во внутреннем усеченном коническом корпусе к образующей пристыкована усеченная коническая часть резонатора, выполненная в виде терки с внутренней насечкой, а также установлен измельчающий механизм от волчка. В нижней части рабочей камеры соосно расположены тарелка и поддон в виде усеченных конусов, и установленных на вал электродвигателя. Образующая диэлектрической тарелки имеет прорези, а к кольцевому основанию неферромагнитного поддона, расположенного под наклоном, пристыкован сливной патрубок, и по центру имеется подставка в виде усеченного цилиндра, куда горизонтально установлена диэлектрическая тарелка с ребрами жесткости. В тарелку уложена и закреплена с помощью зажимного винта дисковая терка, как основание конического резонатора. Через нижнее основание цилиндрического экранирующего корпуса проходят валы индивидуальных электродвигателей, смонтированных на каркас. Сливные патрубки от всех рабочих камер направлены к центру корпуса, где расположена емкость для приема жидкой фракции, а емкости для твердой фракции пристыкованы к образующей корпуса с наружной стороны в тех местах, где на верхних краях поддонов имеются вырезы.

Преимущества: вариативность производительности установки, *измельчение и обезвоживание* сырья при термообработке с обеспечением электромагнитной безопасности за счет запредельных волноводов и усеченных конических резонаторов; удельные энергетические затраты 0,112-0,16 кВт·ч/кг при производительности установки 70-100 кг/ч.

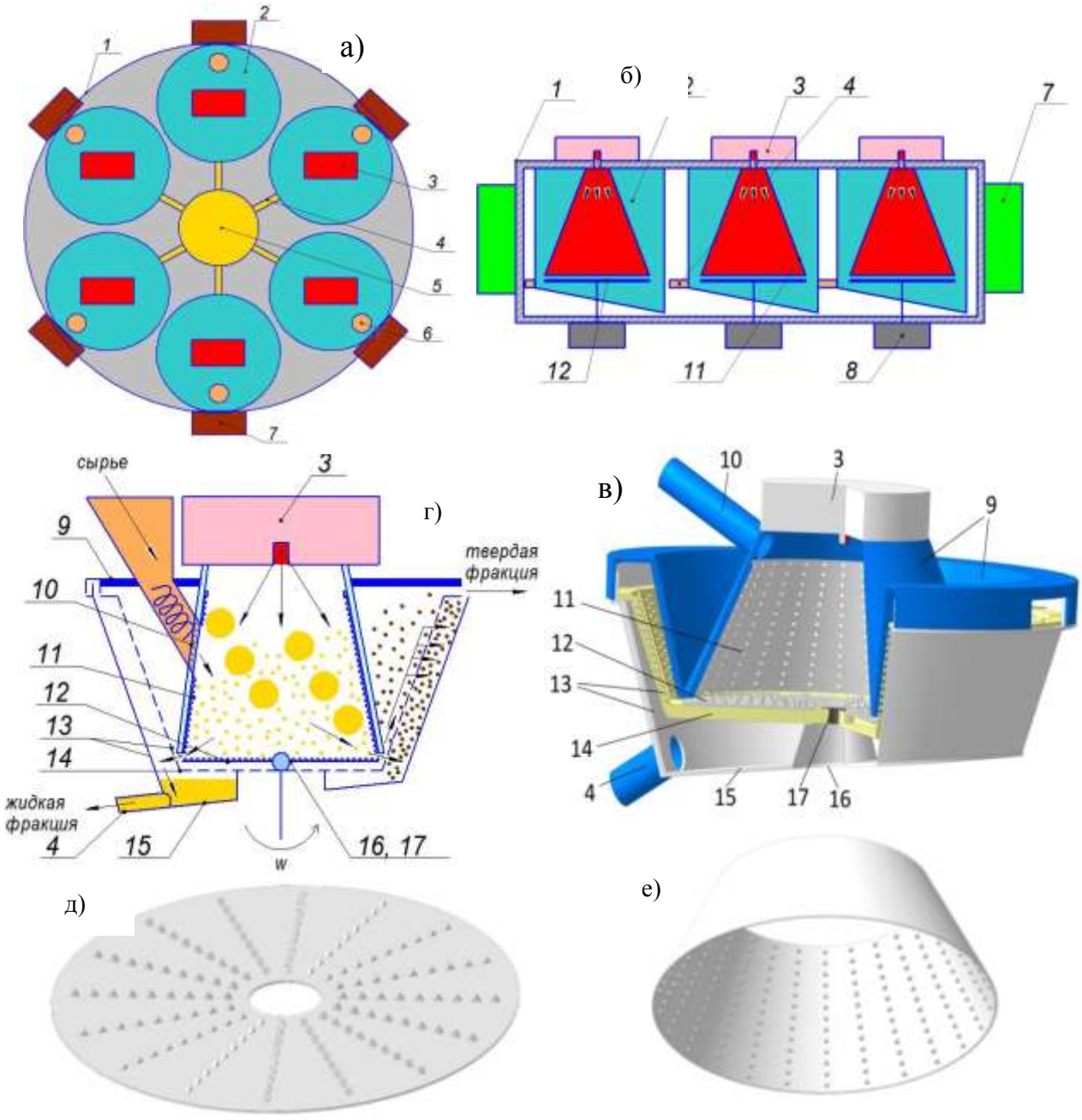


Рисунок 2.29 – Многомодульная центробежная СВЧ установка для обезвоживания, термообработки сырья и отделения жидкой фракции: а) вид сверху; б) вид спереди; в) пространственное изображение одного модуля; г) схема рабочего процесса; е) коническая часть резонатора; д) дисковая часть резонатора; 1– цилиндрический экранирующий корпус; 2 – рабочие камеры; 3 – СВЧ генераторные блоки; 4 – сливные патрубки; 5 – емкость для жидкой фракции; 6 – измельчители «Волчок»; 7 – емкости для твердой фракции; 8 – электродвигатели; 9 – верхняя часть рабочей камеры; 10 – измельчающий механизм (нож и решетка, нагнетательный шнек); 11 – конические части резонаторов; 12 – дисковые части резонаторов; 13 – нижняя часть рабочей камеры; 14 – коническая тарелка из диэлектрического материала; 15 – поддон конический из неферромагнитного материала; 16 – отверстие для фиксатора тарелки и диска, выполненные в виде терки; 17 – отверстие для вала электродвигателя

Известно, что в диапазоне сантиметровых волн основными параметрами резонатора являются резонансная частота ω_0 собственная добротность Q_0 и активная проводимость G, являющаяся мерой активных потерь в резонаторе. При разработке СВЧ установок необходимо конструировать объемные резонаторы так, чтобы значение характеристического сопротивления было как можно больше, т.е. при данной резонансной частоте необходимо стремиться уменьшить емкость и увеличить индуктивность. При этом потери СВЧ энергии в резонаторе, идущие на нагрев стенок уменьшаются, а КПД установки увеличивается. Отсутствие потерь на излучение и малая величина потерь в стенках приводит к тому, что резонаторы имеют высокую собственную добротность. Энергетическое определение добротности показывает превышение энергии, накопленной в системе над энергией, теряемой за один период колебаний [13]. Собственную добротность резонатора, выполненного в виде усеченного конуса, нижним основанием которого служит вращающийся терочный диск, можно приблизительно рассчитать. Это удвоенное отношение объема, в котором запасается энергия ЭМП, к объему, в котором она расходуется, т.е. к объему, занимаемому поверхностным слоем во всех стенках резонатора [183], (2.66).

Площадь поверхности усеченного конуса $S = \pi \cdot \left[r_1^2 + \left(r_1 + r_2 \right) \cdot l + r_2^{\,2} \right]$.

где r_1 – радиус верхнего основания (7,25 см), м; r_2 – радиус верхнего основания (8,75 см), м; l –образующая (7,6 см), м.

$$S = 3{,}14 \cdot \left(0{,}0725^2 + \left(0{,}0725 + 0{,}0875 \right) \cdot 0{,}085 + 0{,}0875^2 \right) = 0{,}08325 м^2.$$

Объем усеченного конуса:

$$V = \frac{\pi}{3} \cdot h \cdot \left[r_1^2 + \left(r_1 \cdot r_2 \right) + r_2^{\,2} \right] =$$

$$\frac{3{,}14}{3} \cdot 0{,}076 \cdot \left[0{,}0725^2 + \left(0{,}0725 \cdot 0{,}0875 \right) + 0{,}0875^2 \right] = 0{,}001532 м^3.$$

Собственная добротность резонатора с учетом потерь энергии через щели резонатора (K):

$$Q = \frac{2 \cdot V}{S \cdot \Delta} \cdot K = \frac{0{,}001532}{0{,}08325 \cdot 1{,}716 \cdot 10^{-6}} \cdot 0{,}7 = 7500. \qquad (2.66)$$

где V – объем резонатора, м^3; S – площадь внутренней поверхности стенок резонатора, м^2; Δ – толщина поверхностного слоя, м (1,716 мкм); K – геометриче-

ский множитель, учитывающий снижение добротности резонатора за счет щелей.

Исследования показывают, что уменьшение высоты резонатора не влияет на его резонансную частоту, но сильно уменьшает его добротность. Реальное значение собственной добротности резонатора будет ниже расчетного на 25-30 % из-за шероховатости поверхности резонатора и дополнительных потерь энергии через щели (радиационные потери, т.е. радиационная добротность, учитывающая потери на излучение).

2.8.3 Биконический резонатор со шнеком в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки отходов убоя животных (патент № 2729151)

Известны открытые биконические резонаторы, используемые для повышения радиационной добротности [69, 92]. Характерной особенностью биконического резонатора является наличие в резонансном объеме областей с резко выраженным экспоненциальным законом изменения электромагнитного поля. Наличие областей с таким распределением поля позволяет удалить часть поверхности без существенных потерь добротности для некоторых типов колебаний и тем самым реализовать открытую резонансную систему. Соответствующим выбором угла при вершине конуса можно сформировать электромагнитное поле, сконцентрированное в основном в центральной области резонатора, а это способствует повышению добротности резонатора [69, 70]. Для повышения радиационной добротности используются открытые резонаторы, сечение которых уменьшается от центра к краям. Вблизи тех сечений, для которых выполняются критические условия, образуются поверхности, где наблюдается практически полное отражение волн. Поскольку эти поверхности находятся внутри резонатора, излучение из открытых концов значительно уменьшается. Излучатели СВЧ энергии расположены в области максимального диаметра резонатора, т.е. оснований конусов. СВЧ установка (рис. 2.31) с биконическим резонатором обладает достаточно высокой собственной добротностью, радиогерметичностью, где можно возбудить электрическое поле высокой напряженности.

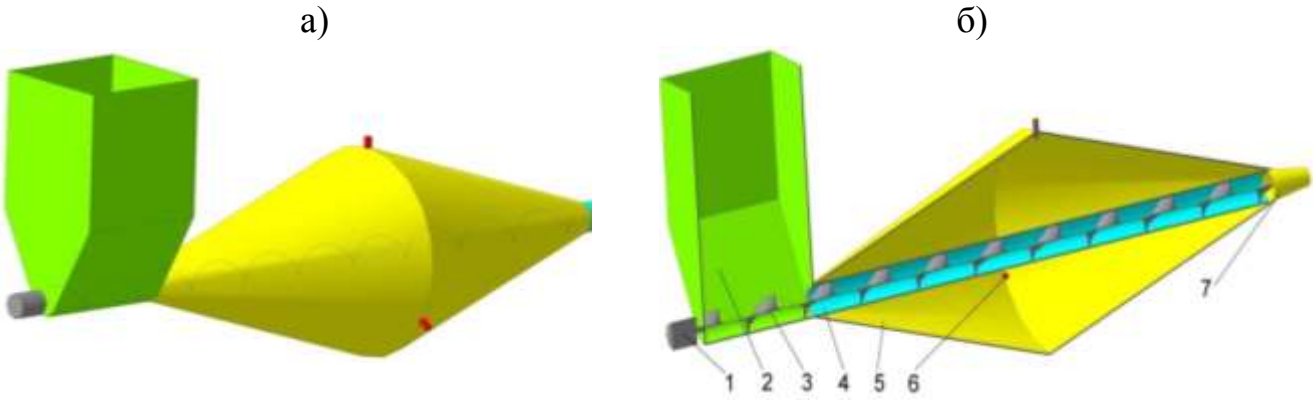


Рисунок 2.31 – Сверхвысокочастотная установка с биконическим резонатором и винтовым шнеком для термообработки отходов убоя животных: а) общий вид; б) в разрезе; 1 – мотор-редуктор; 2 – загрузочная емкость для измельченных непищевых отходов; 3 – винтовой шнек из диэлектрического материала; 4 – цилиндрический корпус шнека из диэлектрического материала; 5 – биконический резонатор; 6 – магнетроны; 7 – выгрузное отверстие на вершине кругового конуса

СВЧ установка содержит горизонтально расположенный биконический резонатор. Внутри его соосно по центральной оси установлен шнековый транспортер в виде цилиндрического диэлектрического корпуса с винтовым диэлектрическим шнеком. Отверстие на одной вершине кругового конуса и конец цилиндрического диэлектрического корпуса пристыкованы к нижнему основанию загрузочной емкости так, что продолжение винтового диэлектрического шнека расположено в загрузочной емкости. Диаметр отверстия на другой вершине кругового конуса меньше, чем четверть длины волны. Магнетроны СВЧ генераторов установлены по периметру стыка оснований круговых конусов со сдвигом на 120 градусов.

Преимущества: радиогерметичность установки; равномерный нагрев сырья при передвижении диэлектрическим винтовым шнеком; *измельчение* сырья; удельные энергетические затраты 0,15-0,16 кВт·ч/кг.

2.9. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ТЕРМООБРАБОТКИ СЫРЬЯ В КОМБИНИРОВАННОМ РЕЗОНАТОРЕ СВЧ УСТАНОВКИ

2.9.1 Комбинированный резонатор в виде конусов пристыкованных к сфере в СВЧ установке непрерывно-поточного действия для термообработки непищевых отходов животного происхождения (патент № 2690482)

Дробахин О.О. выявил следующие зависимости электродинамических параметров конических резонаторов:

- возрастание величины угла конического участка приводит к расширению динамического диапазона перестройки резонатора и возрастанию чувствительности резонансной частоты и добротности;

- изменяя соотношение углов при постоянных диаметрах оснований конусов резонатора, можно регулировать ширину динамического диапазона перестройки резонансной частоты.

С учетом установленных закономерностей разработана следующая установка. СВЧ установка (рис. 2.32) с коническими резонаторами содержит внутри сферического экранирующего корпуса с загрузочным патрубком по вертикальной оси диэлектрический диск с направляющими лопатками и толкателями, насаженный на вал электропривода. К нижней полусфере экранирующего корпуса равномерно по периметру пристыкованы круговые конические резонаторы, оси которых совпадают с радиальными осями сферического экранирующего корпуса, внутри которых соосно установлены диэлектрические направляющие лотки с упорными элементами и пружинами с радиопрозрачным покрытием.

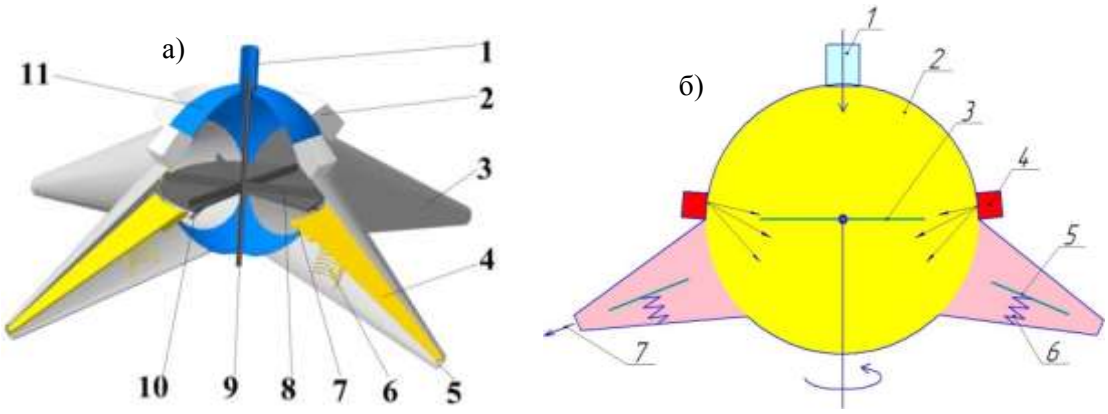


Рисунок 2.32 – СВЧ установка с коническими резонаторами для термообработки непищевых отходов животного происхождения: *а) пространственное изображение*: 1 – загрузочный патрубок; 2 – СВЧ генератор; 3 – круговой конический резонатор; 4 – диэлектрический направляющий лоток; 5 – выгрузное отверстие; 6 – пружина с радиопоглощающим покрытием; 7 – упорный элемент; 8 – диэлектрический диск с направляющими лопатками; 9 – вал электропривода; 10 – диэлектрический толкатель; 11 – сферический экранирующий корпус; *б) схема процесса*: 1 – патрубок; 2 – сферическая часть; 3 – диск; 4 – магнетроны; 5 – лоток; 6 – пружина

СВЧ генераторы установлены на стыках сферического корпуса и круговых конических резонаторов. Резонаторы имеют на вершинах выгрузные отверстия диаметром менее четверти длины волны, при этом диаметр сферике-

ского экранирующего корпуса и параметры конических резонаторов согласованы с длиной волны. Регулируя угол при вершине конуса, можно сконцентрировать электромагнитное поле в центральной области резонатора, что способствует повышению добротности резонатора.

Преимущества: радиогерметичность за счет тетроконических резонаторов; высокая собственная добротность сферического корпуса; удельные энергетические затраты 0,11-0,13 кВт·ч/кг.

Вычислим собственную добротность резонатора, представленного как пристыкованных к сфере четырех конусов. Применяя уравнение прямой, проходящей через две точки, составим уравнение образующей конуса. Далее выразим x и проинтегрируем данную функцию на промежутке от 0 до *h*, найдем объем конуса $V_{конуса} = \pi \int_0^h \left(\frac{(h-y)R_1}{h} \right)^2 dy.$ (2.67)

Применяя каноническое уравнение окружности и выразив x, проинтегрируем данную функцию на промежутке от $-R$ до $+R$, найдем объем сферы

$$V_{сферы} = \pi \int_{-R}^{R} \left[R^2 - y^2 \right] dy. \quad (2.68)$$

где R_1 – радиус основания конуса, R – радиус сферы, h – высота конуса.
a, b- нижний и верхний пределы интегрирования.

$$S_{сферы} = 2\pi \int_{-R}^{R} \sqrt{R^2 - y^2} \cdot \sqrt{1 + \left(\sqrt{\left(R^2 - y^2 \right)^1} \right)^2} dy,$$

$$S_{конуса} = 2\pi \int_0^L \left(\frac{(L-y) \cdot R_1}{h} \right) \cdot \sqrt{1 + \left(\left(\left(\frac{L-y}{h} \right) \cdot R_1 \right)^1 \right)^2} dy, \quad (2.69)$$

$$S_{резон.} = \left(S_{сферы} + 4S_{конуса} \right) - 4\pi R_1^2, V_{резон.} = V_{сферы} + 4V_{конуса},$$

$$S_y = 2\pi \int_a^b x \cdot \sqrt{1 + \sqrt{\left(x_y^1 \right)^2}} dy,$$

По аналогии составим формулы для вычисления площади поверхности конуса и сферы (2.81). Пользуясь программой Mathcad 15, вычислили собственную добротность резонатора при заданных конструкционных параметрах. Она равна 7000.

2.9.3 Комбинированный резонатор в изготовленной СВЧ установке для обезвоживания и термообработки сырья в непрерывном режиме

СВЧ установка (рис. 2.34) для отделения жидкой фракции и термообработки твердой фракции сырья содержит цилиндрический экранирующий корпус, внутри которого расположен комбинированный резонатор 4. Резонатор комбинирован из полусферы, цилиндра и наклонного конуса. Причем полусфера установлена как верхнее основание резонатора под приемным цилиндрическим патрубком так, что между ними остается щель для попадания обезвоженного сырья в комбинированный резонатор. Магнетроны 5 с волноводами установлены со сдвигом на 120 градусов с наружной стороны боковой поверхности резонатора так, что излучатели направлены внутрь комбинированного резонатора. Над резонатором расположена центрифуга так, что жидкая фракция сырья сливается на периферии, а твердая фракция выгружается в резонатор 4. В центрифугу подается предварительно измельченное с помощью измельчителя сырье. Твердая фракция непищевых мясных отходов в резонаторе, содержащем перемешивающий механизм, подвергается воздействию ЭМПСВЧ, варится, обеззараживается и выгружается через патрубок с шаровым краном 6.

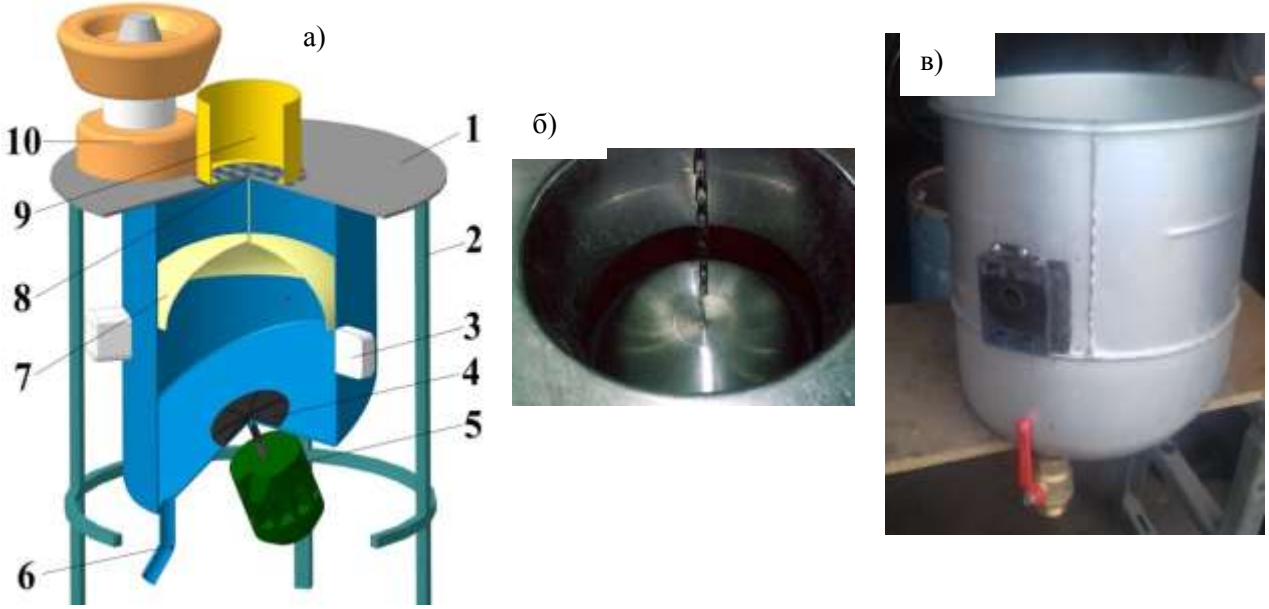


Рисунок 2.34 – СВЧ установка с комбинированным резонатором с тремя источниками энергии и центрифугой: а) общий вид; б) полусферическая часть резонатора в приемной емкости; в) цилиндрическая часть резонатора с наклонным основанием; 1 – стол монтажный; 2 – каркас для монтажа экранирующего корпуса; 3 – магнетроны; 4 – перемешивающий механизм; 5 – электропривод; 6 – сливной патрубок; 7 – полусфера; 8 – решетка; 9 – емкость для твердой фракции сырья; 10 – центрифуга

Преимущества: обеспечение непрерывного процесса измельчения, обезвоживания сырья с воздействием ЭМПСВЧ в комбинированном резонаторе, обладающим достаточно высокой собственной добротностью и высокой напряженностью ЭП; отсутствие транспортирующего механизма обезвоженного сырья в резонатор; удельные энергетические затраты без учета мощности измельчителя и центрифуги 0,11-0,13 кВт·ч/кг, при производительности установки 30-40 кг/ч.

Итак, в нетрадиционных резонаторах в процессе термообработки предварительно измельченного сырья происходит его обезвоживание и удельные энергетические затраты в среднем составляет 0,14-0,17 кВт·ч/кг, при производительности 35-40 кг/ч. Комбинированные резонаторы обеспечивают термообработку предварительно измельченного и обезвоженного сырья при удельных энергетических затратах 0,11-0,13 кВт·ч/кг.

2.9.4 Сравнительный анализ трех СВЧ установок с комбинированными резонаторами, позволяющими реализовать основные критерии

Проведена ***оценка соответствия каждого резонатора*** оптимальным критериям путем расчета наименьших отклонений.

СВЧ установки оценивали по четырем основным критериям:

1. Высокая собственная добротность резонатора;
2. Высокая напряженность электрического поля в резонаторе;
3. Равномерность распределения электрического поля в резонаторе и равномерный нагрев сырья;
4. Соблюдение электромагнитной безопасности

Оценка отклонения от оптимального значения критериев для каждого резонатора показывает, что из 14 нетрадиционных резонаторов, обеспечивающих непрерывный режим работы, наименьшее отклонение от оптимального значения по четырем критериям имеют *три* СВЧ установки с комбинированными резонаторами (рис. 2.35):

1) *комбинированный резонатор в виде конусов состыкованных со сферой;*

2) *поярусно расположенные цилиндрические резонаторы;*

3) ***резонатор, образованный полусферой и с цилиндром*** (изготовленный и испытанный образец).

С учетом полученных теоретических значений собственной добротности (1), напряженности ЭП (2), температуры нагрева (3), плотность мощности излучений (4) для каждого резонатора (3 шт.) составлена таблица значений параметров резонатора и проведен расчет отклонения величин от оптимального значения по всей совокупности критериев (таб. 2.6, 2.7).

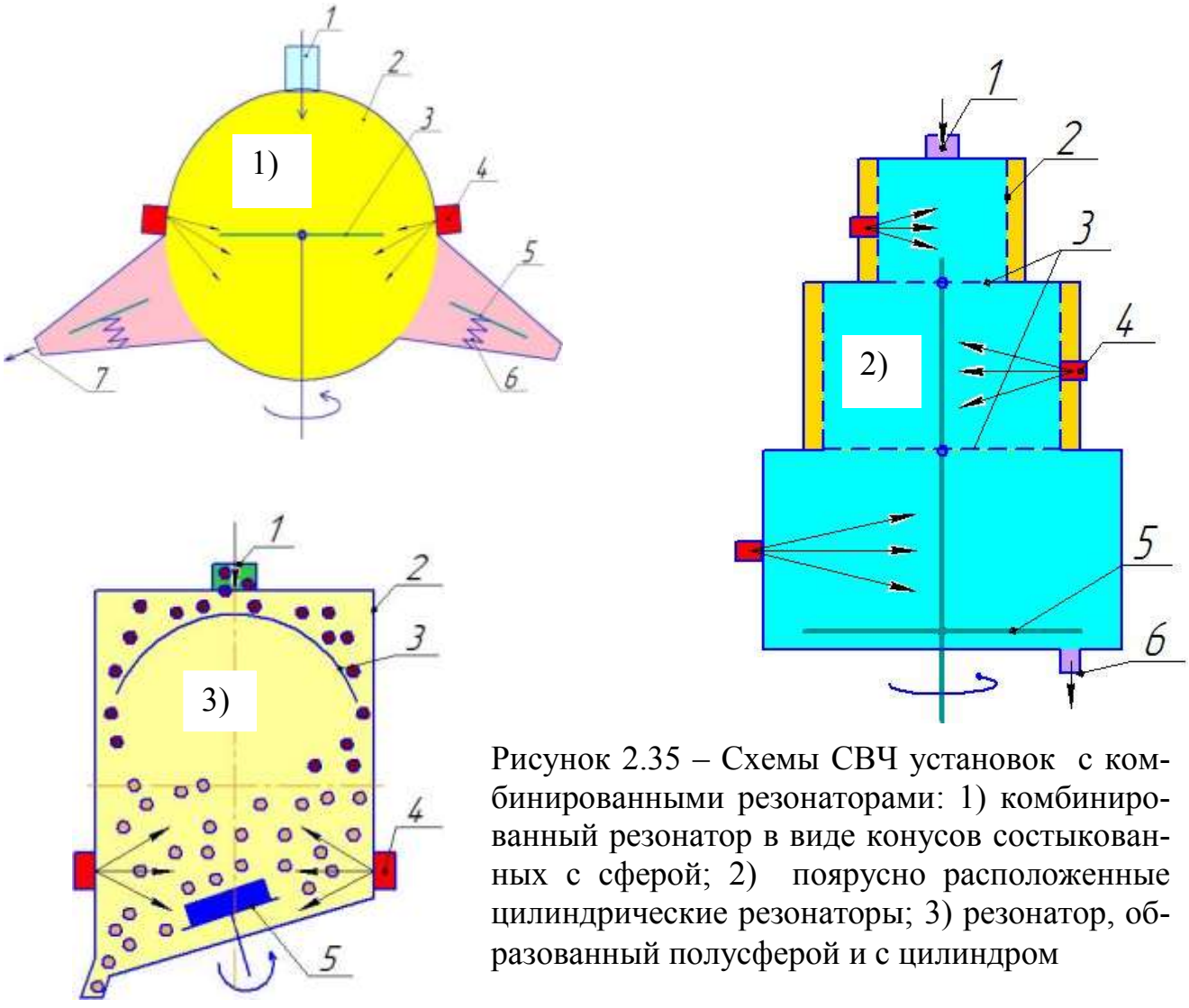


Рисунок 2.35 – Схемы СВЧ установок с комбинированными резонаторами: 1) комбинированный резонатор в виде конусов состыкованных с сферой; 2) поярусно расположенные цилиндрические резонаторы; 3) резонатор, образованный полусферой и с цилиндром

Величина, характеризующая отклонения, рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{\sum \left| \left(x_y - \overline{x}_i \right) / \overline{x}_i \right|}{4}, \qquad (2.70)$$

где X_i – среднее значение по интервалам соответствующего критерия;
X_y – значение критерия.

Таблица 2.6 – Пределы варьирования критериев

Критерии	Параметры
1. Собственная добротность резонатора	5000-10000
2. Напряженность электрического поля в резонаторе, кВ/см	0,6-1,2
3. Степень равномерности нагрева сырья в резонаторе (80-110°С), отн. ед.	0,7-1,0
4. Плотность мощности излучений, мкВт/см^2	10-50

Из трех конструкционных исполнений резонаторов по указанным критериям наибольшую эффективность можно достичь при цилиндрическом исполнении *резонатора, имеющего полусферическое и коническое основания* (№ 3), (наименьшее отклонение 1,075). Результаты оценки СВЧ установок для термообработки вторичного сырья животного происхождения по четырем критериям приведены в табл. 2.7, 2.8.

Таблица 2.7 − Результаты оценки СВЧ установок для термообработки вторичного сырья животного происхождения по четырем критериям

Номер критерия	Номер установки (см. рис.2.36)			Оптимальные параметры
	1	2	3	
	Значение критерия			
1. Собственная добротность резонатора, x10^3	7	5	8	10
2. Напряженность ЭП, кВ/см	0,6	1,0	0,9	1,0
3. Степень равномерности нагрева сырья, отн. ед	0,7	0,7	1,0	1,0
4. Плотность мощности излучений, мкВт/см^2 (без экранирующего корпуса)	100	300	50	10
Отклонение	2,5	7,45	1,075	

Сравнительный анализ трех СВЧ установок с комбинированными резонаторами показывает, что *резонатор, образованный полусферой и цилиндром* наиболее эффективный (рис. 2.35).

Таблица 2.8 − Результаты оценки СВЧ установок критериям (результаты расчета по XL)

Номер критерия		Номер установки			Оптимальные параметры
		1	2	3	
Параметры	1	7	5	8	10
	2	0,6	1	0,9	1
	3	0,7	0,7	1	1
	4	100	300	50	10
Критерий		2,5000	7,4500	1,0750	
		0,3	0,5	0,2	
		0,4	0	0,1	
		0,3	0,3	0	
		9	29	4	

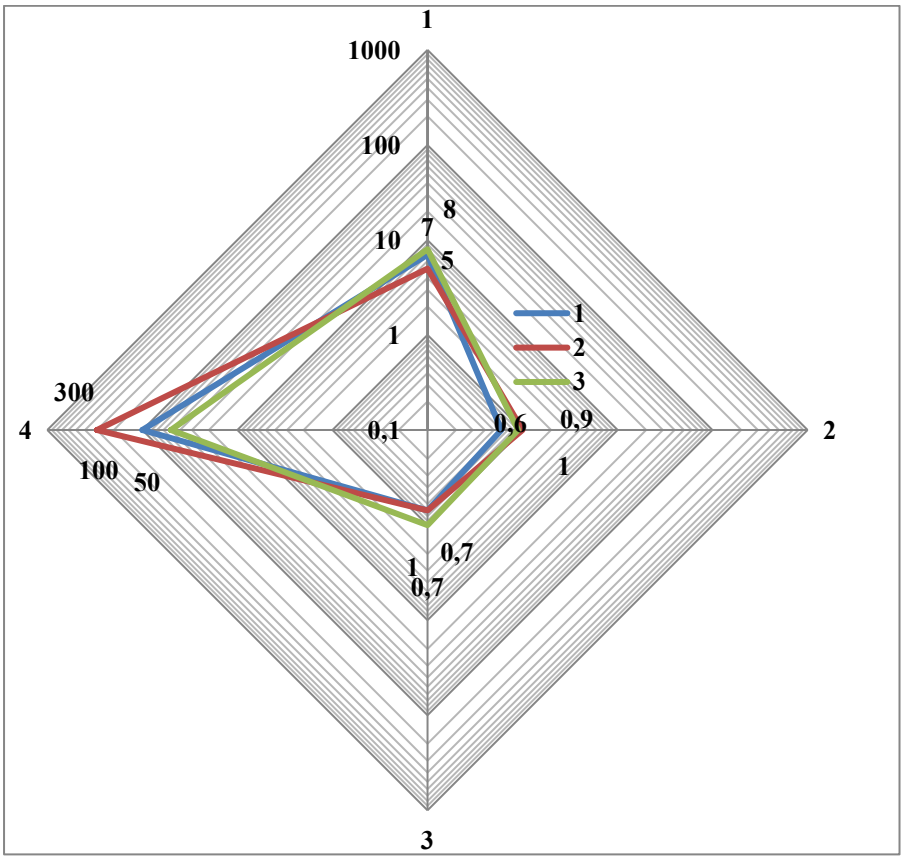


Рисунок 2.36 – Оценка СВЧ установок непрерывно-поточного действия по критериям: 1− собственная добротность; 2 − напряженность электрического поля; 3 – степень равномерности; 4 – мощность потока излучений, мкВт/см^2

2.9.5 Теоретические аспекты распределения электромагнитного поля в комбинированном резонаторе [61, 116, 129, 132]

При проведении исследований структуры электрического поля в весьма сложных конфигурациях резонаторов рекомендуют принимать энергетическую концепцию учета отдельных составляющих поля. Такая технология в отечественной и зарубежной практике существует. Если в данной точке пространства создается электромагнитное поле, его описывают в декартовой системе координат E_x , E_y , E_z, или круговой цилиндрической системе координат E_r , E_z. Суммарная напряженность электрического поля от каждого магнетрона (три магнетрона) определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} E_{\Sigma 1} &= \sqrt{E_x{}^2 + E_y{}^2 + E_z{}^2};\ E_{\Sigma 1} = \sqrt{E_r{}^2 + E_z{}^2}. \\ E_{\Sigma 2} &= \sqrt{E_x{}^2 + E_y{}^2 + E_z{}^2};\ E_{\Sigma 2} = \sqrt{E_r{}^2 + E_z{}^2}. \\ E_{\Sigma 3} &= \sqrt{E_x{}^2 + E_y{}^2 + E_z{}^2};\ E_{\Sigma 3} = \sqrt{E_r{}^2 + E_z{}^2}. \end{aligned} \qquad (2.71)$$

Характер воздействия электромагнитного поля в зависимости от сочетания трех источников, имеющих: одинаковую величину мощности излучений; различные величины мощности, предполагает введение критериев и алгоритмов, по которым можно оценить распределение электромагнитного поля в резонаторе определенной конфигурации и размеров.

$$E_{\Sigma общ} = \sqrt{E_{\Sigma 1}{}^2 + E_{\Sigma 2}{}^2 + E_{\Sigma 3}{}^2}. \qquad (2.72)$$

Сложение волн, приходящих от нескольких источников с учетом фазовых соотношений между ними (интерференция), решают разными методами. В том числе, когда каждый источник является элементарным электромагнитным излучателем, считают, что волна, возбуждаемая ими, является сферической и далее на основании принципа суперпозиции определяют выражение напряженности электрического поля.

Исследование распределения ЭП в комбинированном резонаторе

Математическое моделирование технологических процессов позволяет учесть взаимное влияние электромагнитных и тепловых процессов, что дает

возможность решить задачу синтеза резонаторных камер, оптимальных по геометрической конфигурации и размерам, по величине КПД и равномерности термообработки. При воздействии ЭМПСВЧ на многокомпонентное влажное сырье появляются температурные напряжения, поэтому необходимо разрабатывать адекватные математические модели, наиболее полно отображающие физические процессы в сырье. При этом следует учесть граничные условия: мощности излучателей и их месторасположение в резонаторе; скорости передвижения сырья через резонатор; изменения объема, электрофизических и теплофизических параметров многокомпонентного сырья в процессе воздействия ЭМПСВЧ; потери потока излучений через щели и окна; собственную добротность резонатора. По методике Баскакова С.И. исследовали отдельно составляющие вектора поля колебаний типа E_{010} в ***цилиндрическом резонаторе*** и ***в полусферическом резонаторе*** (рис. 2.37, 2.38). Далее с учетом суперпозиции полей определили общую картину распределения электрического поля в комбинированном резонаторе. Задача о распространении в цилиндрическом резонаторе колебаний электрического типа сводится к решению уравнения Гельмгольца:

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial E_z}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial^2 E_z}{\partial \varphi^2}+q^2\cdot E_z=0, \qquad (2.73)$$

где r – радиальное распространение волны в цилиндре, радиусом R, E_z – распространяющаяся напряженность электрического поля по оси z, q – поперечное волновое число, (r, φ, z) − цилиндрическая система координат.

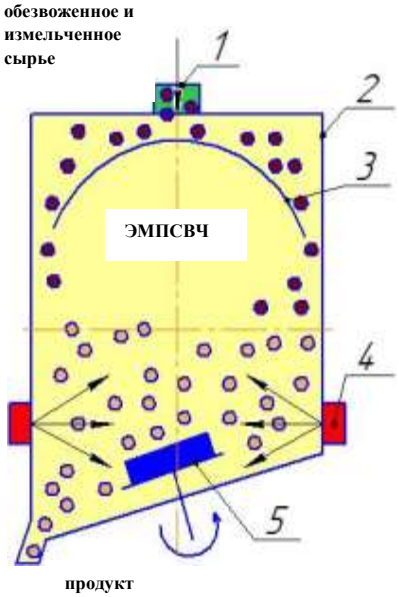


Рисунок 2.37 – Схема технологического процесса воздействия ЭМПСВЧ в комбинированном резонаторе: 1 – узел подачи измельченного и обезвоженного сырья; 2 – цилиндрический резонатор с наклонным основанием; 4 – магнетроны; 5 – диск диэлектрический; 6 – узел для выгрузки термообработанного белкового корма

С учетом граничных условий, которые должны выполняться на стенках резонатора, можно решать зада-

чу методом разделения переменных. Предположим, что

$E_z(r,\varphi) = R(r)\cdot\Phi(\varphi)$, где $R(r), \Phi(\varphi)$ - неизвестные функции только от r и φ, подлежащие определению. Тогда выражение можно представить в виде:

$$\Phi\cdot R'' + \frac{\Phi\cdot R'}{r} + \frac{R\cdot\Phi''}{r^2} + q^2\cdot R\cdot\Phi = 0. \qquad (2.74)$$

Полученное уравнение (2.74) разделим на произведение $R\cdot\Phi$, тогда

$$\frac{r^2\cdot R''}{R} + \frac{r\cdot R'}{R} + q^2\cdot r^2 + \frac{\Phi''}{\Phi} = 0. \qquad (2.75)$$

Представим $\left(-\frac{\Phi''}{\Phi}\right) = m^2$, как уравнение, решением которого по данным А.В. Стрекалова служит функции $\Phi(\varphi) = C_o\cdot\sin(m\cdot\varphi)$,

где m характеризует индекс типа волны, целое число; C_o – произвольный коэффициент; $\varphi = 2\cdot\pi$ – период колебаний.

Из выражения 2.75 выделим три слагаемые и представим в виде уравнения 2.76

$$R'' + \frac{1}{r}\cdot R' + \left(q^2 - \frac{m^2}{r^2}\right)\cdot R = 0. \qquad (2.76)$$

Если обозначим $q\cdot r = x$, как безразмерную независимую переменную, то выражение можно преобразовать $R'' + \frac{1}{r}\cdot R' + \left(\frac{x}{r^2}^2 - \frac{m^2}{r^2}\right)\cdot R = 0.$ (2.77)

Тогда при $r = x$ уравнение будет: $\frac{R''}{x^2} + \frac{1}{x}\cdot\frac{R'}{x} + \left(\frac{x^2}{x^2} - \frac{m^2}{x^2}\right)\cdot R = 0.$

Или $$\frac{d^2R}{dx^2} + \frac{1}{x}\cdot\frac{dR}{dx} + \left(1 - \frac{m^2}{x^2}\right)\cdot R = 0. \qquad (2.78)$$

Это линейное дифференциальное уравнение второго порядка с переменными коэффициентами решается как функция Бесселя – $J_m(x)$ и Неймана – $N_m(x)$.

$R(x) = C_1\cdot J_m(x) + C_2\cdot N_m(x)$, где C_1, C_2 –постоянные величины.

При решении уравнения для цилиндрического резонатора $C_2 = 0$, так как при $r = 0$, на оси цилиндра, бесконечно высокая напряженность поля. Составляющие вектора поля колебаний типа E_{010} в цилиндрическом резонаторе с полусферическим основанием

$$\dot{E}_z = \left(\frac{\nu_{mn}}{a}\right)^2 \cdot C \cdot J_m \cdot \left(\frac{\nu_{mn} \cdot r}{a}\right) \cdot \cos\left(m \cdot \varphi\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot p \cdot z}{l + R_2}\right). \qquad (2.79)$$

где ν_{mn} – n-й корень функции Бесселя $J_m(x)$; R_2 – радиус полусферы.

Особенностью этого колебания является то, что резонансная частота не зависит от длины резонатора. Основным колебанием в цилиндрическом резонаторе диаметром a, является тип E_{010}. Энергия, запасенная колебаниями этого типа в комбинированном резонаторе, вычисляется по формуле:

$$W^{E010} = 0,423 \cdot \varepsilon_a \cdot E_{\max}^2 \cdot a^2 \cdot \left(l + R_2\right). \qquad (2.80)$$

Распределение ЭМП в сферическом резонаторе. По методикам Никольского В.В., Зайко Ю.Н., Диденко А.Н. определены возможные типы электромагнитных колебаний *в сферическом* резонаторе с помощью уравнений Максвелла с учетом граничных условий. Для реализации СВЧ установки на практике необходимо обеспечить электрическую прочность объемных резонаторов с учетом *особенностей цилиндрического и сферического резонаторов*. Цилиндрический резонатор с колебаниями типа E_{010} обладает аксиально-симметричным электромагнитным полем (рис. 2.38), а собственная частота резонатора не зависит от его объема, а по сравнению с резонаторами других типов имеет наибольшую энергетическую эффективность [72, стр. 82]. При конструировании *цилиндрических резонаторов* на основе колебаний H_{011} имеется достаточно широкий предел выбора геометрических размеров радиуса и высоты. Основные электродинамические характеристики – это резонансная длина волны и добротность. Максимальная напряженность ЭП при отношении объема сырья к объему резонатора менее 0,1, определяется по формуле А.Н. Диденко [72]. Зная собственную добротность комбинированного резонатора 6910, вычислена максимальная напряженность ЭП при мощности 2400 Вт:

$$E_{\varphi}^{мах} = \sqrt{P_{ген} \cdot Q} \cdot 12,6\left[\sqrt{Ом}\right] \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \lambda}{V_{рез}}} = \sqrt{2400 \cdot 6910} \cdot 12,6 \cdot \sqrt{\frac{3,14 \cdot 0,1224}{3,048 \cdot 10^{-2}}} = 1,82\ кВ/см. \qquad (2.81)$$

При такой напряженности электрическая прочность комбинированного резонатора соблюдается. Чтобы не *нарушать устойчивую работу* генератора и

генерацию всей мощности в резонаторе, необходимо возбудить один из высших типов колебаний, например $H_{01р}$. Распределение ЭМП в ***полусферической части комбинированного резонатора*** по трем составляющим описывается по формуле А.Н. Диденко [72, стр. 230]:

$$\begin{cases} E_{\varphi} = \dfrac{A \cdot \sin\theta}{\sqrt{r}} J_{3/2} \cdot (k \cdot r), \quad H_r = i \cdot \dfrac{2 \cdot A \cdot \cos\theta}{Z_0 \cdot k \cdot r^{3/2}} \cdot J_{3/2} \cdot (k \cdot r), \\ H_{\theta} = -i \cdot \dfrac{2 \cdot A \cdot \sin\theta}{Z_0 \cdot k \cdot r^{3/2}} \cdot \left[k \cdot r \cdot J_{1/2} \cdot (k \cdot r) - J_{3/2} \cdot (k \cdot r) \right], \end{cases} \tag{2.82}$$

где $k = 2\ \pi/\lambda_o$ – волновое число среды, заполняющий резонатор; $J_{1/2}$ и $J_{3/2}$ – функции Бесселя; A – параметр, учитывающий напряженность ЭМП; Z_o - сопротивление, учитывающее емкость и индуктивность резонатора; r – радиус от цента сферы до точки исследования; $\theta = 0...2\pi$ – изменение угла до точки исследования.

Радиус полусферы R и резонансная длина волны λ_0· колебаний H_{101} связаны формулой $\lambda_0 \cdot n/2 = 1{,}398 \cdot R$, где n – кратность длины волны.

При $n = 5$, $R = 12{,}24 \cdot 2{,}5/(1{,}398 \cdot 2{,}5) = 17{,}51$ см. ***Изготовлена полусфера с приемлемым диаметром 35 см*** из нержавеющей стали толщиной 2 мм. Цилиндрическая часть резонатора изготовлена из алюминия толщиной 5 мм, удельной проводимостью $35 \cdot 10^6$ См/м.

Для практических расчетов собственной добротности (Q) комбинированного резонатора высотой ($l+R_2$) воспользовались формулой А.Н. Диденко с учетом полусферического основания цилиндрического резонатора:

$$Q = \frac{k_k \cdot 3{,}51 \cdot 10^4 \cdot \left(\dfrac{R_2}{\lambda_0} \right)^3}{1{,}488 + 2 \cdot \left(\dfrac{R_2}{l + R_2} \right)^3} = \frac{0{,}8 \cdot 3{,}51 \cdot 10^4 \cdot \left(\dfrac{17{,}5}{12{,}24} \right)^3}{1{,}488 + 2 \cdot \left(\dfrac{17{,}5}{60} \right)^3} = 5355, \tag{2.83}$$

где k_k – коэффициент, учитывающий, из какого неферромагнитного материала изготовлен комбинированный резонатор (алюминий, латунь и др.); a – диаметр полусферы; l – высота цилиндрической части резонатора.

Напряженность ЭП *в полусферической части* можно определить с учетом граничных условий по методике Диденко А.Н. через запасенную энергию комбинированного резонатора: $W = \frac{\varepsilon_o}{2} \cdot \int_o^R \int_o^\pi \int_o^{2\pi} E_\varphi^2(r,\theta) \cdot r^2 \cdot dr \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\varphi.$ (2.84)

$$E_\varphi(r,\theta) = \sqrt{P_{ген} \cdot Q} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot Z_0 \cdot \lambda_0}{r}} \cdot \frac{\sin\theta}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot J_{1/2} \cdot (\mu_{1/2})} \cdot J_{3/2}\left(\frac{\mu_{3/2}}{R_2} \cdot r\right). \quad (2.85)$$

где $\mu_{3/2}$ = 4,493 – корень $J_{3/2}(x)$. Максимальное значение напряженности ЭП будет в плоскости $(\theta = \pi/2)$, при $r = 0{,}463 \cdot R$.

Если $\theta = \pi/2$, то $E_\varphi(r,\pi/2) = \sqrt{P_{ген} \cdot Q} \cdot 20{,}4 \cdot 10^{-1} \cdot (\lambda_o \cdot r)^{-1/2} \cdot J_{3/2}\left(\frac{\mu_{3/2}}{R_2} \cdot r\right)$,

где 20,4 имеет размерность (Ом$^{1/2}$). Подставляя все значения получим:

$$E_\varphi(r,\pi/2) = \sqrt{2400 \cdot (5355...6910)} \cdot 20{,}4 \cdot (12{,}24 \cdot 0{,}463 \cdot 17{,}51)^{-1/2} \cdot \cdot \left(\frac{4{,}4934}{17{,}51} \cdot 0{,}463 \cdot 17{,}51\right) = 1527{,}6...1628{,}2\ B/см. \quad (2.86)$$

Эта формула пригодна для инженерной оценки напряженности ЭП на уровне стыка полусферы и цилиндра, где напряженность ЭП в пределах 1,5-1,6 кВ/см. Чем больше диаметр (a) сферического резонатора, тем больше его собственная добротность Q = a/3·Δ,

где Δ − толщина поверхностного слоя, зависящая от удельной проводимости неферромагнитного материала, изготовленного резонатора.

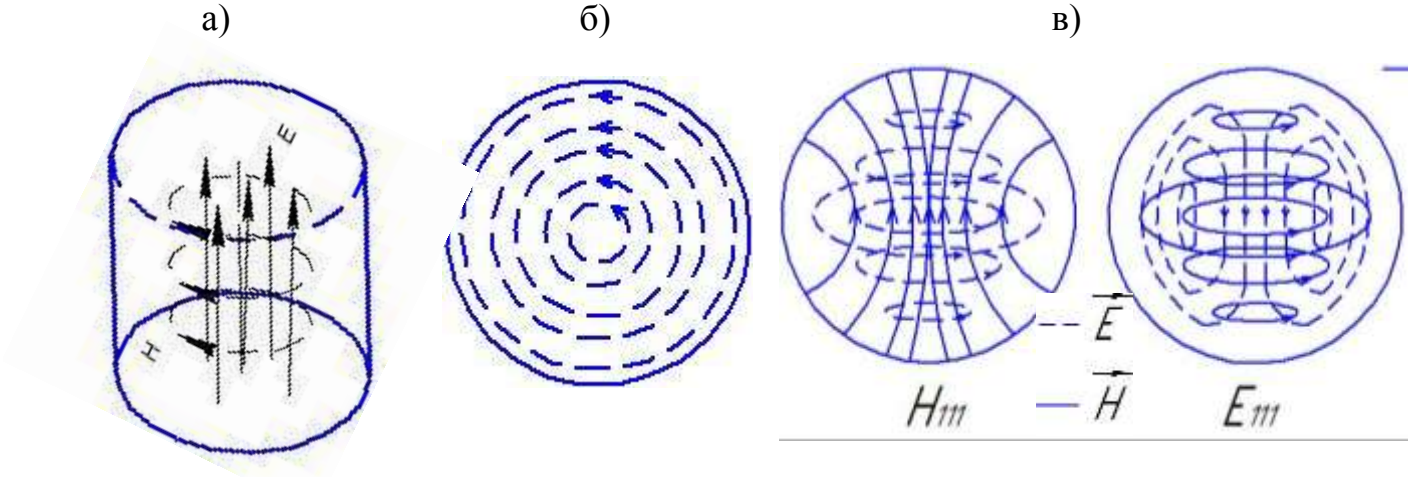
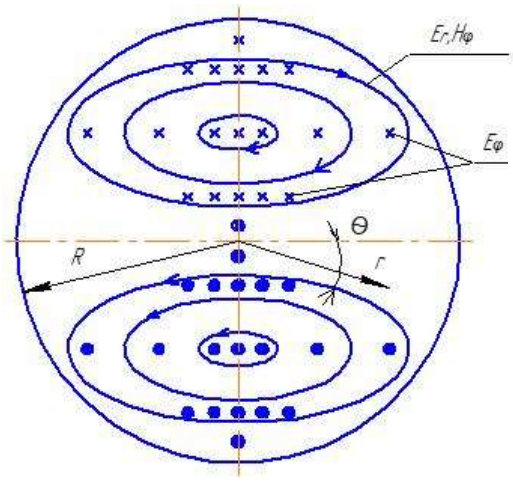


Рисунок 2.38 – Структура поля колебаний E_{010}: а) и б) в цилиндрической части резонатора; в) в сферическом резонаторе



Составляющие ЭМП (E_φ, H_z, H_r) по данным Диденко А.Н. распределяются как на рис. 2.39.

Рисунок 2.39 – Схема распределения ЭМП в сферическом резонаторе

Итак, если сырье подвергать воздействию ЭМПСВЧ до определенной температуры в резонаторах с высокой отражающей способностью стенок, существенно превышающей отражательную способность стенок традиционных конструкций, то энергетические преимущества СВЧ нагрева в комбинированном резонаторе сохраняются. Перемешивающий диск выполнен из материала малой теплопроводностью, небольшим поперечным сечением и диаметром, что позволяет снизить радиационные потери. Для инженерных расчетов представленной численной оценки электродинамических параметров методом частичных областей с дальнейшей коррекцией результатов, что вполне достаточно.

2.9.6 Анализ изменения напряженности ЭП, распространяющегося за счет излучения электромагнитных волн из кольцевого отверстия

Решение задачи электродинамики связанно с нахождением ЭМП, возбуждаемого системой из (k) излучателей. Сложение волн, приходящих из нескольких источников, проводили с учетом фазовых соотношений между ними. В разработанном комбинированном резонаторе возбуждается ЭМПСВЧ, но для загрузки сырья через патрубок в объемный резонатор предусмотрена кольцевая щель между цилиндром и соосно расположенной полусферой (рис. 2.40), поэтому необходимо минимизировать возможные потери энергии за счет излучения с учетом размеров частиц сырья, попадающего в резонатор. Поэтому пусть точка наблюдения находится в зоне загрузки сырья (под верхним основанием цилиндрического резонатора); считаем, что волна, возбуждаемая каждым излучателем, – сферическая. Решаем задачу об излучении электромагнитных волн

из кольцевого отверстия между цилиндрическим корпусом и полусферой с площадью: $S = \pi \cdot (R_1^2 - R_2^2)$, где R_1 – радиус цилиндра; R_2 – радиус полусферы.

Рассмотрим электромагнитное поле, существующее в пространстве на расстоянии от верхнего основания цилиндра, большое по сравнению, как с длиной волны λ =12,24 см, так и с поперечными размерами кольцевого пространства (2-4 см).

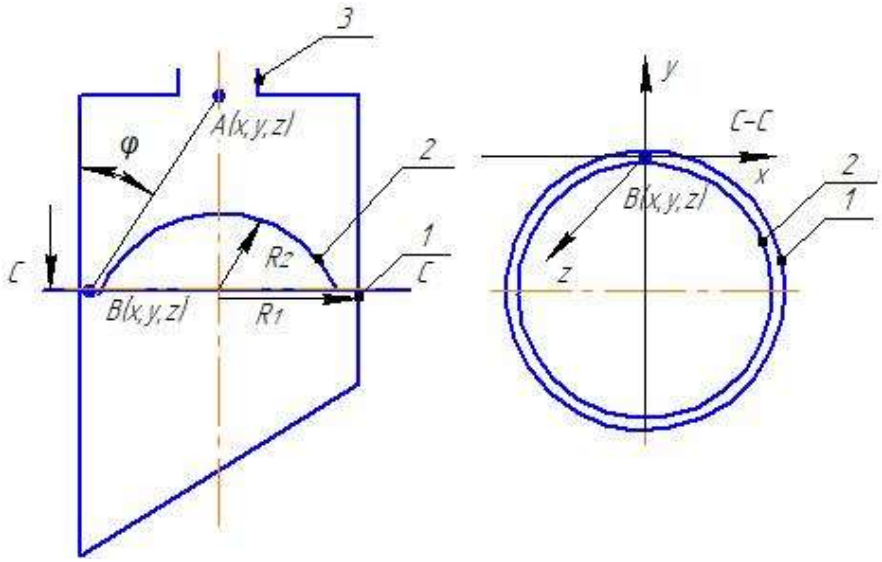


Рисунок 2.40 – Схема для расчета вектора напряженности ЭП в пространстве между полусферой и отверстием для подачи сырья, распространяющейся за счет излучения электромагнитных волн из кольцевого отверстия

В точке наблюдения (*A*) из формулы Кирхгофа, представленной в учебном пособии Есипок А.В., составляющую вектора напряженности ЭП E_y можно определить с учетом площади кольцевой щели [72]:

$$\dot{E}_y(A) = -\frac{1}{4 \cdot \pi} \int_S \left[\frac{e^{-j\beta \cdot r}}{r} \cdot \frac{\partial \dot{E}_y}{\partial z} - \dot{E}_y \cdot \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{e^{-j\beta \cdot r}}{r} \right) \right] \cdot \partial \left[\pi \cdot (R_1^{\,2} - R_2^{\,2}) \right]. \qquad (2.87)$$

где r – расстояние между точкой наблюдения (*A*) и средней точкой (*B*) поперечного размера кольцевого пространства; β – фазовая постоянная волн, $\beta = \omega \cdot \sqrt{\varepsilon_o \cdot \mu_o} = 51,28$. Для интегрирования по площади (*S*) кольцевого отверстия обозначим координатами *x, y, z* точку (*B*) на кольцевом отверстии, а координаты точки наблюдения *A* (X, У, *Z*). Тогда расстояние между точками *A* и *B* определим по формуле: $r = \sqrt{(X-x)^2 + (Y-y)^2 + (Z-z)^2}$. Производные, из выражения (2.87):

$$\frac{\partial \dot{E}_y}{\partial z}_{\text{при } z=0} = f \cdot \beta \cdot \dot{E}_0, \quad \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{e^{-j\beta \cdot r}}{r}\right) = \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{e^{-j\beta \cdot r}}{r}\right) \cdot \frac{\partial r}{\partial z} = -\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{e^{-j\beta \cdot r}}{r}\right) \cdot \frac{\partial r}{\partial Z} \cdot (2.88)$$

Если учесть, что $\frac{\partial r}{\partial Z} = Z \cdot r = \cos\varphi,$ то из выражения (2.88) вытекает

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{e^{-j\beta \cdot r}}{r}\right) = -\left(\frac{j\beta}{r} + \frac{1}{r^2}\right) \cdot e^{-j\beta \cdot r}. \quad (2.89)$$

где φ – угол между нормалью к отверстию и отрезком *AB; l* – периметр кольцевой щели. Тогда составляющая вектора напряженности ЭП в точке наблюдения *A* (в загрузочном патрубке):

$$\dot{E}_y(A) = \frac{E_0}{4 \cdot \pi} \int_S \left[j\beta \cdot \frac{e^{-j\beta \cdot r}}{r} \cdot (1 + \cos\varphi) + \frac{\cos\varphi}{r^2} \cdot e^{-j\beta \cdot r} \right] \cdot \partial\left[\pi \cdot (R_1^{\,2} - R_2^{\,2})\right]. \quad (2.90)$$

С учетом площади кольцевого пространства интегрируем уравнение (2.90). Обозначим: $G = j\beta \cdot \frac{e^{-j\beta \cdot r}}{r} \cdot (1 + \cos\varphi) + \frac{\cos\varphi}{r^2} \cdot e^{-j\beta \cdot r}$, для вычисления $\dot{E}_y(A)$ составим двойной интеграл: $\int_0^{2\pi} \int_{R_2}^{R_1} G \cdot R \cdot \partial R \cdot \partial\theta = \int_0^{2\pi} \frac{G \cdot R^2}{2} \cdot \partial\theta = G \cdot \left(R_1^2 - R_2^2\right) \cdot \pi = G \cdot S,$

где $R = R_1 - R_2$ – ширина щели; $\theta = 0...2\pi$ – изменение угла по периметру кольцевой щели. В процессе попадания сырья на полусферу площадь кольцевого пространства меняется. Распределение напряженности ЭП в пространстве над сферическим резонатором тоже будет меняться:

$$\dot{E}_y(A) = \frac{E_0}{4} \cdot G \cdot (R_1^{\,2} - R_2^{\,2}). \quad (2.91)$$

где E_0 – напряженность ЭП после интерференции волн от источников одинаковой величины мощности излучений. Мощность потока излучений при напряженности 1,5-1,6 кВ/см через загрузочное отверстие составляет 10-50 мкВт/см^2.

Если выбрать среднюю длину кольцевой щели $l_{ср}$, равной целому числу волн (p =1,2,3…), то фаза волны, прошедшей по кольцу, совпадает в сечении с фазой волны, возбуждаемой источником. Собственная длина волны равна

$$\lambda = 1 / \sqrt{\left(1 / \lambda_{кр}\right)^2 + \left(p / l_{ср}\right)^2}, \quad (2.92)$$

где $\lambda_{кр}$ – критическая длина волны, распространяющейся в щелевом пространстве.

Пределы исследования параметров, влияющих на процесс термообработки вторичного сырья воздействием ЭМПСВЧ, приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9 – Пределы исследования факторов, влияющих на процесс переработки вторичного сырья воздействием ЭМПСВЧ

№		Факторы	Граничные условия
1	x_1	Мощность генератора, кВт	2-3,4
2	x_2	Количество (шт.) и месторасположение резонаторов, мощностью 700-850 Вт, со сдвигом по периметру основания	3-4
3	x_2	Производительность установки, кг/ч	30-40
4	x_3	Масса сырья в резонаторе, кг	2,5-5
5	x_4	Изменение фактора диэлектрических потерь сырья $k = 24{,}083 \cdot T^{0,45}$, (20-100 °С)	23-47
6	x_5	Изменение теплоемкости сырья, $c = 3806 \cdot T^{-0,1}$, Дж/кг·°С	3800-2300
7	x_6	Изменение плотности сырья, $\rho = 1213{,}8 \cdot T^{-0,021}$, кг/м^3	1200-890
8	x_7	Многокомпонентность сырья	2-3
9	x_8	Мощность потока излучений через узлы для загрузки и выгрузки сырья, мкВт /см^2	10-100
10	x_9	Собственная добротность резонатора	5000-1000
11	x_{11}	Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,15-0,25

В результате системного анализа функционирования СВЧ установок разработана структурная схема модели функционирования СВЧ установки для термообработки сырья (рис. 2.41). При этом учитывали: мощности излучателей и их месторасположение в резонаторе; скорость передвижения сырья через резонатор; изменение объема, электрофизические и теплофизические параметры многокомпонентного сырья при воздействии ЭМПСВЧ; потери потока излучений через загрузочный патрубок, значения собственной добротности резонаторов. Выявлено, что основными входными параметрами являются напряженность ЭП и собственная добротность резонатора, необходимая производительность, а также параметры сырья (фактор диэлектрических потерь, масса, исходное общее микробное число, начальная температура). Технологический процесс следует оценить с учетом следующих выходных параметров: микробиологические и органолептические показатели продукта; энергетические затраты; поток

мощности излучений установки в течение технологического процесса; экономическая эффективность.

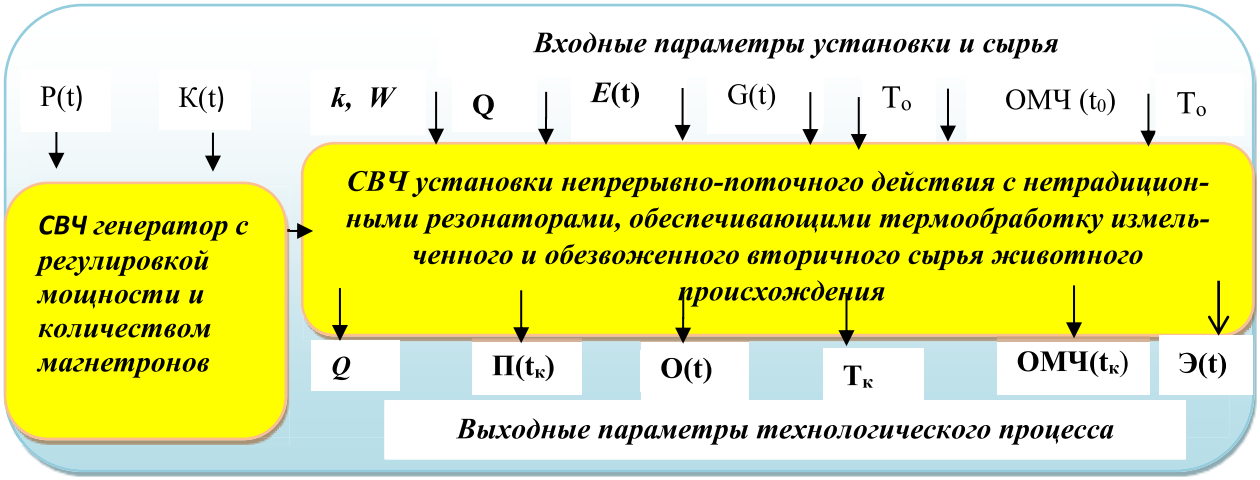


Рисунок 2.41 − Структурная схема модели функционирования СВЧ установки для термообработки сырья: P(t) – мощность генератора; K(t) − количество магнетронов; k, W – фактор диэлектрических потерь и влажность сырья; Q – собственная добротность резонатора;; E(t) − напряженность ЭП; G(t) – масса сырья в резонаторе; ОМЧ(t_o), ОМЧ ($t_к$) – исходное и конечное общее микробное число в сырье; Q – производительность установки ; T_o, $T_к$ – начальная и конечная температура сырья; O(t) – органолептические показатели продукта; W – энергетические затраты; П – поток мощности излучений установки; Э – экономическая эффективность

2.10 Функциональная структура автоматизированного управления технологическим процессом термообработки сырья в СВЧ установке

Для соблюдения последовательности технологического процесса необходим оперативный контроль параметров термообработки непищевых отходов убоя животных и определение управляющих воздействий на объект регулирования. Традиционная схема автоматизированной системы регулирования основана на базе отбора и передачи информации (выбора датчика), фиксации полученной информации (использование приборов) и подачи управляющего воздействия (регуляторы) на регулирующие органы (исполнительные механизмы), стабилизирующие параметры технологического процесса [62].

Нами разрабатываются микроволновые технологии с новыми рабочими камерами, обеспечивающими интенсификацию существующих технологических процессов. При этом увеличивается производительность установки, изменяются параметры процесса, усложняются внутренние связи между узлами,

входящими в состав установки. Эти факторы значительно усложняют оперативный контроль и управление. Поэтому обеспечение оптимального протекания процесса становится задачей *актуальной.* При значительно возросшей производительности установки небольшие отклонения технологического режима заметно влияют на эксплуатационные затраты. В этих условиях традиционные методы контроля и управления становятся недостаточно эффективными, и технологические процессы следует оснащать автоматизированными системами управления. При всем разнообразии конструкционного оформления СВЧ установок можно выделить три основных элемента: информационный блок, блок моделирования процессов и блок управления (рис. 2.42). Совместное функционирование блоков системы управления определяется алгоритмом функционирования.

Информационный блок системы служит для приема информации от технологического процесса и ее переработки с целью реализации алгоритма оптимизации. Он может обеспечивать:

- прием текущей информации от датчиков и ее переработку в кодовую систему;
- коррекцию принимаемой информации (учет изменения электрофизических характеристик сырья, согласование информации по времени);
- расчеты (массы сырья в резонаторе, вспомогательных параметров и т.п.);
- накопление информации и ее обработку;
- автоматическую проверку достоверности принимаемой информации и ее коррекцию, индикацию, регистрацию основных технологических параметров (температуру, влажности);
- контроль и сигнализацию работы основных устройств системы управления.

Количество реализуемых функций определяется в процессе разработки системы с учетом особенностей технологического процесса и конструкции рабочей камеры установки.

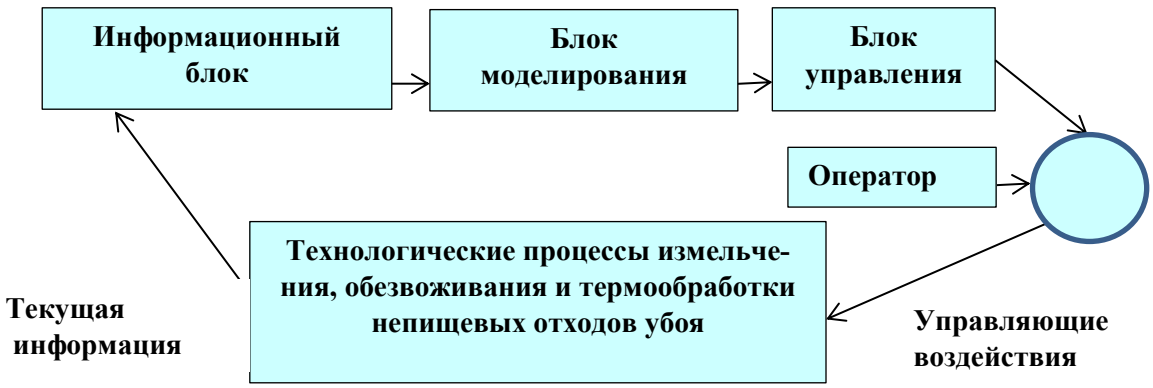


Рисунок 2.42 – Функциональная структура автоматизированной системы управления технологическим процессом термообработки непищевых отходов убоя животных

Блок моделирования обеспечивает формирование математического описания объекта управления и расчета управляющих воздействий. Он выполняет следующие функции: формирование математической модели процесса; адаптацию модели к реальным условиям с использованием текущей информации о технологическом процессе; формирование критериев оптимизации процесса; формирование численных значений основных ограничений задачи оптимизации, исходя из требований оптимальности процесса; расчет рекомендуемого оптимального режима и проверку его реализуемости.

Блок управления служит для непосредственного воздействия на объект управления с целью автоматического поддержания рекомендуемого системой оптимального режима. В резонаторной камере сырье получает до 60% от всего количества тепла. Задача автоматизированной системы регулирования процессов, происходящих в СВЧ установке – поддержание дозы воздействия ЭМП-СВЧ, обеспечивающей постоянство температуры продуктов на ее выходе при обеспечении нормальных условий работы генератора. Обеспечить оптимальную работу технологического комплекса сложной СВЧ установки, выполняющей транспортировку, измельчение, обезвоживание, термообработку и обеззараживание сырья, возможно эффективной системой автоматического управления, сочетающей контроль и автоматизацию параметров технологического процесса и оптимизацию воздействующих факторов.

Автоматизированная система управления технологическим процессом СВЧ установки выполняет следующие функции:

1. Автоматический контроль и дистанционное управление с применением схем взаимосвязанного регулирования, а также систем стабилизации и локальной оптимизации отдельных технологических параметров;

2. Автоматический сбор и обработку информации и оптимальное управление объектом;

3. Контроль параметров технологических процессов выполняется как показывающими, так и регистрирующими приборами в непрерывном режиме. Информация о процессе передается при отклонении параметров от заданных значений.

Оптимальное управление технологическими установками осуществляется с помощью автоматизированных систем управления, имеющих общую функциональную структуру.

Анализ технологических процессов. Для анализа принято несколько разработанных СВЧ установок, разнообразных по механизму осуществления технологических процессов. Они предназначены для переработки непищевых отходов убоя скота с целью производства кормов для животных. Анализ этих процессов позволяет рассмотреть все факторы, по которым определяется целесообразность создания автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП). Целью совершенствования управления процессом переработки непищевых отходов убоя животных является ликвидация потерь массы и улучшения качества кормового продукта [3, 9]. Существующие технологии переработки непищевых отходов убоя скота расцениваются как прогрессивные, хотя они изобилуют технологическими операциями, выполняемыми вручную. Высокая степень отсутствия повторения геометрических размеров и формы, разнообразие многокомпонентного сырья не позволяет на современном уровне знаний создать оборудование для комплексной электрифицированной переработки боенских отходов скота. Поэтому следует проанализировать содержание технологических операций при убое скота, ход операций, периодичность и методы контроля, а также оценивать возможность автоматизации контроля и управления. Исследования показывают, что в убойных цехах фермер-

ских хозяйств до 60% технологических операций процесса контролируются только визуально, а управление или автоматизация не поддается из-за отсутствия методов или необходимых технических средств. В этом случае можно создать АСУ ТП информационного типа с использованием получаемой информации для реализации организационных функций.

При разработке установок для термообработки сырья учитываются объемный характер воздействия, избирательность нагрева и высокий коэффициент преобразования СВЧ энергии в тепловую энергию. Широкое распространение СВЧ технологии в с.-х. производстве сдерживается по многим причинам, в том числе отсутствием маломощных технических средств, обеспечивающих сочетание процессов измельчения, обезвоживания сырья с термообработкой. При этом возникают трудности поддержания постоянной температуры нагрева сырья, т.е. исключения неравномерности нагрева сырья по всему объему. Это связано со стоячими волнами в объемном резонаторе. Особенностью стоячих волн является наличие пространственных максимумов и минимумов электромагнитного поля [18,58].

Несмотря на большое количество работ, направленных на определение степени равномерности нагрева в ЭМПСВЧ, остается полностью неизученным вопрос о распределении температурных полей в объеме влажного сырья. Для увеличения равномерности нагрева сырья в ЭМПСВЧ используют:

- *механическое перемещение сырья в резонаторной камере*;

- *изменение геометрии и количества излучающих щелей волновода, распределение магнетронов по рабочей камере;*

- *воздействие на сырье двумя близкими частотами*;

- *возмущение ЭМП* (добавления диссектора).

Однако указанные выше мероприятия не могут полностью обеспечить равномерность нагрева сырья в рабочей камере СВЧ установки, предназначенной для непрерывного режима работы. За эти годы выполнены разнообразные исследования в области сущности СВЧ нагрева, методов расчета установок СВЧ нагрева, их конструкций, технологий разнообразных процессов термооб-

работки под воздействием ЭМПСВЧ, исследований диэлектрических свойств различного сырья в области СВЧ диапазона.

Структурная схема СВЧ установки с тремя магнетронами приведена на рис. 2.41 [25, 58].

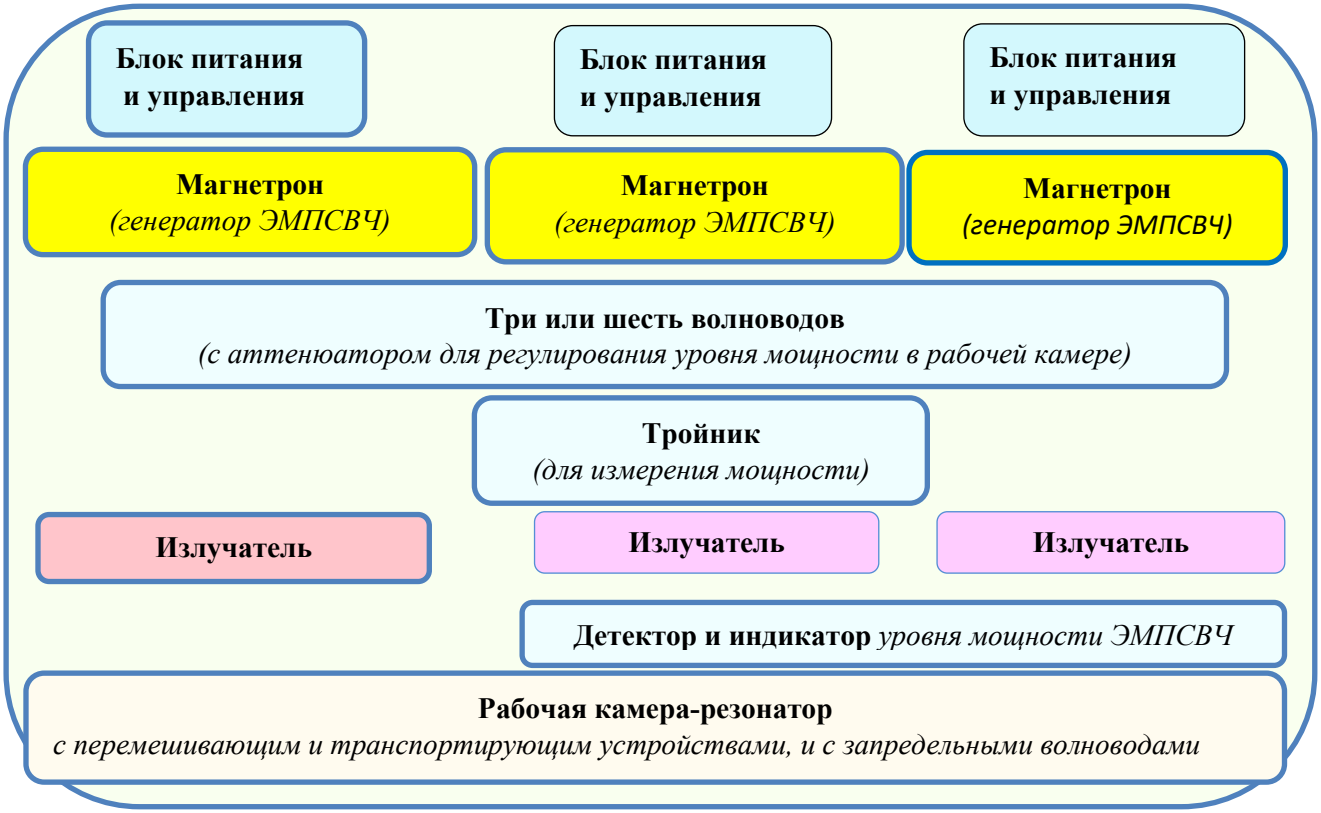


Рисунок 2.43– Структурная схема СВЧ установки с тремя источниками в цилиндрическом резонаторе

2.11 Выводы по разделу

Реализация требований, предъявляемых к конструкционному исполнению СВЧ установок для термообработки вторичного сырья животного происхождения, осуществляется следующим образом:

1. Непрерывность технологического процесса достигается за счет использования транспортирующих и измельчающих механизмов.

2. Высокая напряженность ЭП, при которой бактериальная микрофлора уничтожается, достигается за счет уменьшения объема резонатора, использования особой конфигурации резонатора с несколькими магнетронами, например, квазистационарного тороидального резонатора с конденсаторной частью.

3. Высокая собственная добротность резонатора достигается за счет его сферического или эллипсоидного исполнения.

4. Радиогерметичность установки достигается за счет использования экранирующего корпуса из неферромагнитного материала и запредельных волноводов вместо приемных и разгрузочных патрубков, а также за счет использования усеченных конических резонаторов.

5. Универсальность установки для широкого класса сырья достигается при использовании измельчающего и обезвоживающего механизмов.

6. Равномерность распределения электрического поля в резонаторе достигается за счет интерференции стоячих волн в сферическом резонаторе или в кольцевом резонаторе бегущих волн, а также за счет многократного воздействия ЭМПСВЧ.

7. Вариативность производительности установки достигается за счет использования нескольких маломощных генераторов с воздушным охлаждением.

8. Для санитарной обработки установки после проведения термообработки сырья предусмотрена возможность доступа внутрь резонаторов.

Анализируя конструкционные исполнения объемных резонаторов СВЧ установок, можно сделать выводы:

1) все резонаторы, созданные с использованием маломощных магнетронов с воздушным охлаждением - мультимодовые, т.е. в резонаторе генерируется большое количество типов волн;

2) для передачи энергии от магнетрона к нагрузке без потерь необходимо согласовать все элементы электродинамической системы (генератор-резонатор-сырье);

3) изменение диэлектрических и теплофизических характеристик сырья при воздействии ЭМПСВЧ может привести к неравномерному нагреву, поэтому необходимо предусмотреть перемешивающие механизмы;

4) самой максимальной собственной добротностью обладают резонаторы сферического исполнения, так как максимальный объем резонатора при мини-

мальной площади поверхности возможен только при сферическом исполнении резонатора;

5) для возбуждения электрического поля высокой напряженности конструкционное исполнение резонатора должно содержать конденсаторную часть или коническую часть;

6) подача измельченного и обезвоженного сырья в резонатор и выгрузка продукта должна осуществляться через запредельные волноводы.

Поэтому в СВЧ установках следует проектировать сферические резонаторы, у которых добротность составляет 6000-10000. Ее величина одного и того же резонатора может изменяться в широких пределах за счет изменения связи с нагрузкой [45, 58, 110, 111]. При использовании многомодовых резонаторов геометрия электромагнитного поля эффективнее взаимодействует с сырьем при определенном значении диаметра резонатора. Например, максимум интенсивности нагрева достигается тогда, когда диаметр резонатора равен длине волны ЭМП. Поэтому при проектировании резонаторов следует учитывать, что только при его *сферическом исполнении* можно достичь максимальной собственной добротности резонатора.

На основании теоретических исследований получены нижеприведенные результаты. Предложено математическое выражение, описывающее динамику нагрева непищевых мясных отходов в ЭМПСВЧ при разных напряженностях электрического поля с учетом изменения их диэлектрических и теплофизических параметров в процессе термообработки. Проведен комплексный анализ электродинамических параметров нетрадиционных резонаторов, а именно оценка собственной добротности, напряженности электрического поля и равномерность его распределения в объеме и в сырье.

Определены пути достижения равномерного нагрева многокомпонентного непищевого мясного сырья в установках резонаторного типа посредством модернизации и оптимизации многогенераторных систем возбуждения ЭМП в объемном резонаторе, а также предварительного измельчения и обезвоживания сырья. Определены основные технологические параметры и режимы работы

СВЧ установок непрерывно-поточного действия с разными нетрадиционными резонаторами (продолжительность термообработки, доза воздействия, производительность установки, энергетические затраты и т.п.). Предложен метод расчёта геометрии резонаторных камер, обеспечивающих равномерное распределение электрического поля в объёме обрабатываемого сырья. Выявлены СВЧ установки непрерывно-поточного действия с нетрадиционными резонаторами, позволяющими наиболее полно реализовать термообработку и обеззараживание измельченного и обезвоженного непищевого мясного сырья при высокой напряженности электрического поля. Предложена методика определения параметров электродинамической системы при многогенераторном способе возбуждения ЭМПСВЧ в комбинированном резонаторе с частичным заполнением сырья, позволяющая оценить распределение теплового потока в объёме сырья.

Представлена методика исследования теплового поля в объёме сырья, позволяющая определить эффективность распределения электромагнитного поля в резонаторной камере для обеспечения требуемого технологического процесса термообработки сырья. Предложены направления совершенствования систем возбуждения электромагнитного поля от нескольких генераторов в резонаторных камерах, позволяющие наиболее полно обеспечить заданный технологический процесс термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме при механическом перемещении сырья. Разработаны новые методы построения СВЧ установок, позволяющие реализовать равномерное распределение температуры по объему сырья за счет суперпозиции излучений от разных источников.

Разработана новая концепция построения СВЧ установок для термообработки влажного сырья с минимальным разбросом температурного поля, основанная на принципах: СВЧ установка содержит одинаковые по конструкции модули, содержащие индивидуальные резонаторы, в которых энергия ЭМП распространяется взаимно-противоположных направлениях и перпендикулярно направлению движения сырья; СВЧ установка содержит несколько источников в одном резонаторе.

Исследования показывают, что векторы напряженностей электрического поля собственных мод резонаторов в соответствии с графической визуализацией и текстовой информацией на рисунках равномерно распределены по всей рабочей области. Амплитудные значения напряженности ЭП концентрируются в наибольшей степени по месту расположения излучателя в резонаторных камерах. Результаты вычисления и визуализации распределения электромагнитного поля в режиме переходного процесса в программе CST Microwave Studio в резонаторах: сферическом, цилиндрическом, цилиндрическом, тороидальном, шнековом, биконическом, тетроконическом, коаксиальном и комбинированном позволили комплексно *оценить* изменение основных параметров электродинамической системы «генератор-резонатор». Именно: собственную добротность, напряженность ЭП *и выявить* эффективные конструкционные исполнения резонаторов, удовлетворяющих по производительности фермерским хозяйствам, *разработать* алгоритм согласования конструкционных параметров с режимами работы установки.

Анализ полученных результатов показывает, что термообработку и обеззараживания непищевых отходов убоя животных производительностью 30-40 кг/ч в непрерывном режиме может обеспечить СВЧ установка с 3-4 магнетронами, излучатели которых направлены в резонатор разных конфигураций.

Вычислены значения собственной добротности резонаторов: сферических, тороидальных, цилиндрических, биконических, тетроконических, коаксиальных, комбинированных и др. Значения собственной добротности резонаторов, вычисленные в программе и через конструкционные параметры (его объем и площадь поверхности, пользуясь программой Mathcad 15), при равном их объеме с достаточной доверительной вероятностью совпадают. Максимальной собственной добротностью (8000-10000) обладает сферический резонатор, где напряженность ЭП с тремя магнетронами достигает 0,6-1,0 кВ/см; далее биконический резонатор (7098), где напряженность ЭП 0,6-3,5 кВ/см; собственная добротность цилиндрических резонаторов (перфорированных, щелевых) не превышает 6530, в них напряженность ЭП равна 0,6-1,6 кВ/см; в тетрокониче-

ских и тороидальных резонаторах с собственной добротностью 4000-6000 можно возбудить ЭП напряженностью до 3,5 кВ/см; в изготовленном комбинированном резонаторе с собственной добротностью 9270 напряженность ЭП составляет 0,6-3,5 кВ/см.

Извлекая из разработанных нетрадиционных резонаторов отдельные узлы, удовлетворяющие критериям проектирования, предложены три установки с комбинированными резонаторами для термообработки и обеззараживания сырья, предварительно обезвоженного и измельченного.

Объемный резонатор характеризуется набором параметров, таких как: резонансная частота собственных колебаний; собственная (ненагруженная) добротность, определяемая тепловыми потерями в резонаторе. Резонансная частота определяется размерами резонатора. Разработан алгоритм согласования конструкционных параметров резонатора и параметров электродинамической системы с технологическими критериями, реализуемыми в СВЧ установке для термообработки непищевых отходов убоя животных. Он включает определение необходимой мощности электромагнитных излучений для снижения бактериальной обсемененности сырья.

3 . МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ СВЧ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

3.1 Общий план исследований

3.1.1 Методика проектирования СВЧ установок непрерывного режима работы

В разделе приведены методика проектирования СВЧ установок для термообработки непищевых отходов животного происхождения, частные методики исследований, характеристики современной контрольно-измерительной аппаратуры, операционно-технологическая схема термообработки непищевых отходов убоя и переработки птицы [147, 158, 159]. Описание конструктивного исполнения разработанных установок для термообработки непищевых отходов животного происхождения с использованием энергии электромагнитных излучений. Проводимые по общему плану теоретические и экспериментальные исследования позволяют выявить рациональные параметры СВЧ установок, изготовить опытные образцы, испытанные в производственных условиях. Микроволновая технология имеет ряд преимуществ перед традиционными методами термической обработки: это высокая скорость нагрева и его равномерность; сохранение витаминов в продукте; возможность мягкого режима термообработки; создание заданной температурной неравномерности путем подбора конфигурации резонаторов; возможность обеспечения радиогерметичности установки при непрерывном режиме работы с применением экранирующего корпуса и запредельных волноводов; отсутствие контакта с теплоносителем и генерация тепла в самом сырье сводят к минимуму потери тепла на нагрев оборудования и во внешнюю среду; улучшение условий труда за счет сокращения выделения газообразных веществ, пара и тепла в окружающую среду [48, 148, 157].

Имеющиеся СВЧ установки, изготовленные с использованием нескольких источников энергии, требуют специальных средств защиты магнетронов от отраженной мощности; в них сложно обеспечить равномерность нагрева сырья. В связи с этим нами проектируется СВЧ установка, снабженная маломощными источниками энергии (0,8-1,2 кВт) с воздушным охлаждением и не требующи-

ми защиты от отраженного потока излучений, обеспечивающих равномерность нагрева сырья за счет использования вращающегося сферического резонатора, заполненного малым объемам сырья, согласованным с глубиной проникновения ЭМПСВЧ [58, 155, 156]. Сложный характер взаимодействия количества выделяющейся теплоты и глубины проникновения электромагнитных излучений приводит к необходимости подбора эффективного объема обрабатываемого сырья. Это необходимо, чтобы не наблюдалось перегрева его наружных (при больших значениях коэффициента поглощения) и внутренних слоев (при малых значениях коэффициента поглощения) [149-151].

Основные критерии, реализованные при разработке СВЧ установок [152-154]:

- непрерывность технологического процесса варки и обеззараживания непищевых отходов убоя животных;
- высокая напряженность электрического поля, при которой происходит снижение бактериальной обсемененности продукта, достигающаяся за счет использования конических и тороидальных резонаторов;
- высокая собственная добротность резонатора, способствующая повышению КПД установки;
- электромагнитная безопасность достигается за счет использования экранирующего корпуса и запредельных волноводов, совмещающих функции приемного и разгрузочного патрубков, а также за счет использования конических и биконических резонаторов;
- универсальность установки для широкого состава непищевых отходов разной влажности достигается за счет предварительного измельчения и обезвоживания сырья, а также дополнительного измельчения в процессе термообработки с учетом глубины проникновения волн;
- равномерность распределения электрического поля и сырья в резонаторе – за счет использования перемешивающего механизма и правильного расположения нескольких излучателей в одном резонаторе с обеспечением защиты соседних магнетронов от отраженного потока излучений;
- вариативность производительности установки достигается за счет использования нескольких маломощных СВЧ генераторов с воздушным охлаждением, обеспечивающих многократное воздействие ЭМПСВЧ на сырье;
- возможность облегчённого варианта демонтажа узлов установки для обеспечения санитарной обработки после проведения термообработки сырья.

Методика разработки основных узлов многогенераторных радиогерметичных СВЧ установок, состоящих из маломощных магнетронов с воздушным охлаждением, приведена на рис. 3.0.

МНОГОГЕНЕРАТОРНЫЕ РАДИОГЕРМЕТИЧНЫЕ СВЧ УСТАНОВКИ,
с о с т о я щ и е и з
ИСТОЧНИКОВ ЭМИ – МАГНЕТРОНОВ *с воздушным охлаждением,*
излучатели направлены ***в один*** **РЕЗОНАТОР** или
каждый **РЕЗОНАТОР** ***с индивидуальным*** *излучателем*

По конструкционному исполнению резонаторы *выполнены*					
сферические	***тороидальные***	***цилиндрические***	***конические***	***комбинированные***	***биконические***
эллипсоидные	***коаксиальные***	***призматические***	***шнековые***		***в виде астроиды***
д о л ж н ы с о д е р ж а т ь					***без запредельных волноводов***
з а п р е д е л ь н ы е в о л н о в о д ы					

РЕЗОНАТОРЫ *могут быть выполнены из:*
неферромагнитного или диэлектрического материалов

стационарные			передвижные			вращающиеся		
с перфорацией	***без перфорации***	***щелевые***	***с перфорацией***	***без перфорации***	***щелевые***	***с перфорацией***	***без перфорации***	***щелевые***

Механизмы, транспортирующие сырье через резонатор - это

терочные диски	***шнеки***	***роторы***	***вибраторы***	***ячеистые барабаны***	***ленточные транспортеры***	***насос***	***самотеком***

К О М Б И Н И Р О В А Н Н Ы Й Р Е З О Н А Т О Р		**БИКОИЧЕСКИЙ**
КОНУС	***соединить с***	***без запредельного волновода***
ТЕТРОКОНУС	***С ПОЛУСФЕРОЙ или СО СФЕРОЙ***	

СЫРЬЕ		
измельченное высокой влажности	***измельченное обезвоженное***	***жиросодержащее***
продукт – вязкая масса	***продукт – рассыпчатая масса***	***продукт - вытопленный жир и шквара***

Рисунок 3.0 – Методика разработки основных узлов СВЧ установки

Непрерывный режим работы СВЧ установки можно обеспечить за счет транспортирования сырья через резонатор, за счет передвижных или вращающихся частей резонатора, но с использованием запредельных волноводов для ограничения электромагнитных излучений. Транспортирующим механизмом может быть в зависимости от консистенции сырья: диск, шнек, ротор, барабан, вибратор, насос и т.п. В случае использования свободно подвешенной полусферы как части резонатора, на выпуклую поверхность которой влажное измельченное сырье падает, перемещение его через ЭМП происходит без транспорти-

рующих механизмов, следовательно, термообработка происходит при сниженных эксплуатационных затратах. Биконический резонатор обеспечивает радиогерметичность установки без *экранирующего корпуса* и *запредельных волноводов* из-за имеющегося критического сечения на вершинах конусов, от которого волны отражаются в обратную сторону. В случае согласования размеров прорезей с критическим сечением для сантиметровых волн при подаче сырья и выгрузки продукта через вершины биконуса, радиогерметичность обеспечивается.

Методология проектирования СВЧ установок для термообработки вторичного сырья приведена на рис. 3.1. Она предусматривает реализацию критериев функционирования установок вариацией конфигурации объемных резонаторов с обоснованными конструкционно-технологическими параметрами с учетом критериев оценки кормовой ценности продукта путем использования алгоритма теоретических и экспериментальных исследований.

Методология проектирования СВЧ установок для термообработки вторичного сырья животного происхождения

Критерии функционирования установок:

- непрерывность технологического процесса;
- максимальная собственная добротность резонатора;
- максимальная напряженность электрического поля;
- сочетание воздействия ЭМПСВЧ с процессами дополнительного измельчения, вибрации;
- радиогерметичность резонатора;
- универсальность установки для широкого класса сырья;
- равномерность распределения ЭП в резонаторе и в сырье;
- варьирование производительности установки;
- использования маломощных магнетронов с воздушным охлаждением;

Критерии оценки кормовой ценности белкового продукта:

- снижение микробиологической обсемененности продукта;
- снижение эксплуатационных затрат на технологический процесс;
- сохранение кормовой ценности (органолептические показатели белкового продукта)

Алгоритм теоретических и экспериментальных исследований

исследовать:
- элементы теории распределения волн в резонаторе с сырьем;
- распределения ЭМП в объемных резонаторах разной конфигурации;
- теплообменные процессы в сырье;
- собственную и нагруженную добротности резонаторов;
- выявить математические выражения, описывающие динамику эндогенного нагрева сырья при изменении их электрофизических параметров;
- получить регрессионные зависимости для оптимизации технологических параметров установок для термообработки вторичного сырья;
- оценить радиогерметичность СВЧ установок и экономическая эффективность внедрения их в фермерское хозяйство.

Рисунок 3.1 – Методология проектирования СВЧ установок для термообработки непищевых отходов животного происхождения

Методология исследования электродинамических процессов воздействия ЭМПСВЧ при термообработке вторичного сырья*:*

***1. Обзор способов и технических средств*:** 1.1. Анализировать температурные и влажностные зависимости электрофизических параметров отдельных компонентов сырья в микроволновом диапазоне и выявить эмпирические выражения.1.2. Выявить пути совершенствования технологии и технических средств для термообработки сырья, обеспечивающие снижение эксплуатационных затрат и повышения кормовой ценности. Исследуемое сырье: отходы животного происхождения (*кровь убойных животных и птиц, жиросодержащее сырье, кишечник, легкие, селезенка и т.п.*).

2. Теоретические исследования: 2.1. Исследовать динамику нагрева сырья при разных напряженностях ЭП и разработать математические модели при изменении электрофизических параметров (диэлектрической проницаемости, фактора потерь, плотности, теплоемкости сырья). 2.2. Обосновать параметры электродинамической системы (напряженность ЭП, собственную добротность и объем резонаторов), обеспечивающие снижение бактериальной обсемененности продукта. 2.3. Исследовать распределение ЭМПСВЧ, собственную добротность, плотность тока в резонаторах и обосновать соответствие их конфигурации по критериям проектирования установок для термообработки непищевых

отходов убоя животных. 2.4.. Исследовать технологические процессы термообработки и обеззараживания сырья в резонаторах: *цилиндрических; тороидальных; сферических.*

3. Экспериментальные исследования:

3.1. Исследовать динамику нагрева сырья в рабочей камере СВЧ установки.

3.2. Провести сравнительный анализ химического состава продукта после воздействия ЭМПСВЧ и обработки традиционным способом.

3.3. Исследовать микробиологические и органолептические показатели вторичного сырья от дозы ЭМПСВЧ. Варьируемые технологические параметры (*влажность сырья, размеры измельченных частиц, концентрация компонентов непищевых отходов, доза воздействия ЭМПСВЧ*).

3.4. Оптимизировать режимы работы СВЧ установки непрерывно-поточного действия для термообработки вторичного сырья через регрессионные модели, учитывающие основной критерий процесса – *повышение качества продукта при сниженных эксплуатационных затратах.*

3.5. Исследовать распределение теплового потока по объему многокомпонентного сырья в процессе его воздействия ЭМПСВЧ.

3.6. Исследовать поток мощности СВЧ излучения вблизи СВЧ установки с комбинированным резонатором.

3.7. Испытать СВЧ установку непрерывно-поточного действия для термообработки и обеззараживания сырья в производственных условиях.

3.8. Анализировать эксплуатационные затраты на термообработку сырья в базовом и проектном вариантах.

3.9. Выработать рекомендации производству и разработать техническое задание на разработку опытного образца СВЧ установки и технологии термообработки вторичного сырья для повышения кормовой ценности.

Структура исследований технологического процесса термообработки непищевых отходов животного происхождения приведена на рис. 3.2 и 3.3.

Исследуемое сырье *– кровь убойных животных и птиц, непищевое жировое сырье, кишечник, легкие, почки, селезенка, половые органы, кутикула мышечных желудков и т.п.*

Процесс термообработки непищевых отходов животного происхождения предназначен для: снижения микробиологической обсемененности продукта; повышения кормовой ценности белкового продукта.

Сущность процесса. В результате эндогенного нагрева происходят физико-химические изменения основных компонентов непищевых отходов.

Варьируемые технологические параметры. Влажность сырья, концентрация компонентов отходов, доза воздействия ЭМПСВЧ.

Критерии оптимизации. Сохранение кормовой ценности белкового продукта, снижение эксплуатационных затрат на процесс термообработки непищевых отходов.

Воздействующие факторы. Электромагнитное поле сверхвысокой частоты, центробежное поле, механическое разрушение структуры сырья.

Изучаемые теоретические аспекты. Исследовать электрофизические характеристики многокомпонентных непищевых отходов животного происхождения. Влияние компонентов сырья на параметры электродинамической системы СВЧ установки. Способ воздействия ЭМПСВЧ на многокомпонентное сырье в резонаторах, обеспечивающих непрерывность технологического процесса с получением математических моделей процесса функционирования СВЧ установок. Аналитические зависимости, позволяющие обосновать конструкционно-технологические параметры СВЧ установки, обеспечивающей снижение микробиологической обсемененности и сохранение кормовой ценности продукта. Картина распределения ЭМПСВЧ в разработанных резонаторах.

Энергоемкость процесса термообработки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения.

Основные эксплуатационно-технологические требования к СВЧ установке для повышения кормовой ценности белкового сырья: возможность обеспечения непрерывного режима работы, максимальной напряженности ЭП, эффективной дозы при многократном воздействии ЭМПСВЧ

Рисунок 3.2 – Структура исследований процесса термообработки непищевых отходов животного происхождения, воздействием ЭМПСВЧ

Основные эксплуатационно-технологические требования к СВЧ установке: возможность обеспечения высокой напряженности ЭП и равномерности нагрева сырья при соблюдении электромагнитной безопасности.

Технологическая операция термообработки вторичного сырья животного происхождения	***Общие требования к методологии и технологии***
	Обозначить критерии оценки результатов
	Анализировать характеристики сырья
	Анализировать технологии и установки для реализации процесса термообработки сырья, и результаты в стандартном представлении
	Разработать программные и технические средства для реализации инновационной технологии переработки сырья с теоретическими и экспериментальными подтверждениями
	Оценить результаты в базовом и проектном вариантах

Рисунок 3.3 – Общие требования к методологии проектирования

3.1.2 Использованная контрольно-измерительная аппаратура

Источниками СВЧ энергии служили магнетроны MW20МД, CE283GNR, H–MW1317, DL–63L 20S, работающие на частоте 2450 МГц, потребляемой мощностью 1100-1200 Вт. Контроль биологически опасных электромагнитных излучений (напряженность и плотность потока энергии) около СВЧ установок осуществляли с помощью измерителя электромагнитных излучений ПЗ-31 (до 40000 МГц, 615В/м). Измерение температуры в сырье проводили с помощью хромель-копелевой термопары, тепловизора, измерителя температуры FLUKE 62 Mini (рис. 3.4). Вычисления и визуализация распределения электромагнитного поля в разработанных резонаторах проведены в режиме переходного процесса в программе CST Microwave Studio. Модель разделения сырья на твердую и жидкую фракцию выполнена в программе Flow Vision 2.5. Многокритериальную оценку технологического процесса воздействия ЭМПСВЧ на сырье проводили через регрессионные модели, полученные на основе теории активного планирования трехфакторного эксперимента типа 2^3 в программах Statistic 12.0, Excel 10.0. Качество обработанного продукта оценивали с помощью инфракрасного анализатора «SpectraStar 2400».Трехмерное моделирование конструктивного исполнения СВЧ установок проводили в программе Компас-3D V17.

Рисунок 3.4 – Измерительные приборы: а), б) токоизмерительные клещи CAUTION с для измерения постоянного и переменного тока до 1000А, 600 В, емкости, мощности и температуры; в) фототахометр ДТ 2234В; г) тепловизор FLIRi335; д) измеритель температуры FLUKE 62 Mini; е) преобразователь частоты CIMP-F7Z42P2

3.1.3 Анализ преимуществ работы СВЧ установок в периодическом или непрерывном режимах

Разработаны два вида СВЧ установок для термообработки и обеззараживания непищевых отходов убоя животных: периодического и непрерывного действия. СВЧ установка непрерывного действия отличается высокими технико-экономическими показателями процесса термообработки по сравнению с установками периодического действия [71]. При этом удельный расход электроэнергии ниже на 15-25 %; технологический процесс воздействия ЭМПСВЧ проводится в эффективном режиме без переключения мощности генератора путем соответствующего распределения энергии в пространстве взаимодействия; обеспечивается максимальная долговечность генератора путем создания оптимальных условий работы [115, 184, 186].

Появляется возможность полностью механизировать и автоматизировать процесс термообработки сырья; возникает возможность создать систему, отвечающую технологическим требованиям с учетом особенностей обрабатываемого непищевого сырья. Производительность на 1 кВт колебательной мощности магнетрона в установках периодического действия при работе в режиме варки

непищевых отходов убоя животных составляет не более 5-6 кг/ч, а в установках непрерывного действия эта величина достигает до 12-15 кг/ч.

В СВЧ установках непрерывного действия при использовании нескольких маломощных генераторов, каждый из них может работать без синхронизации, а длительность простоя оборудования при замене отдельных блоков минимальная. Наличие нескольких генераторов в одном резонаторе дает усреднение суммарного поля, что приводит к высокой степени распределения электрического поля в рабочей камере и, соответственно, к равномерному нагреву сырья. С помощью фотоэлементов можно фиксировать перерывы подачи сырья в рабочую камеру и далее управлять индивидуальным режимом генераторов.

Автоматическое управление работой генераторов позволит избежать излишних потерь и предотвратить неравномерный нагрев сырья [33, 119, 198, 183].

3.2 Операционно-технологическая схема переработки мягких непищевых отходов животного происхождения

Ежегодно в мясной отрасли России образуется около 1 млн. тонн вторичных ресурсов, из которых перерабатывается около 20 % в промышленных условиях. Например, при переработке птицы общее количество непищевых отходов достигает 23,7-28, 3% от живой массы птицы, в том числе технические отходы составляют 11,9-14,3 % [108, 109]. Отходы мясной промышленности служат ценным сырьем для получения белковых кормов. Это непищевые отходы переработки сырья всех видов животных.

Известны различные варианты переработки отходов для применения на мясоперерабатывающих предприятиях мощностью от 3 до 30 тонн мяса в смену. Известны вакуумные котлы, где перерабатывают мягкое сырье, кровь. Их конструкция позволяет осуществлять в периодическом режиме варку и стерилизацию [109]. Известно, что цеха по переработке продукции животноводства и птицеводства постоянно сталкиваются с проблемой переработки непищевых отходов. Это ярко проявляется на малых фермерских хозяйствах, где количество голов скота не очень высокое**,** но требуется продуманный подход к пере-

работке отходов и эффективное использование продукции в качестве белкового корма. Непищевые отходы - это смесь твёрдых частиц, жидкости и жира. Решение проблемы переработки отходов убоя животных заключается в том, чтобы отделить твёрдые частицы прежде, чем их загрязняющие окружающую среду элементы вступят в химическую реакцию (растворятся) в жидкости, т. е обезвоживать и обеззараживать.

Известно, что технологический процесс переработки птицы включает ряд операций, в результате выполнения которых получают готовые продукты и технические отходы, используемые для производства животных кормов. В процессе убоя, обескровливания, потрошения животных и птиц накапливаются непищевые отходы. Их направляют в цех утилизации, где из них приготавливают белковые кормовые добавки. Выход крови составляет в среднем 4…5 % веса птицы. Сырье, направляемое на выработку животных кормов, отличается высоким содержанием влаги (65-75 %), из-за чего сырье является хорошей средой для развития микроорганизмов. Поэтому при производстве животных кормов из непищевых отходов должно выполняться основное условие – стерилизация, обеспечивающая уничтожение патогенной микрофлоры. Технологическая линия включает участки для сбора и транспортирования разнообразного по видам сырья, его мойки и измельчения. Известно, что при выработке вареных кормов сырье варят в котлах, жир сливают, разваренную массу направляют на корм свиньям. В варильниках сырье перерабатывают при температуре 90-100°С, поэтому в них загружают сырье, не требующее сильного нагрева для обезвреживания. Выход вареного продукта, получаемого при переработке не жиросодержащего сырья, составляет 50-52 % при влажности 60 %. После варки продукт следует подвергать измельчению, сушке. Выход сухого вареного продукта к весу сырого сырья составляет 24-26 % [109]. *Известны жироотделители,* предназначенные для обработки отходов с боен со степенью извлечения жира до 75-80%. В нем нагрев осуществляется острым паром до температуры 125°С в течение 2,5-3 ч с непрерывным отводом жира. При этом происходит

разварка и стерилизация продукта. *Известны* волчки-варильники, рушители-плавители, измельчители-плавители. Они имеют различную конструкцию, и в них совмещаются процессы измельчения и тепловой обработки сырья [109, 132, 145, 202]. К недостаткам таких аппаратов относится большая продолжительность контакта сырья с высокотемпературным теплоносителем, что снижает качество жира и шквары. Вареные корма вырабатывают в тех случаях, когда нет условий для производства сухих кормов. Разваренную массу используют для откорма свиней как ценную белковую добавку из побочных продуктов переработки отходов убоя птицы и животных. Известен способ получения мясокостной муки из отходов убоя животных в вакуумных котлах путем парового гидролиза, стерилизации и дальнейшей сушки сырья [6]. Такую технологию реализовать в цехе утилизации небольшой производительности сложно. Поэтому, следует разрабатывать технологию и технические средства, позволяющие обеззараживать продукт в процессе варки сырья для мясоперерабатывающих цехов малой и средней мощности. Известна технологическая линия производства кормовой муки из крови [109], куда входят участки сбора крови, ее нагрева, коагуляции, стерилизации, первичного обезвоживания и сушки. При этом основные процессы проводят в вакуумных котлах с большими затратами на электроэнергию (30 кВт·ч/т сырья) и пара (1200 кг/ т сырья). Причем прилипшая кровь к стенкам котла снижает передачу теплоты. Производство животных кормов и жиров для кормовых и технических целей осуществляется в специальных цехах технических фабрикатов. Производство животных кормов из отходов включает в себя стерилизацию, обеззараживание и консервирование сырья.

Вакуумные котлы с паровой рубашкой предназначены для тепловой обработки различных видов сырья в целях уничтожения патогенной микрофлоры с последующим консервированием и высушиванием шквары. Но фактически одновременно переработать в них мягкое, костное, жиросодержащее сырье и кровь невозможно, так как переработка жиросодержащего сырья вместе с технической кровью приводит при нагревании к образованию белково-жировых

эмульсий и вызывает потемнение жира из-за растворения в нем пигментов крови. Раздельная переработка различного по химическому составу сырья и плохая сортировка его до тепловой обработки приводит к выпуску белковых кормов с большими колебаниями показателей химического состава. Длительное пребывание сырья (свыше 24 ч) в производственных помещениях до тепловой обработки приводит к образованию жировых эмульсий и сложных коллоидных структур, в конечном итоге к снижению биологической ценности сырья. Для качественной переработки сырья с помощью существующих технологий и технических средств, необходимо сортировать сырье по химическому составу и учесть режимы обработки. Так, переработку *технической крови* следует осуществлять отдельно, преимущественно на кровяную муку. Она обрабатывается при более низком температурном режиме в отдельном котле. Технологической инструкцией установлены жесткие режимы тепловой обработки, гарантирующие выпуск кормов, благополучных в санитарном отношении, без учета энергоемкости операции и отрицательного воздействия тепла на сохранность компонентов сырья. Однако, известно, что повышение температуры стерилизации приводит к снижению усвояемости белков и разрушению лизина. Перенасыщенная влагой паровая фаза в котле снижает эффективность теплового воздействия греющей среды на микроорганизмы, что приводит к увеличению продолжительности процесса стерилизации. Оптимизация тепловой обработки сырья требует контроля за степенью его измельчения, так как мягкое жиросодержащее сырье, измельченное на частицы размером менее 25 мм, в условиях высоких температур под давлением способствует увеличению образования белковых коллоидов и жировых эмульсий. Поэтому в настоящее время *имеется острая необходимость улучшить* работу цехов технических фабрикатов. Возникла необходимость модернизации технологического процесса, обеспечивающего переработку непищевых отходов убоя скота без раздельного сбора в режимах, близких к оптимальным значениям. Оптимизация технологического процесса

переработки непищевых отходов убоя скота, сводится к нормализации химического состава продукта.

Аналогом является микроволновая вакуумная многоблочная установка «Муссон», предназначенная для термообработки продуктов. Контейнеры с продуктом помещаются внутрь резонаторных камер. Перемешивание продукта осуществляется вращением контейнеров. Микроволновая энергия подается от СВЧ генераторов, расположенных на торцах цилиндрических камер. Такая установка очень дорогая (однокамерная установка выше 400 тыс. рублей) и усложнена вакуумной системой. Производственную проверку технологии термообработки сырья и отработку режимных параметров осуществляли с помощью созданных опытных образцов СВЧ установок. Ниже приведено описание разработанных сверхвысокочастотных установок. В связи с этим разработана операционно-технологическая схема переработки мягких непищевых отходов животного происхождения (рис. 3.5).

Рисунок 3.5 – Операционно-технологическая схема переработки мягких непищевых отходов животного происхождения

3.3 СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ УСТАНОВКИ НЕПРЕРЫВНО-ПОТОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ СО СФЕРИЧЕСКИМИ РЕЗОНАТОРАМИ

3.3.1 Сверхвысокочастотная установка со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья (патент № 2667751)

Разработанная установка относится к мясожировому производству и может быть использована для термообработки и обеззараживания жиросодержащего сырья с целью вытопки жира при низких эксплуатационных затратах с получением безопасной продукции. Чтобы извлечь жир из мягкой жиросодержащей ткани необходимо разрушить белковую структуру, содержащую жир, перевести его из внутриклеточной фазы во внеклеточную свободную фазу и затем удалить во внешнюю среду. Сырьем является говяжий, свиной, бараний, птичий и костный жир, а именно: сальник, выстилающий брюшную полость жир, околопочечный и брыжеечный жир; обрезь свиного шпика; подкожный жир; вымя молодняка КРС; обрезь при разделке мяса; жир с желудка; жир после мездрения шкур; кишечный жир и т.п. Наибольшее распространение получил тепловой метод извлечения жира из жира-сырца – вытопка, которая осуществляется мокрым (с добавлением 20…50 % воды к массе сырья) и сухим способами [211].

Мокрый способ заключается в том, что в процессе переработки жир-сырец находится в непосредственном соприкосновении с водой или острым паром. Добавление воды или пара способствует разрушению жировой ткани, вытопку жира мокрым способом целесообразно проводить при кратковременном воздействии повышенных температур. В результате такой обработки получают трехфазную систему, содержащую жир, бульон и шквару [1, 39].

При сухом способе жир-сырец нагревается через контактную поверхность (паровую рубашку). Влага, содержащаяся в сырье, испаряется и удаляется под вакуумом. В результате тепловой денатурации белковых веществ оболочки жировых клеток, содержащих жир, разрушаются, и выделяется жир. После вытопки получается двухфазная система, состоящая из сухой жирной шквары и жира.

Недостатки – большие энергозатраты и снижение органолептических показателей вытопленного жира (вкуса, запаха и цвета). Для реализации такого способа используют шнековый плавитель, состоящий из цилиндрического корпуса, который снабжен паровой рубашкой и шнековым барабаном [176].

Известен аппарат для вытопки жира острым паром марки Я8-ФИБ. Он состоит из цилиндрического корпуса, барабана, трубопровода подачи сырья от волчка. На крышке корпуса расположены загрузочный люк и патрубок для подвода пара. В нижней части корпуса имеется патрубок для отвода жиромассы. Паровая камера образована боковыми стенками корпуса. Внутренняя и наружная перфорированные поверхности барабана расположены соосно одна в другой, в днище барабана установлены ножи. *К недостаткам* такого аппарата относится большая продолжительность контакта жиросодержащего сырья с высокотемпературным теплоносителем, что снижает качество жира и шквары [203]. Имеются существенные резервы повышения эффективности технологического процесса за счет совершенствования методов извлечения жира, сокращения его потерь, а именно использования энергии электромагнитных излучений для вытопки жира [208, 38, 41, 42].

Прототипом является патент № 2600697 «Сверхвысокочастотная установка для плавления жира». Измельченная жировая масса поступает в пространство между двумя дисками, где лопастным питателем частицы сырья направляются в сферические части резонаторной камеры, которые перфорированы. На монтажном каркасе установлен цилиндрический экранирующий корпус с коническим дном. Внутри него соосно расположена жестко закрепленная резонаторная камера, выполненная из цилиндрической и сферической частей. Каждая сферическая часть резонаторной камеры состоит из двух полусфер, нижняя полусфера перфорирована. На верхнем основании цилиндра имеется измельчающий механизм. Дно корпуса соединено с перекачивающим насосом для перекачивания расплавленной жиромассы. Разработанная СВЧ установка со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья

содержит полусферический экранирующий корпус 1, внутри которого по периферии окружности установлены перфорированные полусферы 2 (нижние части сферических резонаторов) (рис. 3.6) [161]. По центру полусферического экранирующего корпуса установлен неферромагнитный диск 5 на вал 12 электропривода. На верхней поверхности неферромагнитного диска имеются радиальные направляющие 6. Диск в совокупности с радиальными направляющими 6 выполняет функцию диссектора, обеспечивающего равномерное распределение электрического поля и измельченного сырья в сферические резонаторы 2, 3. Крышка 10 экранирующего корпуса выполнена в виде цилиндра. С внутренней стороны основания цилиндра установлены верхние полусферы 3 так, что стыкуются с нижними перфорированными полусферами 2, образуя перфорированные сферические резонаторы. Причем между полусферами имеется прорезь, размер которой не ограничивает вращение неферромагнитного диска 5 с радиальными направляющими. На верхнем основании экранирующей крышки по периметру установлены сверхвысокочастотные генераторы 4 так, что излучатели направлены через отверстия в сферические резонаторы 2, 3. В центр основания экранирующей крышки 10 установлены узлы измельчающего механизма (решетки, ножи, нагнетательный шнек) с приемным патрубком 8. Эту функцию измельчения сырья может выполнить «Волчек». При этом коаксиально с СВЧ генераторами 4 ближе к центру основания крышки установлены источники энергии килогерцовой частоты 9 так, что электрогазоразрядные лампы направлены внутрь, над неферромагнитным диском. На дне сферического экранирующего корпуса имеется отверстие, к которому пристыкован сливной патрубок с вентилем 13 и шестеренчатый насос 14. Цилиндрическая крышка 10 прикреплена к полусферическому корпусу с помощью шарнирных петель.

Технологический процесс термообработки жиросодержащего сырья происходит следующим образом. Включить электродвигатель привода диска, установленного на вал 12, после чего включить привод «Волчка» 7. Жиросодержащее сырье через приемный патрубок 8 с помощью «Волчка» измельчает-

ся и падает на вращающийся диск. Пространство между диском и крышкой экранирующего корпуса образует рабочую камеру. За счет центробежной силы и радиальных направляющих 6 измельченное сырье сбрасывается в перфорированные сферические резонаторы 2, 3.

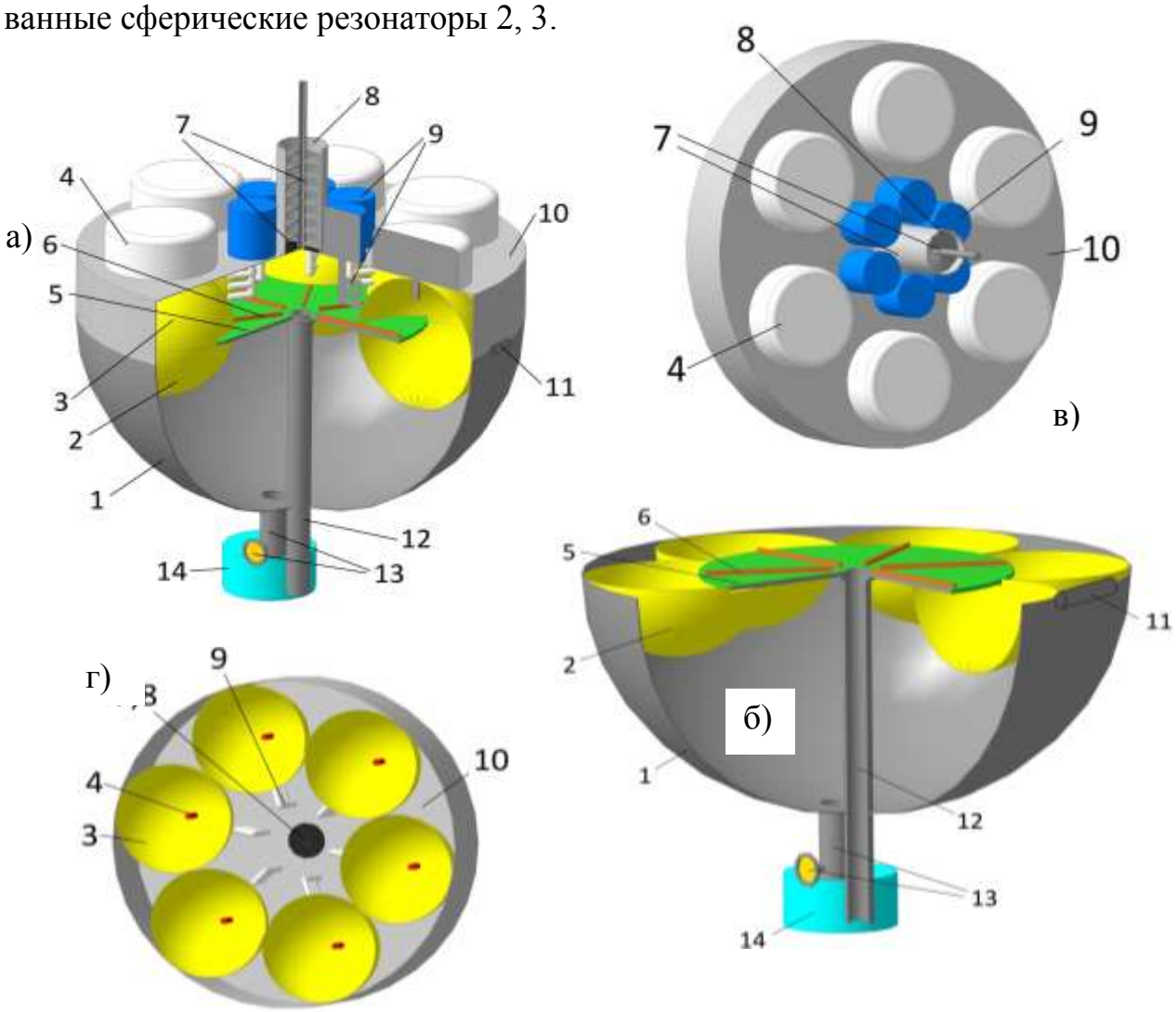


Рисунок 3.6 – Пространственное изображение СВЧ установки со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья: а) общий вид; б) нижний блок; в) верхний блок (вид сверху); г) верхний блок (вид снизу) 1 – экранирующий корпус; 2 – нижние полусферы; 3 – верхние полусферы; 4 – сверхвысокочастотные генераторные блоки; 5 – диск; 6 – направляющие из неферромагнитного материала; 7 – измельчающий механизм (ножи, решетки, нагнетательный шнек); 8 – приемный патрубок; 9 – источники энергии килогерцовой частоты с электрогазоразрядными лампами; 10 – крышка экранирующего корпуса; 11 – шарнирные петли; 12 – вал привода диска; 13 – сливной патрубок с вентилем; 14 – шестеренчатый насос

Если в резонаторах имеется сырье, то включить СВЧ генераторы 4 и генераторы килогерцовой частоты 9, электрогазоразрядные лампы которых коронируют при соприкосновении с сырьем и озонируют воздух в рабочей камере, что

обеспечивает бактерицидный эффект. Диссектор (неферромагнитный диск с направляющими 5, 6) способствует выравниванию электромагнитного поля в объеме сферических резонаторов. Измельченное сырье в перфорированных сферических резонаторах подвергается воздействию электромагнитного поля сверхвысокой частоты, эндогенно нагревается, происходит плавление жира, а шквара разрушается до мелких частиц и проходит через отверстия перфорации сферических резонаторов. Расплавленная жировая масса поступает в накопительную емкость (в полусферический экранирующий корпус) и насосом 14 перекачивается через сливной патрубок. Поток излучения через перфорацию в сферических резонаторах и прорези в них будет замыкаться в вытопленном жире после многократного отражения от сферической поверхности экранирующего корпуса. Продукт обеззараживается не только за счет озона, но и за счет высокой напряженности электрического поля сверхвысокой частоты. Поэтому объем каждого сферического резонатора не должен превышать 2,6 литра, а диаметр сферы рекомендуется брать не более 1,5 кратным длине волны, что обеспечивает высокую напряженность электрического поля при использовании маломощных СВЧ генераторов от микроволновых печей. Вытопленный жир и шквара через перфорацию резонатора выкачивается с помощью шестеренчатого насоса 14. Расход регулируется с помощью вентиля 13 в сливном патрубке. После окончания технологического процесса выключить «Волчок», привод диска и СВЧ генераторы, далее насос. Для санитарной обработки рабочей камеры установки открыть крышку 10, которая закреплена через шарнирные петли 11 с полусферическим экранирующим корпусом 1, промыть моющим средством. Скорость вращения диска, объем измельченного сырья в сферических резонаторах влияют на производительность установки. Установка обеспечивает непрерывность процесса при широком диапазоне свойств исходного сырья. Процесс термообработки и обеззараживания жиросодержащего сырья автоматизирован. Контроль над температурным режимом осуществляется через смотровое окно с помощью тепловизора. Производительность установки зависит от

количества и мощности сверхвысокочастотных генераторов, электрофизических параметров сырья. Конечный продукт (смесь жира со шкварой) имеет высокое качество, так как полностью обеззараживается благодаря комплексному воздействию электрического поля высокой напряженности и озона. За счет улучшения микробиологических показателей увеличивается срок годности продукта. Операционно-технологическая схема процесса термообработки жиросодержащего сырья в установке со сферическими резонаторами в непрерывном режиме приведена на рис. 3.7.

Рисунок 3.7 – Операционно-технологическая схема процесса термообработки жиросодержащего сырья в установке со сферическими резонаторами в непрерывном режиме

Продукт следует хранить в холодильной камере при температуре 2- 10°С.

Преимущества этого способа термообработки жиросодержащего сырья – повышенная стойкость жира и возможность безотходной переработки жира-сырца. Установка оборудована панелью управления с регулятором мощности излучения, таймером, кнопками включения и отключения генераторов, привода диска и «Волчка», сигнальными лампами и т.п. Технические характеристики многоярусной установки с перфорированными цилиндрическими резонаторами для термообработки влажного непищевого сырья в непрерывном режиме приведены в табл. 3.1

Таблица 3.1 – Технические характеристики СВЧ установки

Наименование	Параметры
Производительность, кг/ч	100
Мощность СВЧ генераторов, кВт	7,2
Мощность электрогазоразрядных ламп, кВт	4,5
Мощность привода диска, кВт	0,75
Мощность СВЧ установки, кВт	12,45
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,124
Габаритные размеры, м	1,5х1,0

3.3.2 Сверхвысокочастотная установка со сферическим резонатором для термообработки сырья животного происхождения (патент № 2660906)

Известна многомодовая сверхвысокочастотная установка типа МКЕ-1,6, которая оснащена двумя магнетронами. При частоте 2,45 ГГц каждый магнетрон имеет мощность по 800 Вт. СВЧ энергия непосредственно подводится в ***цилиндрический*** резонатор, а это неэффективное использование энергии, генерируемое магнетронами. Это лабораторная установка предназначена для применения в диапазоне низкой температуры [218, 219].

Прототипом является сверхвысокочастотная установка со сферическим резонатором, выполненным из двух полусфер, причем нижняя перфорированная полусфера вращается и обеспечивает непрерывность технологического процесса [108]. Разработанная установка состоит из сферического резонатора 4 в сферическом экранирующем корпусе 1 (рис. 3.8), установленном на монтажный каркас 2. Вдоль вертикальной оси резонатора проложен диэлектрический

вал 3. Сферический экранирующий корпус содержит с нижней стороны выгрузной патрубок 10, а в верхней части – приемный патрубок 7. Вращающийся сферический резонатор в верхней части содержит пластинчатый диэлектрический сегмент, шириной не более четверти длины волны. По вертикальной оси сферического резонатора установлен диэлектрический вал, вращающийся от электродвигателя 11 через передаточные механизмы. Электродвигатель расположен с наружной стороны экранирующего корпуса на монтажном корпусе. Верхние части сферического экранирующего корпуса и сферического резонатора максимально приближены друг к другу и имеют соосные отверстия для закрепления приемного патрубка 7 к экранирующему корпусу для подачи сырья в сферический резонатор, диаметр которого согласован с длиной волны. С наружной стороны экранирующего корпуса, сверху установлен измельчитель с загрузочным патрубком 9 так, что нагнетательный шнек 8 состыкован с приемным патрубком 7, выполняющим функцию запредельного волновода. Вокруг приемного патрубка, равномерно по периметру с наружной стороны экранирующего корпуса установлены сверхвысокочастотные генераторы 6.

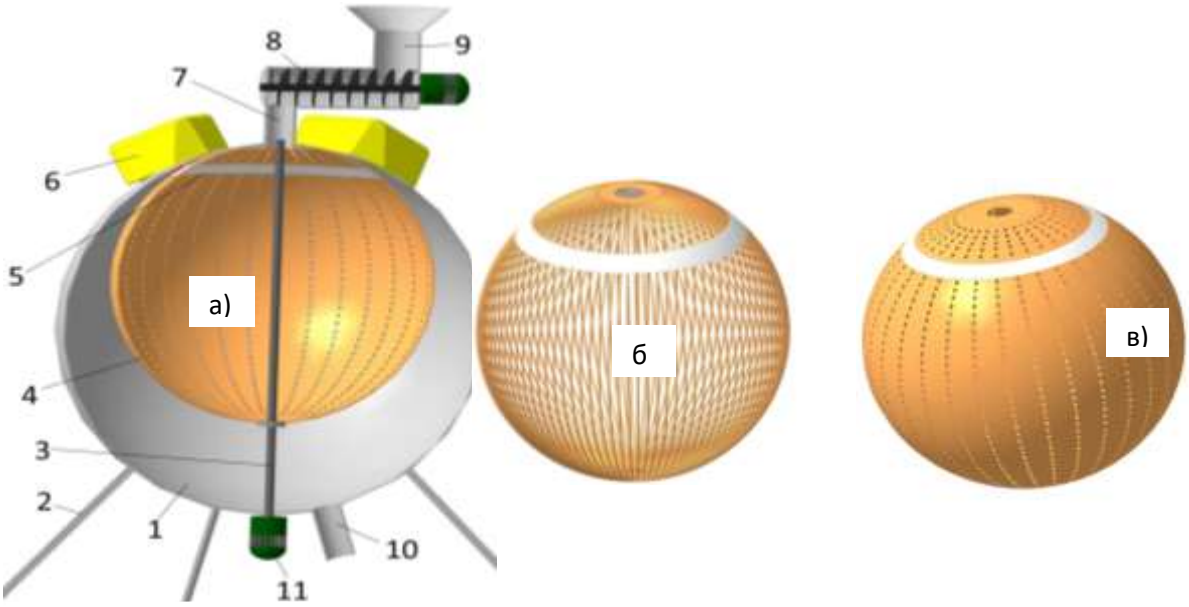


Рисунок 3.8 – Пространственное изображение сверхвысокочастотной установки со сферическим резонатором для термообработки сырья животного происхождения в непрерывном режиме: а) общий вид (в разрезе); б), в) – сферические резонаторы; 1 – сферический экранирующий корпус; 2 – монтажный каркас; 3 – вал диэлектрический для привода резонатора; 4 – сферический дифракционный резонатор; 5 – диэлектрический пластинчатый сегмент (поверхность между параллелями сферической поверхности); 6 – СВЧ генератор; 7 – приемный патрубок; 8 – нагнетательный шнек; 9 – зарузочный патрубок; 10 – выгрузной патрубок; 11 – электродвигатель для привода резонатора

Причем излучатели от каждого СВЧ генератора 6 направлены через диэлектрические втулки, установленные в толщину экранирующего корпуса внутрь сферического резонатора в тех местах, где имеется диэлектрический пластинчатый сегмент 5. Сферический резонатор может быть перфорированным или щелевым. Резонатор назвали дифракционный, так как сферическая поверхность образована меридианами, расположенными через щель и выполненными из неферромагнитных стержней. Размеры отверстий перфорации сферы и щели между меридианами согласованы с размерами частиц готовой продукции.

Технологический процесс термообработки сырья животного происхождения в непрерывном режиме происходит следующим образом. Включить электродвигатель 11 для вращения сферического резонатора 4, электродвигатель нагнетательного шнека 8. После чего из загрузочного патрубка 9 сырье попадает с помощью нагнетательного шнека 8 в приемный патрубок 7. Далее предварительно измельченное сырье в нагнетательном шнеке попадает в сферический резонатор 4. После этого следует включить сверхвысокочастотные генераторы 6 на определенные мощности. СВЧ генераторные блоки следует включать, если имеется сырье в резонаторе. В связи с тем, что излучатели расположены над уровнем диэлектрической пластины 5, излучения будут направлены в сферический резонатор 4. Тогда сырье подвергается воздействию ЭМПСВЧ, варится и в процессе вращения резонатора 4, ударяясь о его стенки, дополнительно измельчается. Размеры частиц сырья в процессе варки уменьшаются и просачиваются через щели, если это дифракционный резонатор, а если это перфорированный резонатор, то через отверстия. Сваренные частицы подвергаются завихрению из-за вращения резонатора, осаждаются и накапливаются на дне экранирующего корпуса 1, выводятся через выгрузной патрубок 10. Мощность генераторов и частота вращения сферического резонатора регулируются. Сырье в процессе воздействия ЭМПСВЧ подвергается термообработке, варится, обеззараживается и измельчается в виде крупы и проходит через перфорацию. За счет вращения резонатора, сырье дополнительно измельчается и перемешивается, что и

обеспечивает его равномерный нагрев. Режим термообработки сырья контролируется регулятором мощности СВЧ генератора, частотой вращения резонатора и объемом его загрузки. Производительность установки зависит от количества и мощности генераторов, электрофизических параметров сырья. К преимуществам установки можно отнести то, что при выходе из строя одного источника СВЧ энергии не следует останавливать весь технологический процесс.

Рисунок 3.9 – Операционно-технологическая схема работы установки со сферическим щелевым резонатором для термообработки сырья в непрерывном режиме

Операционно-технологическая схема работы установки со сферическим дифракционным резонатором для термообработки сырья в непрерывном режиме приведена на рис. 3.9. Технические характеристики СВЧ установки со сферическим резонатором для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме приведены в таб. 3.2.

Таблица 3.2 – Технические характеристики СВЧ установки

Наименование	
Производительность, кг/ч	30-36
Мощность СВЧ генераторов, кВт	3,6
Мощность привода измельчителя, кВт	0,8
Мощность СВЧ установки, кВт	4,4
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,122-0,147

3.4 СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ УСТАНОВКИ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ РЕЗОНАТОРАМИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ НЕПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

3.4.1 СВЧ установка *периодического* действия для варки отходов убоя птицы и животных (патент № 2629259)

Установка (рис. 3.10) состоит из горизонтально расположенного цилиндрического экранирующего корпуса 1 с наклонным нижним основанием, куда пристыкован сливной патрубок, выполняющий функцию запредельного волновода. Верхнее основание экранирующего корпуса 2 выполнено в виде открывающейся крышки, для чего предусмотрены шарнирные петли 8, ручки 9 и блокирующие контакты, обеспечивающие плотное закрытие крышки и запрещающие работать при открытой крышке. На верхнем основании экранирующего корпуса установлены сверхвысокочастотные генераторные блоки 7, так что излучатели направлены внутрь резонаторных камер 4. Внутри экранирующего корпуса установлен перфорированный диск-ротор 3. По периферии диска-ротора жестко закреплены цилиндрические резонаторы с перфорированными основаниями. Внутри каждого резонатора с помощью фиксаторов 6 установлены термостойкие диэлектрические контейнеры 5 с перфорированными крышками. Внутренняя поверхность контейнеров покрыта силиконовой пленкой для ограничения прилипания крови к стенкам. Объем каждого резонатора не превышает 5 литров, что обеспечивает высокую напряженность электрического поля при использовании маломощных СВЧ генераторов от микроволновой печи. Диск-ротор приводится во вращение с помощью электродвигателя, вал 10 которого закреплен на опорный диск, установленный на монтажный каркас (на схеме не показан). Установка работает в периодическом режиме. Для контроля

над технологическим процессом имеется смотровое окно с лампой подсветки, закрытое мелкоячеистой сеткой и стеклопакетом, для ограничения электромагнитных излучений за пределы установки. Установка оборудована электромеханической панелью управления с регулятором мощности излучения и таймером. Панель управления также содержит кнопки включения и отключения генераторов, вращения диска-ротора, кнопки переключения мощности, сигнальные лампы и т.п. В контейнерах имеются линейки уровня сырья.

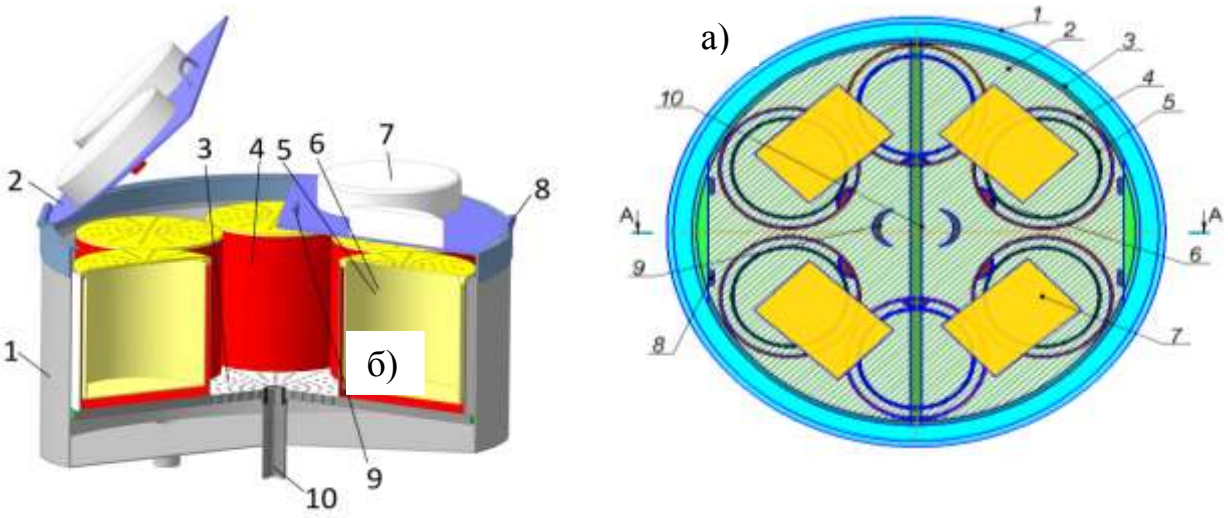


Рисунок 3.10 – СВЧ установка для варки отходов убоя птицы и животных:
а) схематическое изображение; б) общий вид в разрезе; 1 – экранирующий корпус; 2 – открывающаяся крышка экранирующего корпуса; 3 – перфорированный диск-ротор; 4 – цилиндрические резонаторные камеры с перфорированными основаниями; 5 – цилиндрические диэлектрические контейнеры с перфорированными крышками и силиконовым покрытием; 6 – фиксаторы контейнеров; 7 – сверхвысокочастотные генераторные блоки; 8 – шарнирные петли; 9 – ручки на крышке корпуса; 10 – вал, закрепленный на опорный диск

Технологический процесс варки отходов убоя птицы и животных происходит следующим образом. В термостойкие диэлектрические контейнеры 5 загружают сырье после магнитной очистки высотой не более трех глубин проникновения электромагнитных излучений (5…6 см), закрывают перфорированными крышками. Открывают крышку 2 экранирующего корпуса 1. Устанавливают диэлектрические контейнеры 5 с сырьем в внутрь цилиндрические резонаторы 4. Плотно закрывают крышку 2 экранирующего корпуса 1. Включают электродвигатель, вал 10 которого проводит в движение перфорированного диска-ротора 3. Далее включают СВЧ генераторы 7 на определенные мощности и продолжительность работы. В процессе вращения диска-ротора 3 сырье в ди-

электрических контейнерах многократно подвергается воздействию электромагнитного поля сверхвысокой частоты и варится. При обеспечении в резонаторной камере высокой напряженности электрического поля (выше 1 кВ/см), продукт обеззараживается. За счет действия центробежных сил сырье в диэлектрических контейнерах перемешивается и поэтому равномерно по объему подвергается термообработке. В начале, через перфорированные крышки диэлектрических контейнеров выплескивается часть влаги (происходит центрифугирование, т.е. частичное разделение жидкой и твердой фаз), далее через отверстия перфорации в процессе термообработки удаляется пар. Сепарированная влага стекает через перфорированное основание резонаторов и диска-ротора 3 в накопительную камеру, образованную между наклонным основанием экранирующего корпуса и диском-ротором, откуда эта жидкость выливается через сливной патрубок, выполняющий функцию запредельного волновода. По истечении выдержки времени СВЧ генераторы 7 отключаются, крышка разблокируется. После загорания лампы, сигнализирующей об окончании термообработки сырья, следует открыть крышку, достать диэлектрические контейнеры со сваренным продуктом, на их место установить и зафиксировать сменные диэлектрические контейнеры, заранее заполненные сырьем и закрытые перфорированной крышкой. Закрыть крышку экранирующего корпуса. Вновь запустить технологический процесс термообработки сырья через панель управления. Диэлектрические контейнеры с готовым продуктом легко освобождаются, так как из-за имеющегося силиконового покрытия на внутренней поверхности продукт не прилипает к стенкам контейнера 5. Далее контейнеры следует промыть и вновь загрузить сырьем. Продукт следует хранить в холодильной камере при температуре 2-10°С или непосредственно использовать для откорма свиней как ценную белковую добавку из побочных продуктов переработки отходов убоя птицы. Контроль над температурным режимом осуществляется через смотровое окно с помощью тепловизора. Производительность установки зависит от количества и мощности сверхвысокочастотных генераторов, электрофизических па-

раметров сырья. Конечный продукт имеет высокое качество, обретает более глубокий цвет и запах по сравнению с первоначальными характеристиками, а самое главное – продукт полностью обеззараживается благодаря высокой напряженности электрического поля сверхвысокой частоты в резонаторных камерах. За счет улучшения микробиологических показателей увеличивается срок годности продукта. Операционно-технологическая схема варки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения приведена на рис. 3.11.

Рисунок 3.11 – Операционно-технологическая схема термообработки непищевых отходов животного происхождения

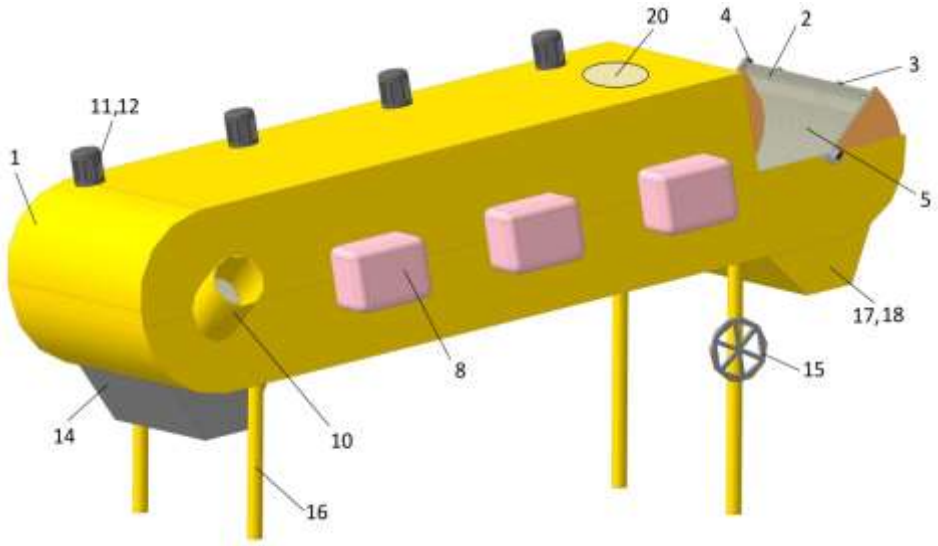
Технические характеристики СВЧ установки периодического действия для термообработки непищевых отходов убоя животных приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Технические характеристики СВЧ установки

Наименование	
Производительность, кг/ч	36-40
Мощность СВЧ генераторов, кВт	4,8
Мощность привода диска, кВт	1,2
Мощность СВЧ установки, кВт	6,0
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,15-0,166
Габаритные размеры, м	1,5х1,0

3.4. 2 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с цилиндрическими резонаторами из безосевого шнека для термообработки непищевых отходов убоя животных (патент № 2671712)

Установка состоит из рабочей камеры в экранирующем корпусе 1, установленном на монтажный каркас 16 (рис. 3.12). Наклон рабочей камеры регулируется с помощью специального механизма 15. С боковой стороны экранирующего корпуса 1 смонтированы СВЧ генераторные блоки 8, патрубок 10 для подачи сырья. С другой боковой стороны корпуса предусмотрено смотровое окно 20. Патрубок выполняет функцию запредельного волновода, он состыкован с диэлектрическим основанием 19 первого резонатора. На верхнем основании экранирующего корпуса установлены электродвигатели 12, на валу которых установлены ведущие шестерни 11, входящие в зацепление с венцами 4, опоясывающие поверхность цилиндрические резонаторы 2. Для ведущих шестерен имеются отверстия на экранирующем корпусе, которые закрыты поверх шестерен 11. К нижнему основанию пристыкован патрубок 18 для выгрузки продукта. Внутри экранирующего корпуса по поперечному сечению установлены цилиндрические резонаторы 2. Они расположены рядом друг с другом и приводятся в движение в сторону выгрузного патрубка и удерживаются в диэлектрических ободках 3, закрепленных к экранирующему корпусу и на осях 6, присоединенных к диэлектрическим основаниям 7. Диэлектрические оси уложены в диэлектрические подшипники 9. В нижней части экранирующего корпуса под первым резонатором предусмотрена фильтрующая поверхность 14, а под последним резонатором – отверстия перфорации 17. Боковые поверхности



цилиндрических резонаторов 2 образованы из витков безосевого шнека 5. Сечение витка представлено в виде лезвия ножа.

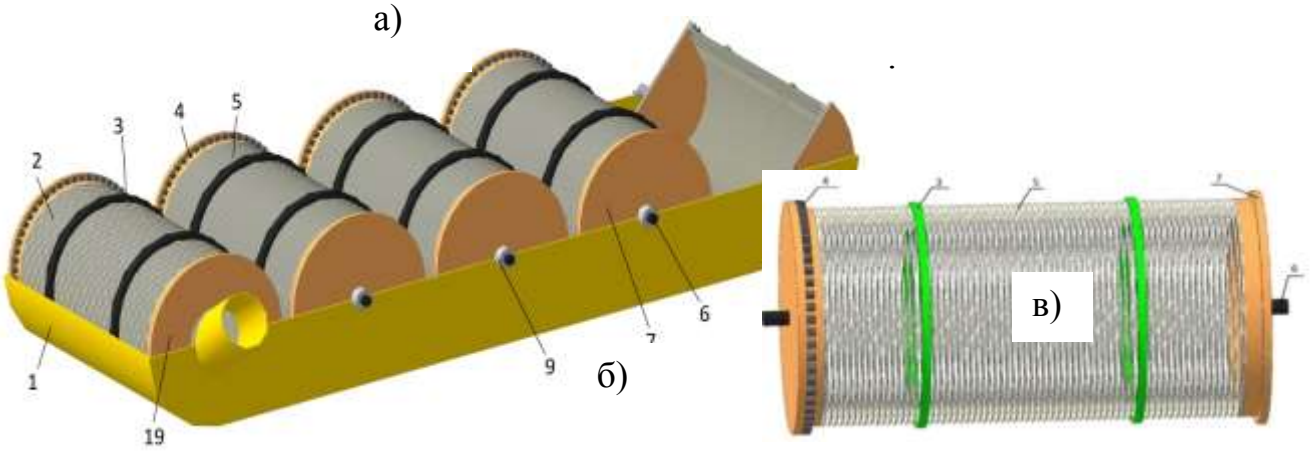


Рисунок 3.12 – СВЧ установка для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме: а) общий вид; б) расположение резонаторов на основании экранирующего корпуса; в) резонатор; 1 – экранирующий корпус, состоящий из двух частей; 2 – цилиндрический резонатор; 3 – направляющие диэлектрические ободки; 4 – венец, опоясывающий резонатор; 5 – боковая поверхность цилиндрического резонатора, образованная из витков безосевого шнека; 6 – диэлектрическая ось; 7 – диэлектрическое основание резонатора; 8 – СВЧ генераторные блоки; 9 – диэлектрические подшипники; 10 – патрубок для подачи сырья; 11 – ведущая шестерня; 12 – электродвигатели для вращения резонаторов; 13 – виток шнека в виде лезвия ножа, 14 – мелкоячеистый фильтр; 15 – механизм для фиксации и изменения угла наклона рабочей камеры; 16 – каркас для монтажа установки; 17 – отверстия перфорации, 18 – патрубок для выгрузки продукта; 19 – диэлектрическое основание первого резонатора с отверстием для подачи сырья; 20 – смотровое окно

Технологический процесс термообработки отходов убоя животных в непрерывном режиме происходит следующим образом. Отрегулировать угол наклона рабочей камеры с помощью специального механизма фиксации 15, закрепленного на монтажный каркас 16. Включить электродвигатели 12, которые приводят в движение резонаторы 2, расположенные в экранирующем корпусе 1. Резонаторы вращаются внутри направляющих диэлектрических ободков 3 за счет зацепления ведущей шестерни 11 и венца 4, опоясывающего ферромагнитное основание резонатора. Подать через приемный патрубок 10 и отверстия в диэлектрическом основании 19 в первую камеру 2 непищевые отходы животного происхождения с помощью насоса для вязкого сырья дозированно. Сырье в первой камере измельчается с помощью ножевых витков 13 шнека, которые образуют боковую поверхность 5 цилиндрических резонаторов 2. Жидкий компонент сырья стекает через фильтрующую поверхность 14 в специальный накопитель, остальное измельченное сырье продвигается между витками шнека

в резонаторную камеру, где подвергается воздействию электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМПСВЧ) после включения генераторов 8, так как излучатели направлены через диэлектрические основания 7 резонаторов. СВЧ генераторные блоки следует включать, если имеется сырье в резонаторе. Мощность генераторов и частота вращения каждого резонатора регулируются. Сырье в процессе многократного воздействия ЭМПСВЧ в нескольких резонаторах подвергается термообработке, варится, обеззараживается и измельчается в виде крупы, и проходит через перфорацию 17 в патрубок 18 для выгрузки продукта. За счет вращения резонаторов сырье измельчается и перемешивается, что и обеспечивает его равномерный нагрев. Контроль над температурным режимом осуществляется с помощью тепловизора через смотровое окно 20, имеющееся над последним резонатором. Операционно-технологическая схема процесса термообработки сырья в установке с цилиндрическими резонаторами-барабанами, выполненными из ножевых шнеков, приведены на рис. 3.13.

Рисунок 3.13 – Операционно-технологическая схема процесса термообработки непищевых отходов в установке непрерывно-поточного действия с цилиндрическими щелевыми резонаторами-барабанами

Режим термообработки сырья контролируется регулятором мощности СВЧ генератора, частотой вращения резонаторов и объемом его загрузки. Мощность каждого СВЧ генератора регулируется от 0,4 до 0,8 Вт; частота вращения резонатора меньше критической частоты, зависящей от его диаметра; объем загрузки сырья в каждом резонаторе 0,5-1,5 кг. Производительность установки зависит от количества и мощности сверхвысокочастотных генераторов, электрофизических параметров многокомпонентного сырья. За счет улучшения микробиологических показателей увеличивается срок годности белкового корма для животных. Технические характеристики СВЧ установки термообработки непищевых отходов в непрерывном режиме в установке с цилиндрическими щелевыми резонаторами-барабанами приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6 – Технические характеристики СВЧ установки

Наименование	
Производительность, кг/ч	35…40
Мощность СВЧ генераторов, кВт	4,8
Мощность электродвигателей для вращения резонаторов, кВт	1,0
Мощность СВЧ установки, кВт	5,8
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,145-0,165
Габаритные размеры, м	1,5x1,0x1,0

3.4.3 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с шнековым резонатором для термообработки сырья животного происхождения (патент № 20679203)

В связи с тем, что обрабатываемые непищевые отходы содержат 65-75% влаги, сложно получить продукт после термообработки с равномерной структурой. Поэтому сырье предварительно следует обезвоживать или постепенно добавлять жидкую фракцию к частично термообработанной продукции. Нами предлагается совмещать процессы транспортирования измельченного сырья с помощью шнека, варки и стерилизации за счет микроволновой технологии в установке, разрабатываемой на базе шнекового охладителя с применением сверхвысокочастотного генератора.

Известен шнековый охладитель субпродуктов типа SP - 0,3/0,4/0,6/0,8, предназначенный для охлаждения сердец, печени, шеи, желудков и лап и др.

[145]. В резервуаре, наполненном водой, сырье перемещается по всей длине охладителя с помощью шнека большого диаметра. В конце охладителя происходит выбрасывание субпродуктов в специальный контейнер. В разрабатываемой конструкции непрерывность технологического процесса обеспечивается с помощью винтовых поверхностей шнека.

Известно, что наиболее эффективный способ интенсификации термообработки сырья – это диэлектрический нагрев измельченного непищевого сырья [32]. При измельчении сырья увеличивается поверхность теплообмена и согласуется с глубиной проникновения электромагнитного поля сверхвысокой частоты. Это обеспечивает равномерность нагрева измельченного непищевого сырья. Сверхвысокочастотная установка для термообработки непищевого сырья животного происхождения в непрерывном режиме (рис. 3.14) установлена на монтажную стойку 1. Цилиндрический экранирующий корпус 2, 6 выполнен из двух половинок. Верхняя часть корпуса (крышка) открывается за счет шарнирных петель. Внутри нижней части экранирующего корпуса 2 расположен шнек 3. На винтовых поверхностях шнека имеются направляющие 4. Вращение шнека 3 осуществляется с помощью электропривода 5. Верхняя часть экранирующего корпуса 6 открывается за счет шарнирных петель.

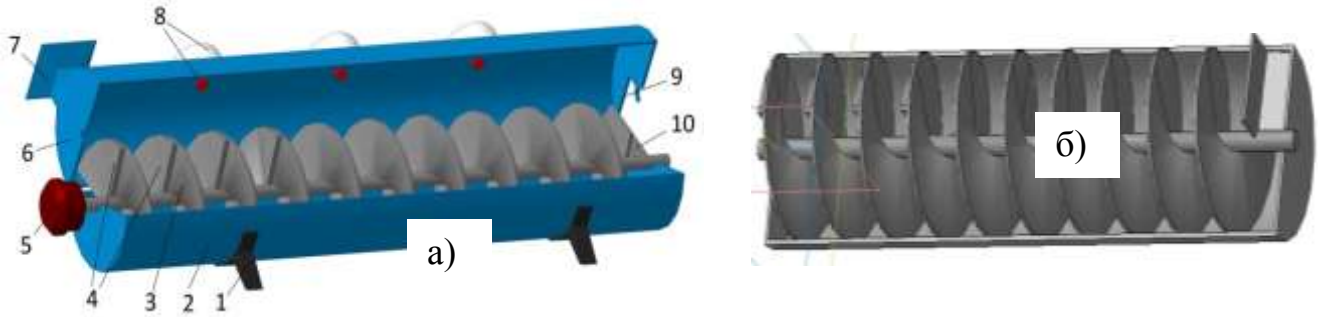


Рисунок 3.14 – СВЧ установка для термообработки непищевого сырья животного происхождения в непрерывном режиме: а) установка с открытой крышкой экранирующего корпуса, б) шнек, 1 – монтажная стойка, 2 – нижняя часть экранирующего корпуса, 3 – шнек, 4 – направляющие пластины, 5 – электропривод, 6 – верхняя часть экранирующего корпуса, 7 – загрузочный патрубок, 8 – сверхвысокочастотный генератор с излучателем, 9 – люк для выгрузки готовой продукции, 10 – перфорированный лоток, обеспечивающий выгрузку продукта

На верхней части экранирующего корпуса расположены загрузочный патрубок 7 и сверхвысокочастотные генераторы 8. Излучатели направлены внутрь

экранирующего корпуса 2, 6. Загрузочный патрубок установлен с одной торцевой стороны цилиндрического экранирующего корпуса, а с другого торца – выгрузной люк 9. Перфорированный лоток 10 расположен на шнеке 3 со стороны выгрузного люка.

Технологический процесс термообработки вторичного сырьяе происходит следующим образом. Подать напряжение на электродвигатель 5, установленный на монтажную стойку. Включить электропривод шнека. Далее включить электропривод измельчителя, находящегося в технологической линии переработки непищевого сырья. Измельчитель подает измельченное непищевое сырье в экранирующий корпус 2, 6 через загрузочный патрубок 7. Масса сырья в каждом межвитковом пространстве (в резонаторе) 0,5-,0 кг. Мощность электродвигателя 5 зависит от размеров шнека 3 и производительности установки. По мере частичного заполнения резонаторов (межвиткового пространства шнека) измельченным сырьем, последовательно включить сверхвысокочастотные генераторы 8. При этом измельченное сырье подвергается воздействию ЭМП-СВЧ и эндогенно нагревается. Обрабатываемое сырье является жидко-вязким материалом, резкий нагрев ее внутренних слоев приводит к превращению внутренней влаги в пар, который, расширяясь, образует пузырьки. Винтовые поверхности шнека являются стенками резонаторных камер. По мере перемещения витков шнека 3, 4 сырье нагревается, варится и обеззараживается. В конце шнека продукт зачерпывается с помощью перфорированного лотка 10 и выгружается через выгрузной люк. Технические характеристики СВЧ установки с шнековым резонатором для термообработки сырья приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6 – Технические характеристики СВЧ установки

Наименование	Параметры
Производительность, кг/ч	36-40
Мощность СВЧ генераторов, кВт	3,6
Мощность привода шнека, кВт	2,4
Мощность СВЧ установки, кВт	6,0
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,15-0,166
Габаритные размеры, м	2,5х1,0х1,5

Операционно-технологическая схема термообработки отходов животного происхождения в СВЧ установке непрерывно-поточного действия с шнековым резонатором приведена на рис. 3.15.

Рисунок 3.15 – Операционно-технологическая схема термообработки сырья в СВЧ установке непрерывно-поточного действия с шнековым резонатором

Сваренный продукт является белковым кормом для животных. Конечный продукт обладает высокими органолептическими и микробиологическими показателями, поэтому увеличивается срок годности продукта. Установка работает в непрерывном режиме, размеры выгрузного люка и приемного патрубка согласованы с длиной волны. Размеры установки и количество сверхвысокочастотных генераторных блоков зависят от необходимой производительности технологической линии. Режимы термообработки зависят от вида и состава сырья, от содержания влаги и жира в процентах к объему сырья, от электрофизических параметров сырья и т.д.

3.4.4 Многоярусная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для термообработки влажного сырья (патент 2661372)

Известен способ переработки отходов убоя птицы и животных, при котором отходы предварительно *обезвоживают до влажности* 60-65%. Затем загружают в гидролизер, где к ним добавляют ферменты и проводят низкотемпе-

ратурный гидролиз при температуре 45-55°С в течение 40-50 мин. [109]. После чего отходы измельчают и подают в смеситель, где их смешивают с наполнителем (например, с отрубями) в соотношении 1:3 и экструдируют. Далее охлаждают и транспортируют на склад для хранения или на реализацию. Недостатком данного способа при переработке отходов убоя птицы является получение продукта низкого качества. Итак, для реализации способа переработки собранные непищевые отходы обезвоживают, измельчают, смешивают их с наполнителем, экструдируют. Все эти технологические процессы осуществляют в отдельных установках, поэтому энергетические затраты достаточно высокие. В проектируемых установках следует предусмотреть сочетание процессов обезвоживания, измельчения и термообработки непищевых отходов в одной установке. Такое сочетание процессов в перспективе будет обеспечивать широкое внедрение установки для переработки непищевых отходов животного происхождения, увеличение объема и ассортимента производимой продукции. Повышение производительности установки достигали ярусным расположением перфорированных цилиндрических резонаторов, где ЭМПСВЧ обеспечивается от индивидуальных СВЧ генераторов малой мощности. Для термообработки сырья высокой влажности разработана резонаторная камера, обеспечивающая его обезвоживание в процессе воздействия ЭМПСВЧ в непрерывном режиме. Многоярусная СВЧ установка (рис. 3.16) для термообработки влажного сырья в непрерывном режиме собрана из отдельных блоков, расположенных поярусно. Каждый блок состоит из цилиндрического экранирующего корпуса, внутри которого соосно расположен цилиндрический перфорированный резонатор, основанием которого служит терочный диск, закрепленный на диэлектрический вал 4. Нижний блок установлен на монтажный стол 1, круглая поверхность которого является нижним основанием экранирующего корпуса-резонатора 2 нижнего яруса, а верхним его основанием служит терочный диск 8. Одновременно этот диск 8 является нижним основанием вышерасположенного цилиндрического перфорированного резонатора 6. Диаметр диска 8 больше, чем диаметр резона-

тора 6, но меньше, чем диаметр цилиндрического экранирующего корпуса 5. Аналогично все элементы расположены в других блоках, расположенных поярусно. Верхним основанием перфорированного резонатора 6 является терочный диск 11, диаметр которого больше диаметра перфорированного резонатора 10. Терочные диски 8, 11 установлены на диэлектрический вал 4, который вращается от электродвигателя 16. Вал 4 проложен внутри поярусно расположенных перфорированных цилиндрических резонаторов 2, 6, 10 соосно. С боковых сторон цилиндрических экранирующих корпусов 2, 5, 9 установлены сверхвысокочастотные генераторы 7, 12, 14, излучатели которых направлены внутрь соответствующих перфорированных цилиндрических резонаторов 2, 6, 10 через диэлектрические вставки. Каждая вставка проложена через толщину экранирующего корпуса, зазор между корпусом и резонатором и толщину резонатора. Верхним основанием перфорированного цилиндрического резонатора 10 верхнего яруса служит основание экранирующего корпуса 9, куда установлены измельчитель в виде нагнетательного шнека 13 с загрузочной емкостью. Мощность сверхвысокочастотных генераторов и количество поярусно расположенных блоков влияют на производительность установки. *Технологический процесс термообработки влажного сырья животного происхождения в непрерывном режиме происходит следующим образом.* Включить электродвигатель 16 для вращения терочных дисков 3, 8, 11 разного диаметра. После чего включить электродвигатель измельчителя, который из загрузочной емкости 13 подает измельченное сырье в первый цилиндрический перфорированный резонатор 10. Отсюда влага просачивается через отверстия перфорации резонатора в процессе вращения терочного диска 11 за счет центробежной силы. Эта влага просачивается из кольцевого пространства, образованного между экранирующим корпусом 9 и резонатором 10, через периферию терочного диска 11 в резонатор 6. Одновременно следует включить СВЧ генератор 12 первого яруса. Сырье измельчается с помощью терочного диска 11, подвергается воздействию электромагнитного поля сверхвысокой частоты, частицы сырья нагреваются и про-

ходят через терочный диск в перфорированный цилиндрический резонатор 6 второго яруса, после чего следует включить СВЧ генератор 7.

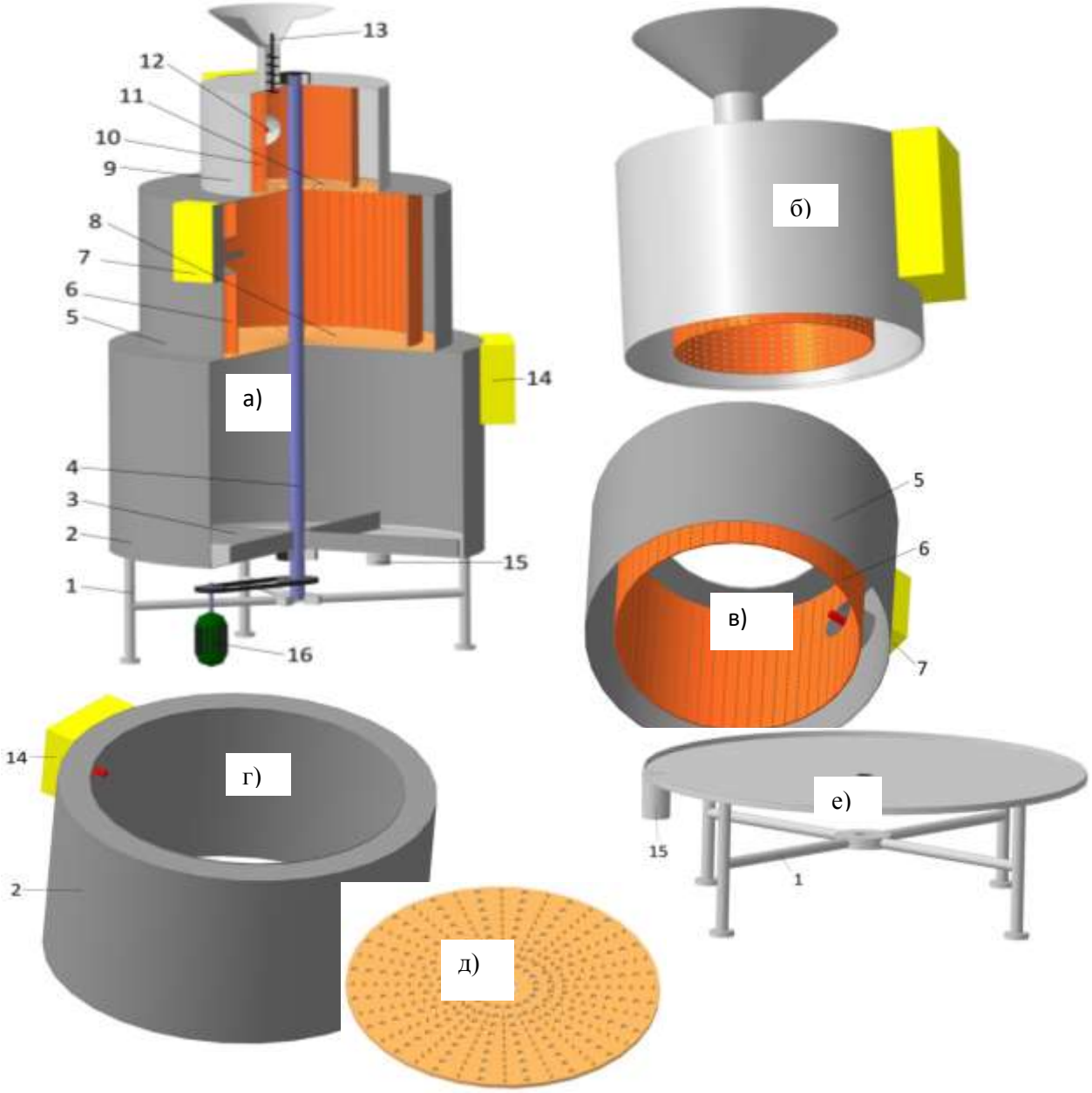


Рисунок 3.16 – Многоярусная сверхвысокочастотная установка для термообработки влажного сырья в непрерывном режиме: а) общий вид установки; б) первый ярус установки с узлом измельчителя; в) узлы второго яруса; г) экранирующий корпус-резонатор; д) вращающийся диск в виде терки; е) монтажный стол (круглая поверхность является основанием цилиндрического резонатора нижнего яруса); 1 – монтажный стол; 2 – экранирующий корпус-резонатор нижнего яруса; 3 – перемешивающий механизм; 4 – диэлектрический вал; 5 – экранирующий корпус второго яруса; 6, 10 – перфорированные цилиндрические резонаторы соответствующих ярусов; 7, 14 – СВЧ генераторы соответствующих ярусов; 8 –вращающийся перфорированный диск; 9 – экранирующий корпус первого яруса; 10 – цилиндрический перфорированный резонатор первого яруса; 11 – вращающийся диск в виде терки; 12 – излучатель от СВЧ генератора первого яруса; 13 –измельчитель с нагнетательным шнеком и загрузочной емкостью; 15 – выгрузной патрубок; 16 – электродвигатель привода дисков 8, 11 и перемешивающего механизма 3.

Здесь температура частиц сырья дополнительно повышается, лишняя влага просачивается через перфорированную боковую поверхность резонатора 6, просачивается в резонатор нижерасположенного яруса. Таких ярусов может быть несколько в зависимости от необходимой производительности установки. В резонаторе 2 последнего яруса (экранирующий корпус-резонатор) вареные частицы с помощью перемешивающего механизма выгружаются через выгрузной патрубок 15. В резонаторе 2 последнего яруса (экранирующий корпус-резонатор) вареные частицы с помощью перемешивающего механизма выгружаются через выгрузной патрубок 15.

Операционно-технологическая схема процесса термообработки влажного непищевого сырья в непрерывном режиме в многоярусной установке с перфорированными цилиндрическими резонаторами приведена на рис. 3.17.

Рисунок 3.17 – Операционно-технологическая схема процесса термообработки влажного непищевого сырья в непрерывном режиме в многоярусной установке с перфорированными цилиндрическими резонаторами

Такое перераспределение влаги по резонаторам разного яруса выравнивает структуру твердой фракции сырья, что резко увеличивает качество сваренной продукции, т.е. кормовую ценность продукции. Итак, в данной установке собранные отходы предварительно измельчаются с помощью волчка; эндогенно нагреваются в электромагнитном поле сверхвысокой частоты в процессе обезвоживания и дополнительного измельчения за счет вращения терочных дисков; смешиваются с жидкой фракцией, протекающей от вышестоящего резонатора; выгружаются через запредельный волновод в виде влажной муки. Такое конструкционное исполнение установки позволит упростить переработку отходов убоя птицы и животных, уменьшить энергозатраты и сохранить качество конечного продукта. Технические характеристики многоярусной установки с перфорированными цилиндрическими резонаторами для термообработки влажного непищевого сырья в непрерывном режиме приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7 – Технические характеристики СВЧ установки

Наименование	Параметры
Производительность, кг/ч	35-40
Мощность СВЧ генераторов, кВт	3,6
Мощность привода дисков, кВт	1,2
Мощность СВЧ установки, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,12-0,137
Габаритные размеры, м	1х1,5

3.4.5 СВЧ установка непрерывно-поточного действия для термообработки сырья в процессе измельчения (патент № 2671710)

Технической задачей является разработка установки с использованием энергии ЭМПСВЧ, обеспечивающей интенсификацию процесса термообработки и обеззараживания сырья в процессе измельчения. Микроволновая установка для термообработки сырья в процессе измельчения (рис. 3.18) представляет собой цилиндрический экранирующий корпус 2, внутри которого соосно расположен неферромагнитный цилиндр, выполненный в виде терки. Этот неферромагнитный цилиндр жестко установлен на диск 6, образуя ротор. Через центральное отверстие диска 6 проходит нижний конец вала 5 квадратного сече-

ния. Вал мотора-редуктора соединен с валом 5, расположенным по центральной оси неферромагнитного цилиндра 4. Вал вращается на подшипниках во втулке, жестко закрепленной на крышке цилиндрического экранирующего корпуса 2. Диск 6 с терочным неферромагнитным цилиндром 4 (ротор) вращается с помощью электродвигателя, установленного на монтажную стойку 1. Вращение вала, следовательно, и ротора 4, 6 передается от электродвигателя через редуктор и скользящую шпонку, расположенную во втулке. Втулка жестко крепится на валу при помощи резьбы. Скорость вращения диска 6 изменяется сменой шкивов на валу электродвигателя и редуктора. Цилиндрический экранирующий корпус закреплен к амортизационным пружинам. На крышку экранирующего корпуса установлены сверхвысокочастотные генераторы 7 и приемный патрубок 8. Излучатели от СВЧ генераторов направлены в цилиндрический резонатор, исполненный в виде терки, выполняющий функцию коаксиального резонатора из-за имеющегося по центру вала. Патрубок 3 для присоединения пневмотранспора с циклоном-разгрузителем расположен на боковой поверхности экранирующего корпуса. Под нижним основанием экранирующего корпуса 2 по центру установлен шатунный механизм, связанный через рычаг с кулачковым механизмом, который приводится движением от электродвигателя. Амортизационные пружины, удерживающие цилиндрический экранирующий корпус 2, прикреплены к монтажным стойкам. Операционно-технологическая схема предусматривает прием компонентов сырья; дозированную подачу компонентов сырья в рабочую камеру, содержащую измельчающий механизм в виде терочного цилиндра из неферромагнитного материала; термообработку и обеззараживание в ЭМПСВЧ в процессе измельчения и смешивания; пневмотранспортирование готового продукта в циклон-разгрузитель.

Технологический процесс термообработки сырья воздействием электромагнитного поля сверхвысокой частоты в процессе его измельчения *происходит следующим образом.* Включить электродвигатель кулачкового механизма, который через шатунный механизм обеспечивает вибрацию экранирующего

корпуса 2. Этому способствуют амортизационные пружины, закрепленные на монтажные стойки. Включить электропривод для вращения ротора с помощью вала, закрепленного к диску 6. Далее дозированно подать сырье в неферромагнитный цилиндр 4 в виде терки, выполняющий функцию коаксиального резонатора, через приемный патрубок 8 (запредельный волновод). Включить сверхвысокочастотные генераторы. Включить вытяжной вентилятор пневмотранспортера для транспортирования готовой продукции в циклон-разгрузитель. Сырье в процессе вращения ротора (4, 5) многократно ударяется о стенки терочного цилиндра 4, измельчается, эндогенно нагревается и обеззараживается в процессе воздействия ЭМПСВЧ. Измельченное сырье до определенных размеров проходит через боковую поверхность резонатора, накапливается в узком кольцевом пространстве, откуда через выгрузной патрубок 3 транспортируется за счет вытяжного вентилятора в циклон-разгрузитель. При этом непрерывность процесса обеспечивается с максимальным использованием свойств сыпучести и вязкости сырья; рациональным выбором производительности установки в зависимости от свойств компонентов сырья; процентным соотношением компонентов в соответствии с рецептом.

Принцип действия пневмотранспортера следующий. Гибкий рукав соединяется с выгрузным патрубком (запредельным волноводом), вентилятор давления нагнетает воздух, после чего рассыпное сырье всасывается из кольцевого пространства между экранирующим корпусом и терочным цилиндром 4. Посредством разряжения, созданного воздушным потоком вентилятора высокого давления, рассыпное сырье попадает во всасывающий циклон пневмотранспортера, где гравитационно осыпается вниз. Регулировка производительности транспортирования рассыпного продукта осуществляется посредством манипуляций с заслонкой заборного сопла. Продолжительность воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты на сырье регулируется в зависимости от вида сырья. Использование данной установки дает возможность ускорить процесс термообработки сырья, снизить энергозатраты, сохранить качество

продукта. При воздействии ЭМПСВЧ на многокомпонентное сырье каждая элементарная частица сырья нагревается равномерно и избирательно, в зависимости от его диэлектрических параметров, что сохраняет качество продукта.

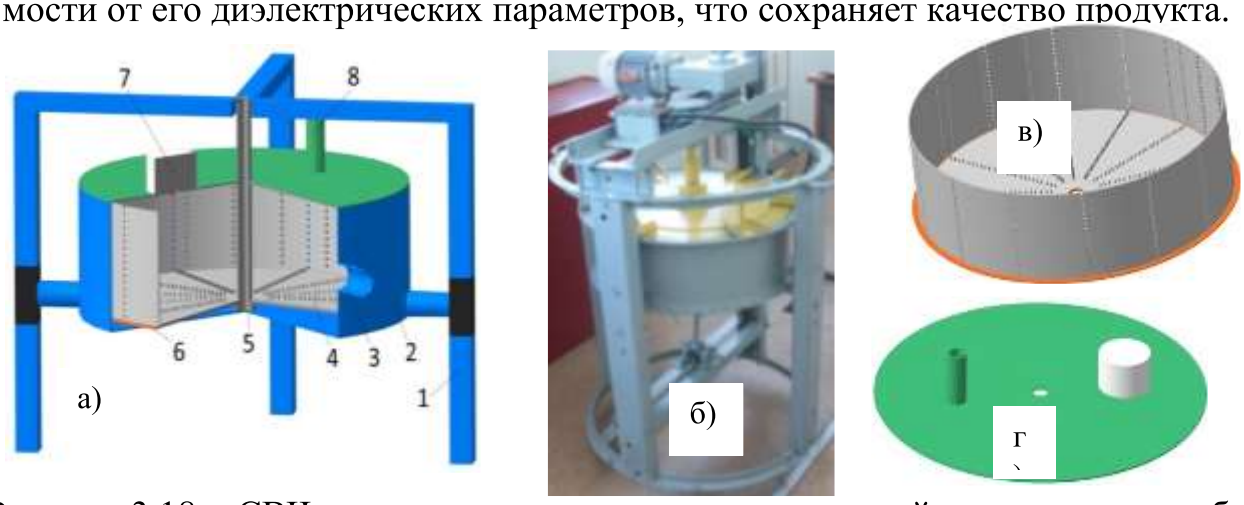


Рисунок 3.18 – СВЧ установка непрерывно-поточного действия для термообработки сырья в процессе измельчения: а) общий вид (в разрезе); б) установка; в) цилиндрический щелевой резонатор; г) верхнее основание экранирующего корпуса; 1 – монтажная стойка; 2 – цилиндрический экранирующий корпус; 3 – выгрузной патрубок для присоединения пневмотранспора с циклоном-разгрузителем; 4 – неферромагнитный цилиндр в виде терки; 5 – вал для привода неферромагнитного цилиндра и диска (ротора); 6 – диск; 7 – СВЧ генераторы; 8 – патрубок для приема сырья

Операционно-технологическая схема термообработки непищевых отходов в процессе измельчения приведена на рис. 3.19.

Рисунок 3.19 – Операционно-технологическая схема термообработки сырья в процессе измельчения

При обеспечении высокой напряженности ЭП в резонаторе бактериальная обсемененность сырья снижается до предельно-допустимого уровня. Находясь в ЭМП, многокомпонентное сырье нагревается до оптимальной температуры.

Регулирование мощности установки осуществляется с использованием нескольких СВЧ генераторов. Количество генераторов влияет на производительность установки. Технические характеристики установки для термообработки сырья в процессе измельчения приведены в табл. 3.8.

Таблица 3.8 – Технические характеристики СВЧ установки

Наименование	Параметры
Производительность, кг/ч	10-15
Мощность СВЧ генераторов, кВт	1,2
Мощность привода цилиндра и диска, кВт	1,0
Мощность СВЧ установки, кВт	2,2
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,15
Габаритные размеры, м	1х1,5

3.5 СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ УСТАНОВКИ С КОНИЧЕСКИМИ РЕЗОНАТОРАМИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ НЕПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

3.5.1 Многомодульная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для обезвоживания и термообработки сырья (патент № 2694179)

Установка предназначена для переработки непищевого сырья животного происхождения большой влажности, а также для обезжиривания измельченных костей, для извлечения жира из мягкой твердой жиросодержащей ткани. Сырьем может служить также брак колбасного и консервного цехов и т.д. Технология переработки такого сырья предусматривает мойку, измельчение, *варку, стерилизацию, отделение жидкой фазы от общей массы*. Для выполнения этих операций применяют отдельные машины. Процессы переработки указанного сырья энергоемки. Для ***тепловой*** обработки такого сырья применяют конвективный или кондуктивный метод подвода теплоты. При термообработке применяют котлы и аппараты разных конструкций [323-333]. При этом качество готовой продукции зависит от максимальной температуры и продолжительности ее воздействия. При обработке указанного сырья повышение температуры среды выше 120-130°С нежелательно, так как это приводит к ухудшению качества конечной продукции. Расход горячей воды на варку непищевых отходов при производительности 125-300 кг/ч составляет 0,6-0,7 м^3/ч. Поэтому

совмещение процессов варки, стерилизации и отделения жидкой фракции в одном устройстве – *актуальная задача.*

Аналогом рабочей камеры служит соковыжималка «Нептун», состоящая из конической терки, дисковой терки, ситовой тарелки с прорезями, поддона и электропривода. Устройство разделяет сырье на жидкие и твердые фракции.

Нами предлагается совмещать процессы измельчения, варки, стерилизации, отделение жидкой фазы от общей массы в установке, разрабатываемой на базе соковыжималки с применением источника сверхвысокочастотной энергии. Высокая интенсивность теплообмена в разрабатываемой установке достигается путем совмещения процессов измельчения сырья в центробежном поле и эндогенного нагрева. Многомодульная центробежная сверхвысокочастотная установка для термообработки сырья животного происхождения и отделения жидкой фракции содержит цилиндрический экранирующий корпус 1, внутри которого по периферии расположены рабочие камеры 2 (рис. 3.20). На крышке экранирующего корпуса расположены сверхвысокочастотные генераторные блоки 3. Каждая рабочая камера состоит из верхней и нижней частей. Нижняя часть содержит сливной патрубок 4 из неферромагнитного материала, выполняющий функцию запредельного волновода. Все сливные патрубки соединены с емкостью 5 для сбора жидкой фракции. Для этого рабочие камеры установлены по периферии цилиндрического экранирующего корпуса так, что сливные патрубки 4 направлены в центр, где расположена емкость. Через крышку экранирующего корпуса и корпуса верхней части 9 рабочей камеры проложен корпус нагнетательного шнека от измельчителя «Волчек» 6. Причем измельчающий механизм (решетка и нож) 10 вставлен в боковую поверхность конического корпуса и конической части резонатора 11. С боковой стороны экранирующего корпуса (снаружи) установлены емкости 7 для сбора твердой фракции. Каждая рабочая камера 2 имеет индивидуальный электроприводной блок 8, установленный под основанием экранирующего корпуса и прикреплённый к монтажному каркасу. В верхней части рабочей камеры имеется коническая

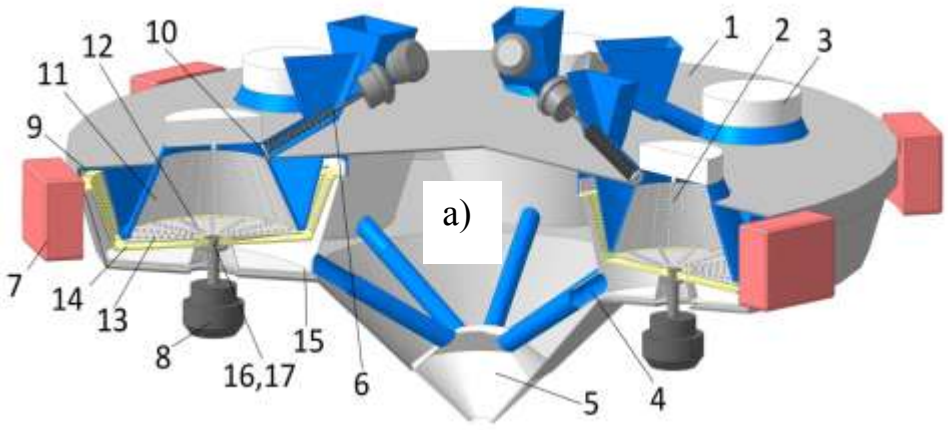
часть резонатора, выполненная в виде терки с внутренней насечкой и фиксированная вплотную к коническому корпусу из неферромагнитного материала с помощью специального фиксатора. Причем этот конический корпус направлен соосно в нижнюю часть 13 рабочей камеры. Нижняя часть рабочей камеры состоит из конической диэлектрической тарелки 14 и конического поддона 15 из неферромагнитного материала. Основание конического поддона с малым диаметром, выполненного под наклоном и содержащего сливной патрубок 4 для слива жидкой фракции продукта, устанавливается на электроприводной блок 8. При этом на вал электродвигателя жестко фиксируется с помощью зажимного винта, коническая диэлектрическая тарелка с прорезями на образующей и дисковая часть резонатора в виде терки 12, расположена на основании тарелки. На верхнем крае конического поддона имеется вырез для выгрузки твердой фракции продукта. Коническая часть резонатора (усеченный конус) выполнена в виде терки с внутренней насечкой. Дисковая часть резонатора выполнена также в виде терки. Размеры конического резонатора с насечкой согласованы с длиной волны. Коническая диэлектрическая тарелка и дисковая часть резонатора устанавливаются на вал электродвигателя с помощью зажимного винта, что позволяет легко демонтировать узлы. Дисковая часть резонатора выполнена в виде терки и по центру имеет отверстие 16. Образующая конической диэлектрической тарелки выполнена с прорезами. На основании тарелки по центру имеется отверстие 16 для вала электродвигателя. Конический поддон по центру имеет подставку для конической тарелки и отверстие 17 для вала электродвигателя. Все эти отверстия расположены соосно.

Технологический процесс термообработки, обеззараживания и разделения на фракции непищевых отходов происходит следующим образом. Установить на вал электродвигателя поддон, коническую тарелку 14 с дисковой теркой 12 и зафиксировать с помощью специального зажимного винта.

Дисковая терка должна быть прижата к горизонтальным ребрам конической тарелки, образуя центрифугу. Коническая терка (коническая часть резонатора)

крепится внутри конического корпуса верхней части рабочей камеры за счет защелок. Верхняя часть рабочей камеры 9 фиксируется на поддоне 15 поворотом так, чтобы выступы на поддоне вошли в пазы на верхней части рабочей камеры 9. Установить емкости для твердой фракции в местах, где имеются вырезы на верхних краях конических поддонов. Сливные патрубки 4 направить в емкость для жидкой фракции 5. Закрыть крышку экранирующего корпуса. Подключить установку к сети, включить электродвигатели 8 центрифуг (привода дисковых терок с коническими тарелками). Включить электродвигатели волчков 6, которые подают в резонаторную камеру (11, 12) измельченное сырье, где начинаются процессы центрифугирования. Далее после включения сверхвысокочастотных генераторов 3 сырье нагревается в электромагнитном поле. Конический резонатор выполнен в виде терки. В связи с тем, что резонатор представлен в виде конической терки (стационарная часть) и дисковой терки (вращающаяся часть) одновременно происходит тонкое измельчение сырья, эндогенный нагрев, вытопка жира. В рабочей камере происходит разделение сырья на жидкую и твердую фракции за счет создания избыточного давления между конической тарелкой с прорезями 14 и образующей поддон областью отжима. Рабочая камера, содержащая две терки, устроена таким образом, что позволяет перерабатывать непищевые отходы разной консистенции после предварительного измельчения с помощью «Волчка». Диэлектрическая коническая тарелка с прорезями выполняет функцию центрифуги. Рабочая камера измельчения, термообработки и отжима сырья позволяет вести переработку неограниченное время за счет эффективного удаления твердой фазы, т.е. не требует периодической очистки прорезей тарелки. Такая конструкция рабочей камеры обеспечивает повышенную эффективность термообработки и обеззараживание сырья, разделение сырья на жидкую и твердую фракцию. Для осуществления указанных технологических процессов необходимо разрушить белковую структуру сырья измельчением. Принцип работы основан на измельчении в центрифуге сырья терками и отжимании измельченных масс центробежными силами на

прорезях тарелки - центрифуги. Вид и состояние исходного сырья для переработки может быть довольно многообразным. Расплавленная жировая масса стекает через дисковую терку 12 в сливной патрубок 4, далее в емкость для жидкой фракции. В установке используется асинхронный электродвигатель, способный выдерживать длительную непрерывную нагрузку. Дисковая терка, выполненная из прочной нержавеющей стали, измельчает сырье в кашицу, затем, попадая в центрифугу, «кашица» выделяет жидкую фракцию под действием больших оборотов. Для жидкой и твердой фракций предусмотрены две раздельные емкости. Измельченный продукт центробежными силами прижимается к тарелке с прорезями. Например, тонкоизмельченное жиросодержащее сырье за 15-30 с нагревается до 85-95ºС и плавится, а шквара собирается вверх и выносится через прорези в тарелке. Скорость вращения дисковой терки и тарелки, объем измельченного сырья в коническом резонаторе, структура сырья влияют на производительность установки. Установка обеспечивает непрерывность процесса при широком диапазоне свойств исходного сырья. Процесс термообработки и обеззараживания сырья автоматизирован, и температура контролируется. Производительность установки зависит от количества и мощности сверхвысокочастотных генераторов, электрофизических параметров сырья. Для получения желаемой степени отжима твердой фракции следует устанавливать конусную тарелку с прорезями с определенным размером. На производительность установки влияют: размер прорезей, содержание твердой фракции в сырье, температура нагрева. Конечный продукт имеет высокое качество, так как полностью обеззараживается. За счет улучшения микробиологических показателей увеличивается срок годности продукта.



а)

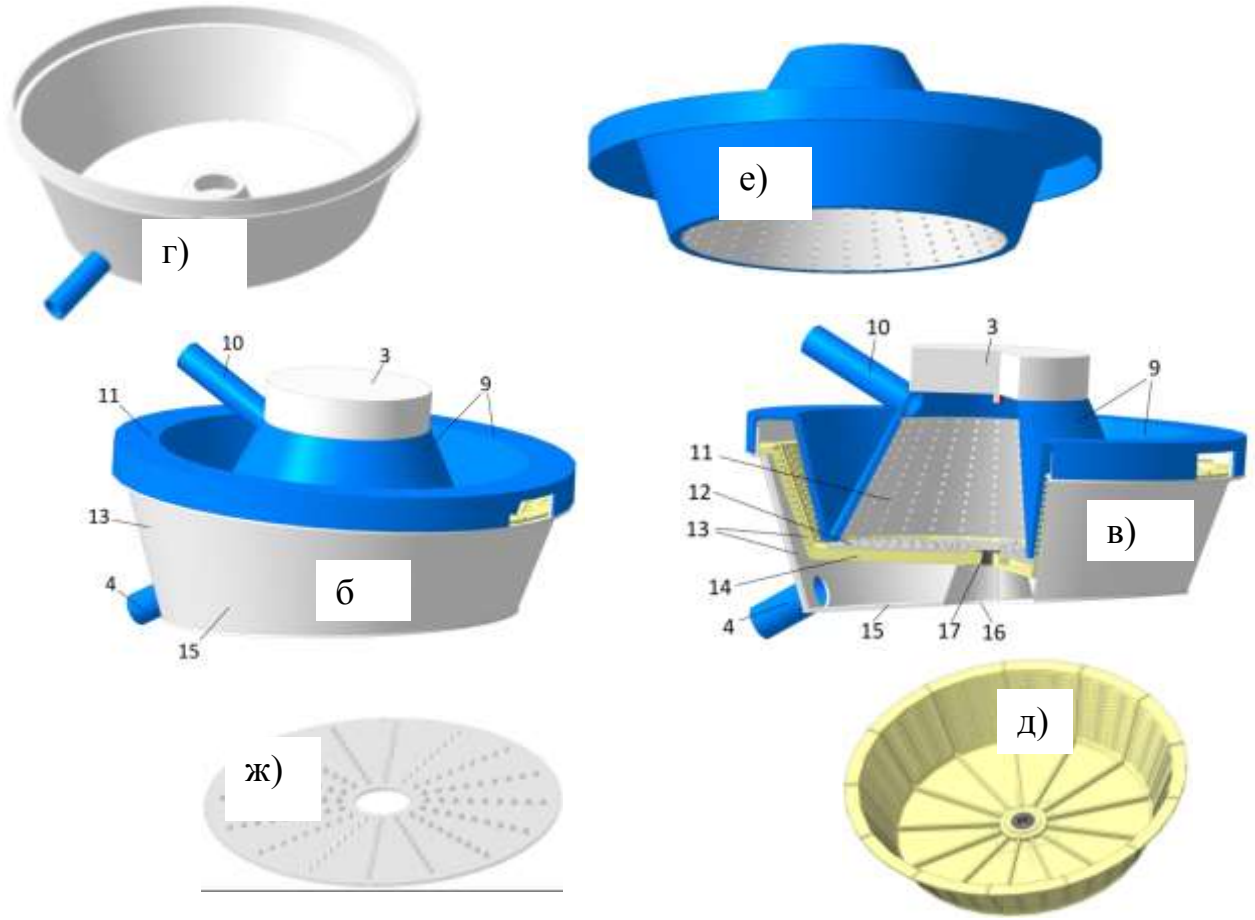


Рисунок 3.20 – Многомодульная центробежная сверхвысокочастотная установка для термообработки сырья и отделения жидкой фракции: а) вид сверху; б) рабочий модуль; в) рабочий модуль в разрезе; г) нижний поддон; верхняя часть рабочей камеры; д) диэлектрическая тарелка; е) дисковая терка; 1– цилиндрический экранирующий корпус; 2 – рабочие камеры; 3 – сверхвысокочастотные генераторные блоки; 4 – сливные патрубки; 5 – емкость для жидкой фракции; 6 – измельчитель; 7 – емкости для твердой фракции; 8 – электродвигатели; 9 – верхняя часть рабочей камеры; 10 – измельчающий механизм (нож и решетка, нагнетательный шнек); 11 – конические части резонаторов; 12 – дисковые части резонаторов; 13 – нижняя часть рабочей камеры; 14 – коническая тарелка из диэлектрического материала; 15 – поддон конический из неферромагнитного материала; 16 – отверстие для фиксатора тарелки и диска, выполненные в виде терки; 17 – отверстие для вала электродвигателя

Установка работает в непрерывном режиме, она оборудована панелью управления с регулятором мощности излучения, таймером, кнопками включения и отключения генераторов, привода диска и «Волчка», сигнальными лампами и т.п. Отсепарированная жидкая фракция направляется в накопитель для выделения технического жира, а вареная твердая фракция непищевых отходов направляется для использования в качестве кормовой белковой добавки животным. Оптимальный вариант загрузки в измельчитель «Волчек» зависит от кон-

систенции непищевого отхода убоя животных. В рабочей камере происходит тонкое измельчение, варка, стерилизация и разделение твердой и жидкой фракции. Причем твердая фракция – это пористая, рассыпчатая темно-коричневая масса с низкой адгезией, в ней превосходное движение воздуха, удаляющего неприятный запах. Операционно-технологическая схема термообработки непищевых отходов в непрерывном режиме в многомодульной СВЧ установке с коническими резонаторами в виде терки приведена на рис. 3.21.

Рисунок 3.21 – Операционно-технологическая схема термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме в многомодульной СВЧ установке с коническими резонаторами

Технические характеристики многомодульной СВЧ установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме с коническими резонаторами приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9 – Технические характеристики СВЧ установки

Наименование	Параметры
Производительность, кг/ч	70-100
Мощность СВЧ генераторов, кВт	7,2
Мощность привода дисков в виде терки, кВт	4,0
Мощность СВЧ установки, кВт	11,2
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,112-0,16
Габаритные размеры, м	2,5x1,0

3.5.2 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с биконическим резонатором и шнеком для варки отходов убоя животных
(патент № 2729151)

Характерной особенностью биконического резонатора является наличие в резонансном объеме областей с резко выраженным экспоненциальным законом изменения электромагнитного поля. Наличие областей с таким распределением поля позволяет удалить часть поверхности без существенных потерь добротности для некоторых типов колебаний и тем самым реализовать открытую резонансную систему. Биконические резонаторы по сравнению с цилиндрическим резонатором исключают вырождение паразитных типов колебаний, а это позволяет достичь высоких значений добротности. Соответствующим выбором угла при вершине конуса можно сформировать электромагнитное поле, сконцентрированное в основном в центральной области резонатора, что способствует большему повышению добротности резонатора [69]. С целью повышения радиационной добротности используются открытые резонаторы, сечение которых уменьшается от центра к краям. В средней части таких резонаторов существуют волны, постоянное распространение которых уменьшается в случае удаление от центра резонатора. Нами разрабатывается СВЧ установка для непрерывного режима работы с биконическим резонатором, обладающим радиогерметичностью, в которой можно возбудить ЭП высокой напряженности (рис. 3.22). Внутри горизонтально расположенного биконического резонатора соосно по центральной его оси установлен шнековый транспортер 3,4. Отверстие на одной вершине кругового конуса 5 и конец корпуса 4 пристыкованы к нижнему основанию загрузочной емкости 2. Продолжение шнека расположено в загрузочной емкости 2, соединено с валом мотора-редуктора, установленного с наружной стороны загрузочной емкости 2 из неферромагнитного материала. Магнетроны 6 установлены по периметру стыка оснований круговых конусов со сдвигом на 120 градусов. В области вершин круговых конусов в биконическом резонаторе возбуждается ЭП высокой напряженности. Это значит, что при двукратном воздействии высокой напряженности электрического поля СВЧ

обеспечивается стерильность сваренного белкового корма. Непрерывность технологического процесса обеспечивается с помощью винтового фторопластового шнека 3 и цилиндрического корпуса. Винтовой шнековый транспортер состоит из цилиндрического диэлектрического корпуса 4, внутри которого вращается диэлектрический шнек 3 с спиралевидным ребром. На вершинах конусов с общим основанием круглого сечения имеются отверстия для подачи сырья и выгрузки готовой продукции в непрерывном режиме. Если диаметр этих отверстий меньше, чем четверть длины волны, то установка соответствует по требованиям радиогерметичности. Конструкционные параметры конического резонатора согласованы с длиной волны.

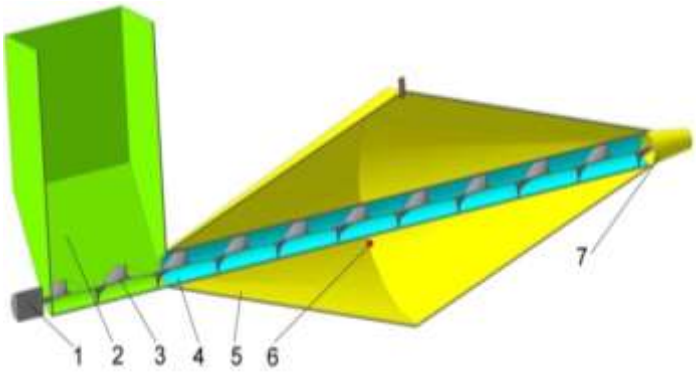


Рисунок 3.22 – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с биконическим резонатором для варки отходов убоя животных: 1 – мотор-редуктор для привода диэлектрического шнека; 2 – загрузочная емкость для измельченных непищевых отходов; 3 – винтовой шнек из диэлектрического материала; 4 – цилиндрический корпус шнека из диэлектрического материала; 5 – биконический резонатор; 6 – магнетроны; 7 – выгрузное отверстие на вершине кругового конуса

Технологический процесс термообработки отходов убоя животных в биконическом резонаторе в непрерывном режиме происходит следующим образом. Загрузить измельченным непищевым отходом загрузочную емкость 2. Включить мотор-редуктор 1 для привода винтового шнекового транспортера 3,4. При вращении винтового диэлектрического шнека 3 спиралевидные ребра проталкивают сырье по диэлектрическому цилиндрическому корпусу 4. Включить СВЧ генераторы, излучатели от магнетронов 6, направленные внутрь биконического резонатора 5, возбуждают в нем ЭМП. Причем напряженность ЭП сверхвысокой частоты в биконическом резонаторе увеличивается от центра к вершинам круговых конусов. Поэтому при перемещении сырья с помощью винтового шнека 3 через биконический резонатор сырье подвергается воздействию ЭП сразу высокой напряженности с постепенным спадом до центральной

части резонатора, а далее с увеличением напряженности ЭП к выгрузному отверстию 7. Такое двукратное воздействия ЭМПСВЧ с плавным изменением напряженности от минимума до максимума обеспечивает уничтожение патогенных микроорганизмов и выравнивание температуры сырья в объеме межвиткового пространства винтового шнека в процессе его перемещения и перемешивания. Это обеспечивает равномерный диэлектрический нагрев и варку сырья. Привод шнека осуществляется при помощи мотора-редуктора, позволяющего регулировать частоту вращения, для регулирования продолжительности перемещения сырья через биконический резонатор. Производительность установки зависит от количества генераторов и дозы (Вт·с/г) воздействия ЭМПСВЧ, т.е. от произведения удельной мощности генератора (Вт/г) и продолжительности воздействия (с). Форма и исполнение подающего винтового шнека в значительной степени зависят от физико-механических свойств сырья.

Операционно-технологическая схема термообработки и обеззараживания отходов убоя животных в СВЧ установке непрерывно-поточного действия с биконическим резонатором приведена на рис. 3.22 а.

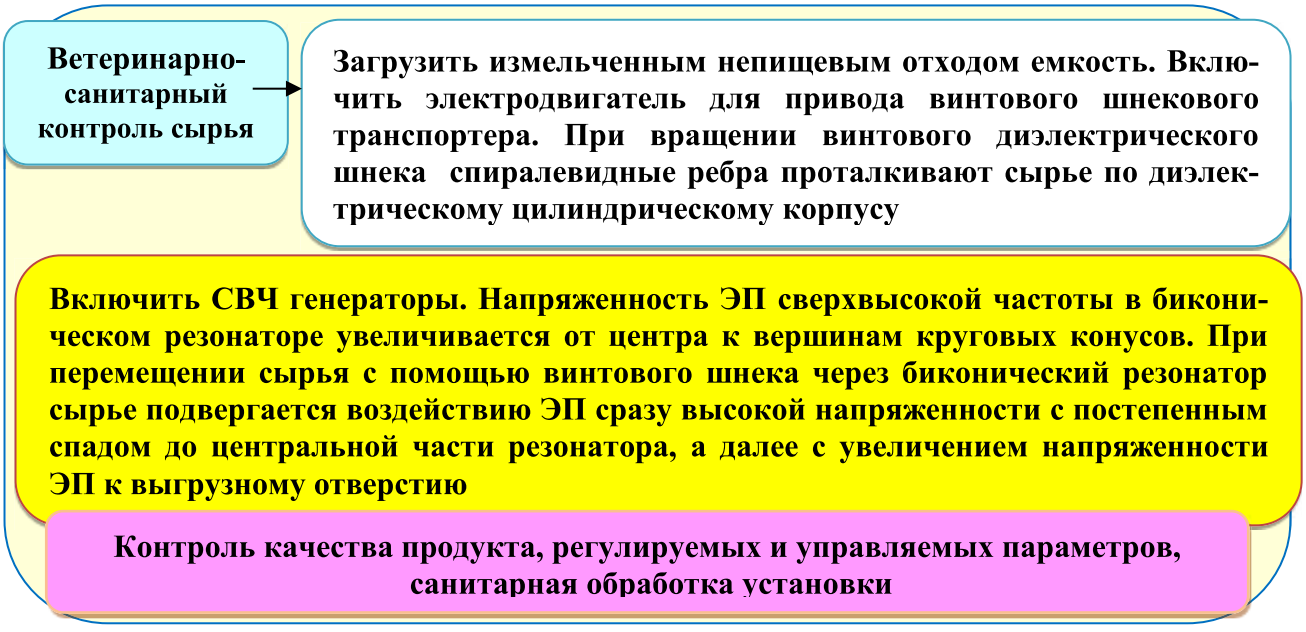


Рисунок 3.22 а – Операционно-технологическая схема термообработки и обеззараживания отходов убоя животных в СВЧ установке непрерывно-поточного действия с биконическим резонатором

3.5.3 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с ячеистыми барабанами для термообработки сырья (патент № 2671714).

СВЧ установка (рис. 3.23) с ячеистыми барабанами 1 для термообработки непищевых отходов убоя животных вмонтирована на монтажный каркас. Пустотелые ячеистые барабаны с радиопрозрачными скребковыми валками 6 расположены внутри экранирующего корпуса 4. Количество состыкованных барабанов и расположенных на одном валу зависит от необходимой производительности установки. Ячеистые барабаны выполнены из неферромагнитного материала и имеют продольные неферромагнитные отсеки 9. Отсеки наклонены в сторону вращения ячеистых барабанов и поперечно разделены на радиопрозрачные ячейки 8, равномерно. Ширина, глубина и длина отсеков согласованы с длиной волны.

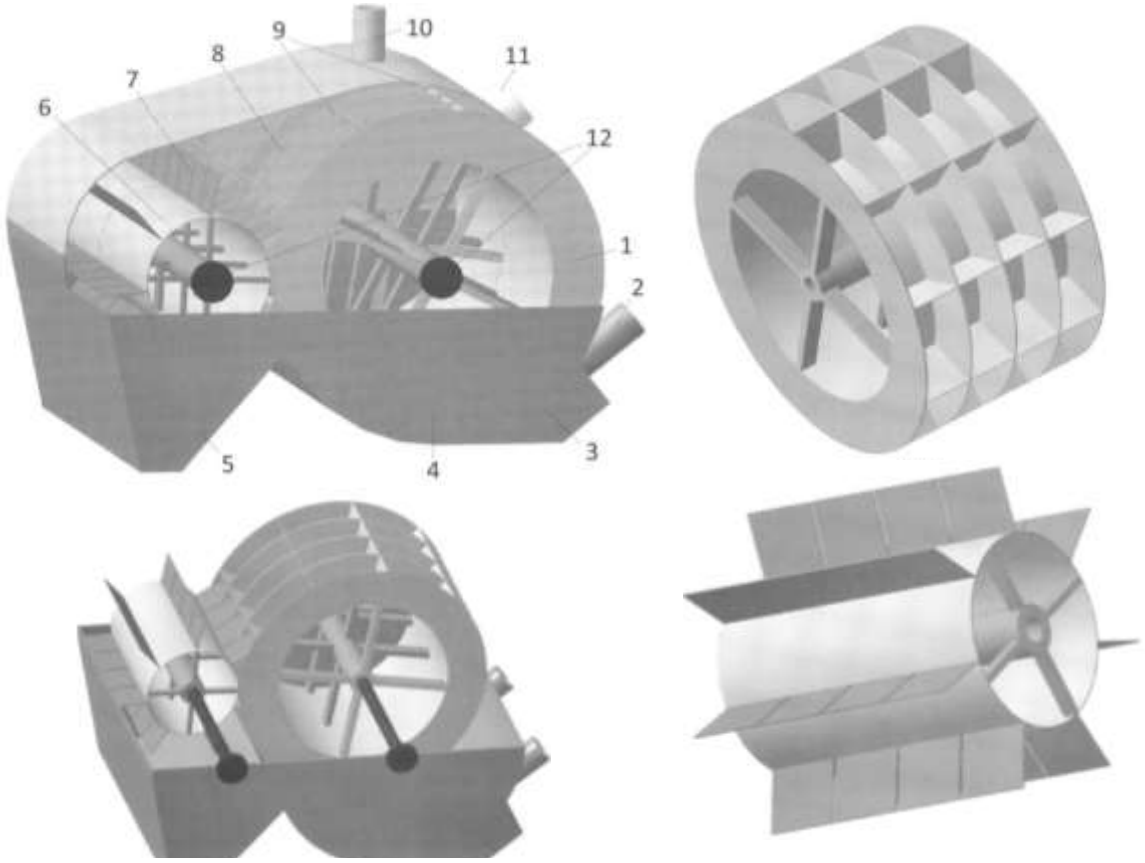


Рисунок 3.23 – СВЧ установка с ячеистыми барабанами: 1 − ячеистые барабаны; 2 – измельчитель; 3 − ванна для вязкого сырья;4 − экранирующий корпус; 5 − выгрузная емкость для термообработанной продукции; 6 − радиопрозрачные скребковые валки; 7 − пластинчатый скребок из фторопласта; 8 − ячейки из радиопрозрачного материала; 9 − отсеки из неферромагнитного материала; 10 − вытяжные вентиляторы; 11 − сверхвысокочастотные генераторы; 12 − валы для электропривода ячеистых барабанов 1 и радиопрозрачных скребковых валков 6

Под барабанами имеется ванна 3 для вязкого непищевого сырья, обеспечивающая полное погружение неферромагнитного отсека по горизонтальной оси. К ваннам пристыкованы соответствующие измельчители 2 «Волчек». Вдоль боковой поверхности ячеистых барабанов, ниже их горизонтальной оси, прижаты радиопрозрачные валки 6 с пластинчатыми фторопластовыми скребками 7, размеры которых меньше размеров радиопрозрачных ячеек. Валки 6 установлены на вал 12, так что их пластинчатые скребки по горизонтальной оси погружаются в соответствующие радиопрозрачные ячейки 8. Ячеистые барабаны и радиопрозрачные валки 6 вращаются навстречу друг к другу. Вдоль боковой поверхности экранирующего корпуса 4, где минимальный зазор до ячеистых барабанов , установлены СВЧ генераторы 11 так, что излучатели направлены в неферромагнитные отсеки 9, выполняющие функции объемных резонаторов. На корпусе предусмотрены вытяжные вентиляторы 10. Вдоль каждого барабана может быть установлены несколько СВЧ генераторов. Экранирующий корпус собран из верхней и нижней частей. Ванна 3 образована в нижней части корпуса 4 со стороны ячеистых барабанов, а со стороны радиопрозрачных скребковых валков 6 в нижней же части корпуса 4 предусмотрена выгрузная емкость 5. Размер щели в этой емкости 5 вдоль валков 6 для выгрузки готовой продукции составляет не более четверть длины волны, что ограничивает поток ЭМИ через корпус. С торцевой стороны корпуса имеется люк для проведения монтажных работ и санитарной обработки узлов установки.

Термообработка непищевых боенских отходов воздействием электромагнитного поля происходит следующим образом. Включить вытяжные вентиляторы 10. Включить электродвигатель 12 привода ячеистых барабанов и радиопрозрачных скребковых валков 6. Скорости вращения барабанов и валков согласованы между собой так, что скребки 7 должны стыковаться с ячейками 8. Включить измельчители «Волчек» 2. В процессе вращения барабанов ячейки заполняются измельченным сырьем, так как неферромаг-

нитные отсеки 9 наклонены от радиальной оси в сторону вращения. По мере заполнения ячеек 8 с измельченным сырьем следует включить СВЧ генераторы 11. ЭМПСВЧ возбуждается в объемных резонаторах, образованных между неферромагнитными отсеками и поверхностью барабанов 1. Резонатор представлен в виде продольного сегмента кольцевого цилиндра. Измельченное непищевое сырье в радиопрозрачных ячейках равномерно нагревается, варится и обеззараживается. Из-за того, что объемные резонаторы (отсеки 9) разделены на радиопрозрачные ячейки 8 шириной не более чем две глубины проникновения электромагнитных излучений сантиметрового диапазона во влажное сырье (3-4 см), то по всему объему ячеек 8 сырье нагревается равномерно. Ячейки 8 разделяют непищевое сырье на малые объемы, что ускоряет процесс равномерного его нагрева. За пределами воздействия ЭМПСВЧ в эндогенно нагретом непищевом сырье выравнивается давление, температура по всему объему. При соприкосновении радиопрозрачных ячеек с скребками 7 начинается выгрузка термообработанной продукции из ячеек, и готовая продукция накапливается в выгрузной емкости 5. При заполнении емкости 5 можно открыть задвижку и продукт выгрузить в транспортную тару через щель. Операционно-технологическая схема приведена на рис. 3.23 а.

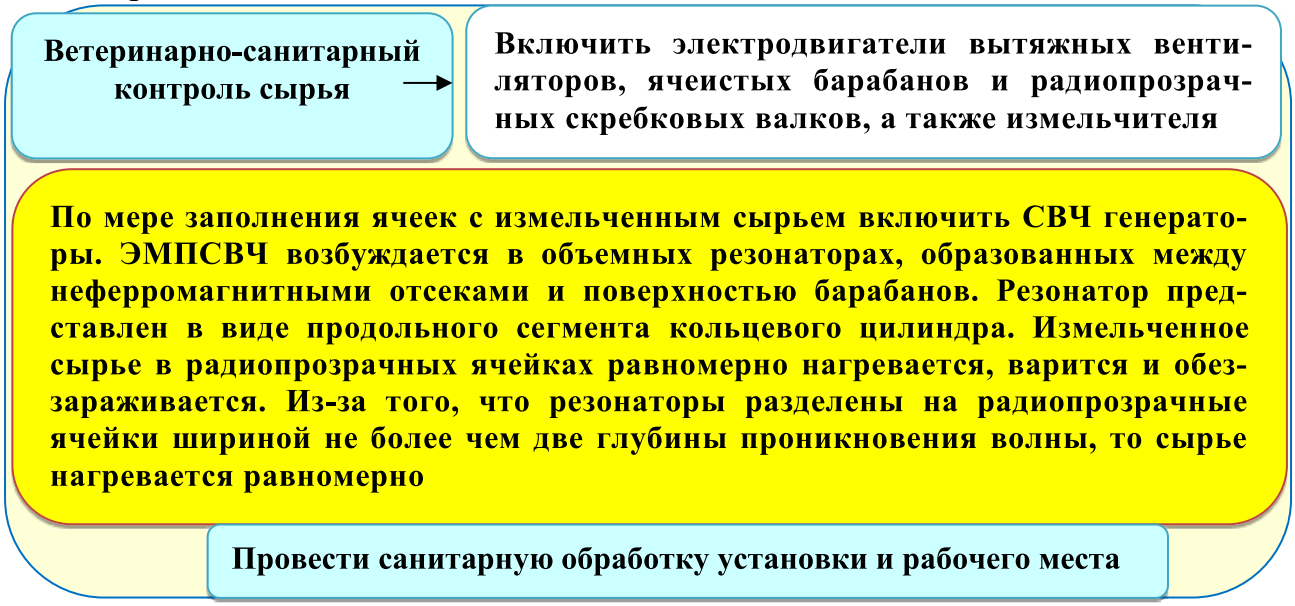


Рисунок 3.23 а – Операционно-технологическая схема термообработки измельченного мясного сырья в СВЧ установке с ячеистым барабаном

Так как щель размером не более четверть длины волны, то выгрузная емкость выполняет функцию запредельного волновода, поэтому поток мощности излучения не выходит за пределы допустимого за смену. Установка работает в непрерывном режиме. При обеспечении определенной напряженности ЭП в объемном резонаторе происходит снижение микробиологической обсемененности продукта. После окончания технологического процесса термообработки и обеззараживания непищевых отходов открыть с торцевой стороны корпуса люк и провести санитарную обработку узлов установки.

3.6 СВЧ УСТАНОВКА НЕПРЕРЫВНО-ПОТОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ С КОМБИНИРОВАННЫМ РЕЗОНАТОРОМ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ОТХОДОВ УБОЯ ЖИВОТНЫХ

3.6.1 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором в виде конусов пристыкованных к сфере для термообработки непищевых отходов животного происхождения

(патент № 2690482)

Известны открытые биконические резонаторы, используемые для повышения радиационной добротности [69]. Из открытого конца резонатора наблюдается заметное излучение. С целью повышения радиационной добротности используются открытые резонаторы, сечение которых уменьшается от центра к краям. В средней части таких резонаторов существуют волны, постоянное распространение которых уменьшается в случае удаление от центра резонатора. При достижении диаметра открытого торца резонатора определенных предельных значений, которые могут быть охарактеризованы значением половины диаметра основания конических составляющих резонатора, добротность резонатора значительно снижается, и его применение теряет смысл. С учетом таких известных положений нами разрабатывается микроволновая установка, где рабочей камерой служит сфера с состыкованными открытыми коническими резонаторами, позволяющими выгрузить готовую продукцию в непрерывном режиме и обеспечить радиогерметичность. Основными узлами микроволновой установки (рис. 3.24) являются сферический экранирующий корпус 11, кониче-

ские резонаторы с круглыми основаниями 3 и сверхвысокочастотные генераторы 2 малой мощности. Рабочая камера представлена в виде конических резонаторов 3, круглые основания которых состыкованы со сферическим экранирующим корпусом. В верхней части полусферы установлен загрузочный патрубок 1. К нижней полусфере равномерно по периметру пристыкованы конические резонаторы 3 с круглым основанием. Для этого в экранирующем корпусе имеются отверстия в области нижних полусфер. При этом оси конических резонаторов 3 являются продолжением радиальных осей сферического экранирующего корпуса.

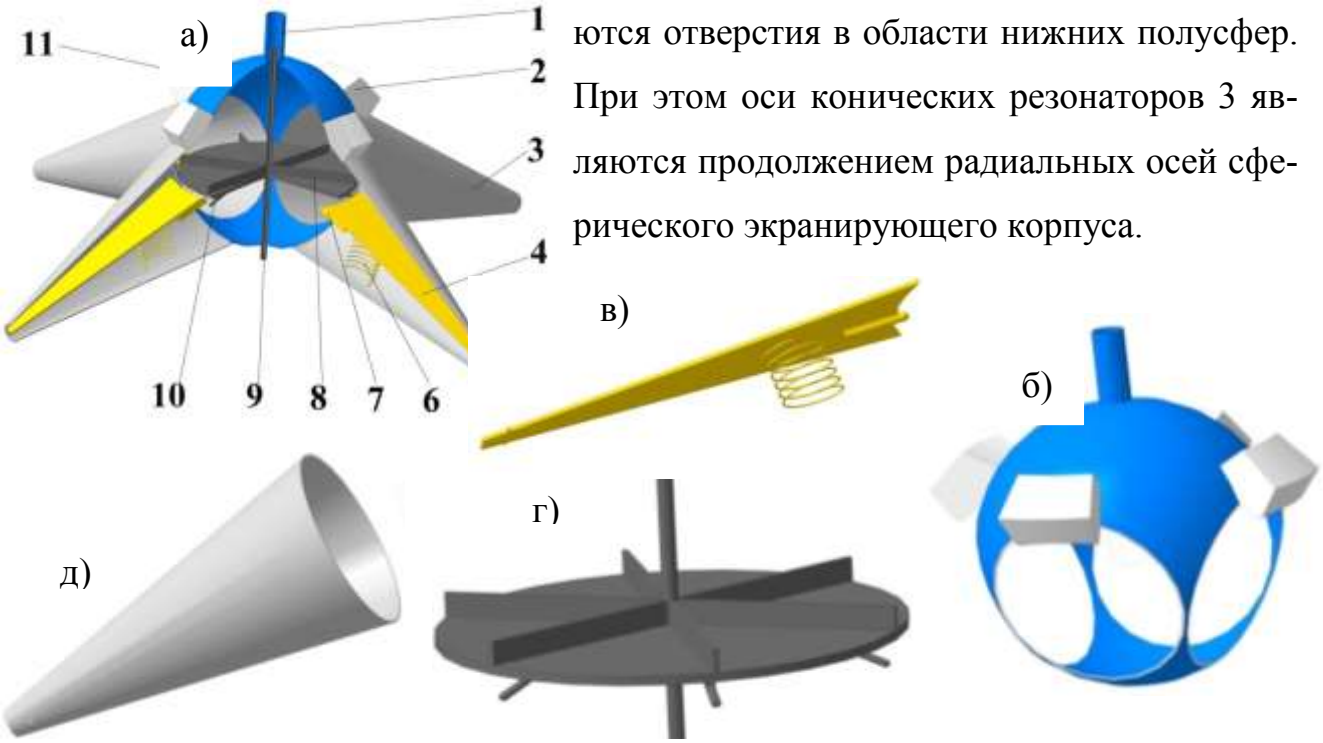


Рисунок 3.24 – Микроволновая установка с коническими резонаторами для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме: а) общий вид в разрезе; б) сферический экранирующий корпус, с расположением СВЧ генераторов и загрузочного патрубка; в) диэлектрический направляющий лоток с пружиной; г) диэлектрический диск с направляющими лопатками и толкателями; д) круговой конический резонатор; 1 – загрузочный патрубок; 2 – СВЧ генератор; 3 – круговой конический резонатор (с круглым основанием); 4 – диэлектрический направляющий лоток; 5 – выгрузное отверстие; 6 – пружина с радиопоглощающим покрытием; 7 – упорный элемент; 8 – диэлектрический диск с направляющими лопатками; 9 – вал электропривода; 10 – диэлектрический толкатель; 11 – сферический экранирующий корпус

Внутри сферического экранирующего корпуса соосно установлен диск 8, вращающийся от вала 9 электропривода. На диске 8 имеются направляющие лопатки, а под диском 8 – толкатели 10. Диск 8, направляющие лопатки, толкатели выполнены из диэлектрического материала. Лопатки расположены по радиальным осям диска. Толкатели, соприкасаясь с упорными элементами 7, приподнимают направляющие латки 4, выполненные из диэлектрического матери-

ала, и опускают, т.е. толкатели и упорные элементы обеспечивают вибрацию диэлектрического лотка 4. Сверхвысокочастотные генераторы 2 установлены на стыках сферического экранирующего корпуса и круговых конических резонаторов. На вершинах конических резонаторов имеются выгрузные отверстия 5, предназначенные для выгрузки готового продукта. Для сохранения радиогерметичности сверхвысокочастотной установки диаметр выгрузного отверстия не может превышать четверти длины волны. Диаметр сферического корпуса и конструкционные параметры конических резонаторов 3 согласованы с длиной волны.

Технологический процесс термообработки отходов убоя животных в непрерывном режиме происходит следующим образом. Включить электропривод диска (вал 9), измельчающего механизма. Измельченные непищевые отходы попадают в рабочую камеру через загрузочный патрубок 1, имеющийся на сферическом корпусе. Включить СВЧ генераторы. Сырье падает на вращающийся диэлектрический диск 8 и с помощью направляющих лопастей за счет центробежной силы сбрасывается на диэлектрические лотки 4. В рабочей камере (в сфере 11 и в конических резонаторах 3) возбуждается ЭМПСВЧ. Сырье при передвижении по диэлектрическому диску 8 и по диэлектрическим лоткам 4 нагревается, варится и обеззараживается в непрерывном режиме. При этом лотки 4 за счет упорных элементов 7 и толкателей 10 приподнимаются до уровня диска 8 и опускаются, за счет вибрации пружины 6 сырье по лоткам 4 передвигается к выгрузным окнам 5 и выгружается в специальную тару. Технические характеристики СВЧ установки приведены в табл. 3.10.

Таблица 3.10 – Технические характеристики СВЧ установки с коническими резонаторами

Наименование	Параметры
Производительность, кг/ч	40-50
Мощность СВЧ генераторов, кВт	4,8
Мощность привода диска, кВт	0,5
Мощность СВЧ установки, кВт	5,3
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,11-0,13
Габаритные размеры, м	2,0х1,0

Операционно-технологическая схема приведена на рис. 3.24 а.

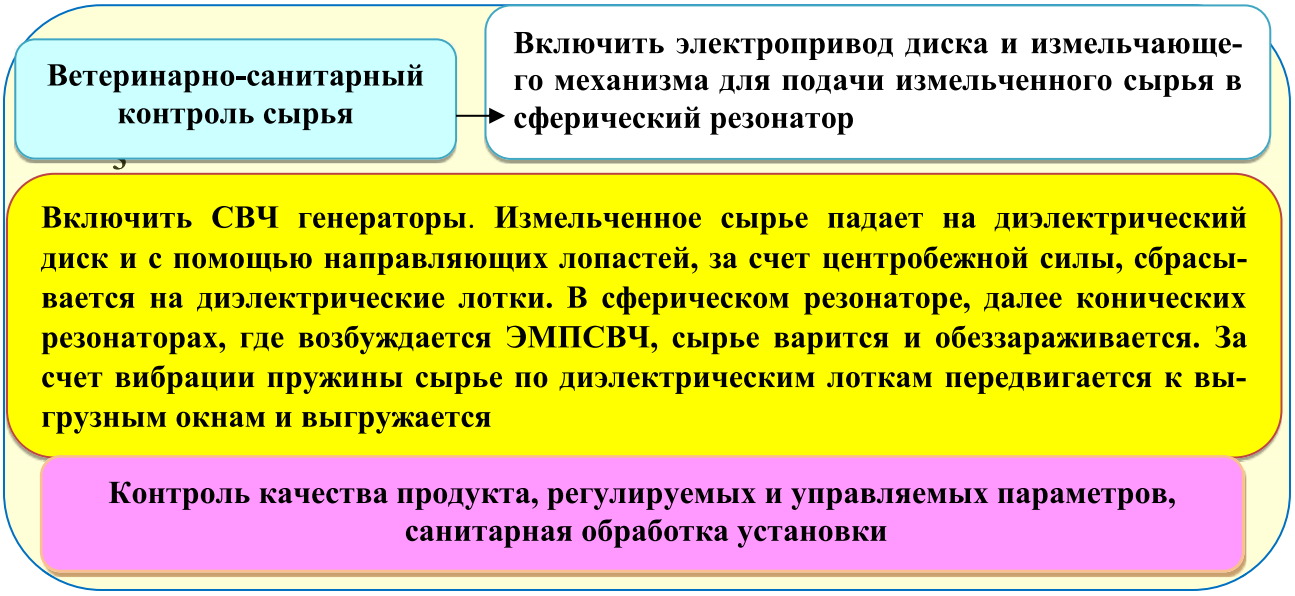


Рисунок 3.24 а – Операционно-технологическая схема термообработки и обеззараживания вторичного сырья в СВЧ установке с комбинированным резонатором в виде конусов, пристыкованных к сфере

3.6.2 СВЧ установка непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором для термообработки измельченных и обезвоженных отходов убоя животных (патент № 2729153)

Разработанная и изготовленная СВЧ установка с комбинированным резонатором (рис. 3.25) предназначена для отделения жидкой фракции от измельченных непищевых отходов убоя животных, термообработки и обеззараживания твердой фракции. Установка содержит измельчитель сырья и центрифуга. В экранирующем корпусе расположен комбинированный резонатор с тремя источниками СВЧ энергии. Верхняя часть комбинированного резонатора представлена полусферой, центральная часть – образующей цилиндра, а нижняя часть – наклонным конусом. Причем, на дне резонатора, выполненном под наклоном, расположен перемешивающий механизм - диэлектрический диск, и имеется выгрузной патрубок с шаровым вентилем. Над резонатором расположена центрифуга так, что жидкая фракция сырья сливается с периферии. Центрифуга работает по принципу соковыжималки «Нептун», куда подается предварительно измельченное с помощью «Волчка» сырье. Измельченное сырье влажностью до 85 % попадает в центрифугу, далее твердая фракция падает на

поверхность полусферы. Она свободно подвешена с центральной точки с помощью цепи на съемную перекладину 8, установленную на направляющую трубу. Полусфера расположена под направляющей трубой. Между ними имеется кольцевой зазор, через который твердая фракция сырья при колебании полусферы соскальзывает с ее поверхности и падает в комбинированный резонатор. Зазор, предназначенный для загрузки сырья в резонаторную камеру, и диаметр неферромагнитного патрубка с шаровым клапаном для выгрузки продукта не могут превышать четверть длины волны. В этом зазоре образуется стоячая электромагнитная волна, которая имеет нулевое амплитудное значение, поэтому волна наружу не распространяется. К боковой поверхности комбинированного резонатора пристыкованы волноводы и направлены три излучателя от соответствующих магнетронов..

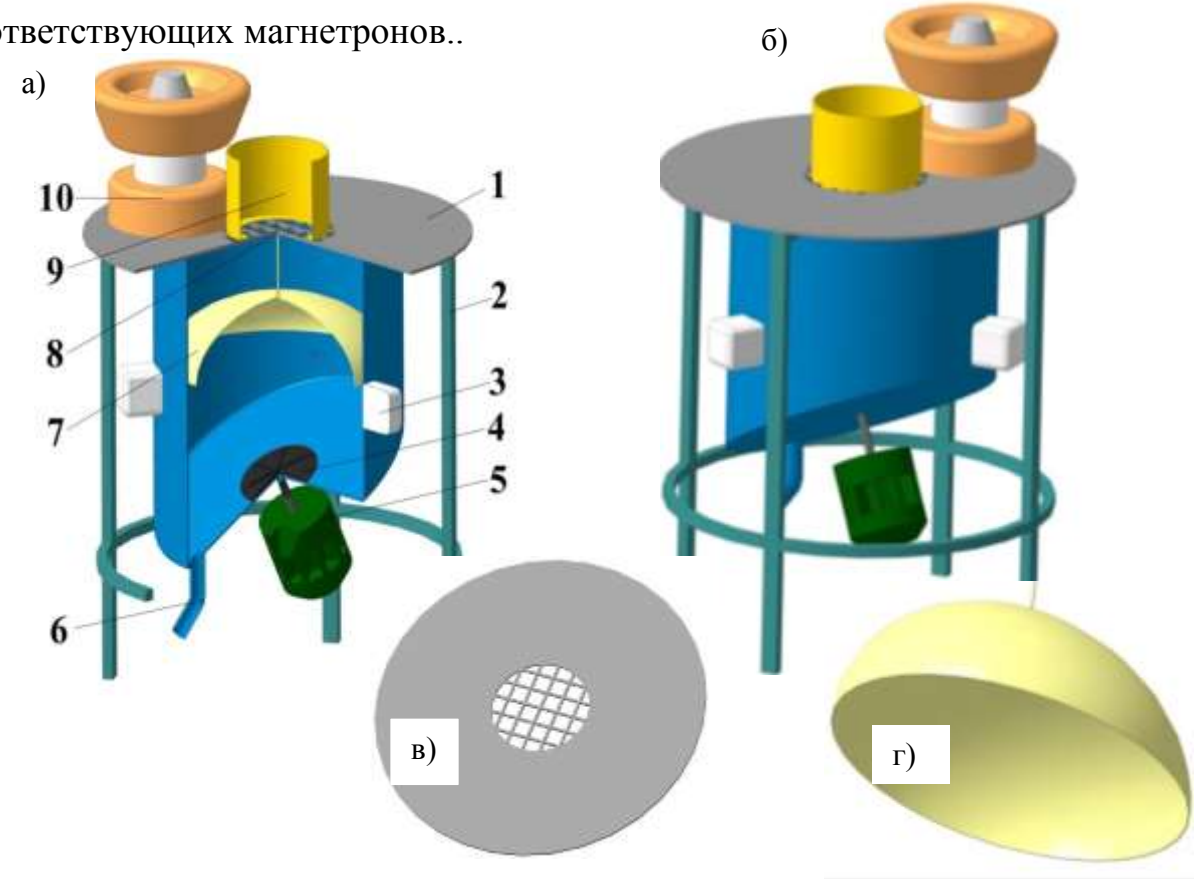


Рисунок 3.25 – СВЧ установка с комбинированным резонатором с тремя источниками энергии и центрифугой: а, б) общий с разных сторон; в) съемная перекладина; г) полусфера; 1 – стол; 2 – монтажный каркас; 3 – магнетроны; 4 – диск; 5 – электродвигатель; 6 – шаровой кран; 7 – полусферическая часть резонатора; 8 – съемная перекладина; 9 – приемная емкость для твердой фракции; 10 – центрифуга

Магнетроны 3 с волноводами установлены со сдвигом на 120 градусов с наружной стороны боковой поверхности комбинированного резонатора. Твердая фракция непищевых мягких отходов подвергается в резонаторе воздействию ЭМПСВЧ, варится, обеззараживается и выгружается через патрубок с шаровым краном 6.

Операционно-технологическая схема процесса термообработки влажного непищевого сырья в СВЧ установке с комбинированным резонатором приведена на рис. 3.25 а.

Рисунок 3.25а – Операционно-технологическая схема процесса термообработки непищевых отходов в СВЧ установке с комбинированным резонатором

Технические характеристики СВЧ установки с комбинированным резонатором приведены в табл. 3.11.

Таблица 3.11 – Технические характеристики СВЧ установки

Производительность, кг/ч	30-40
Потребляемая мощность СВЧ установки, кВт	6,08
Потребляемая мощность СВЧ установки без измельчителя, кВт	4,28
Мощность электродвигателя вентилятора , кВт	0,24
Мощность перемешивающего диска, кВт	0,32
Мощность измельчителя, кВт	1,8
Мощность центрифуги, кВт	0,32
Потребляемая мощность трех СВЧ генераторов, кВт	3,4
Удельные энергетические затраты без измельчения, кВт·ч/кг	0,15-0,2
Габаритные размеры, м	0,8х0,8х1,5

3.7 СОПУТСТВУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СВЧ УСТАНОВОК

3.7.1 Устройство для дозирования вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры (патент № 2636156)

Устройство может быть использовано для дозирования вязкого сырья, в том числе крови убойных животных. Известны установки и способ [208] для термообработки крови убойных животных. Установка для термообработки крови убойных животных содержит цилиндрический экранирующий корпус, внутри которого расположен ротор. По всему периметру ротора закреплены нижние части резонаторных камер, куда кровь подается дозированно, в автоматическом режиме [патенты № 2537552, № 2541634]. В данной установке для термообработки крови убойных животных в ЭМПСВЧ цилиндрические резонаторы установлены по периметру ротора. Это позволяет варить кровь в непрерывном режиме. Для этого в передвижные резонаторы следует заливать кровь убойных животных в процессе движения ротора. При этом за один оборот ротора дозированная кровь убойных животных подвергается многократному воздействию ЭМПСВЧ, варится и выгружается при повороте резонатора.

Известен объемный дозатор для вязких масс, который содержит горизонтальную плиту с вертикальным сквозным отверстием с гильзой, снабженной

средством вертикального возвратно-поступательного перемещения. Пуансон установлен с возможностью вертикального возвратно-поступательного перемещения в объеме гильзы и выполнен с осевым сквозным отверстием, в котором размещен плунжер. Пуансон снабжен наружным выступом, взаимодействующим с качающимся рычагом, предназначенным для подъема пуансона. При работе дозатора осуществляют одновременное синхронное перемещение гильзы с неподвижным относительно нее пуансоном и плунжером вертикально вниз к тестовому листу [патент № 2302115].

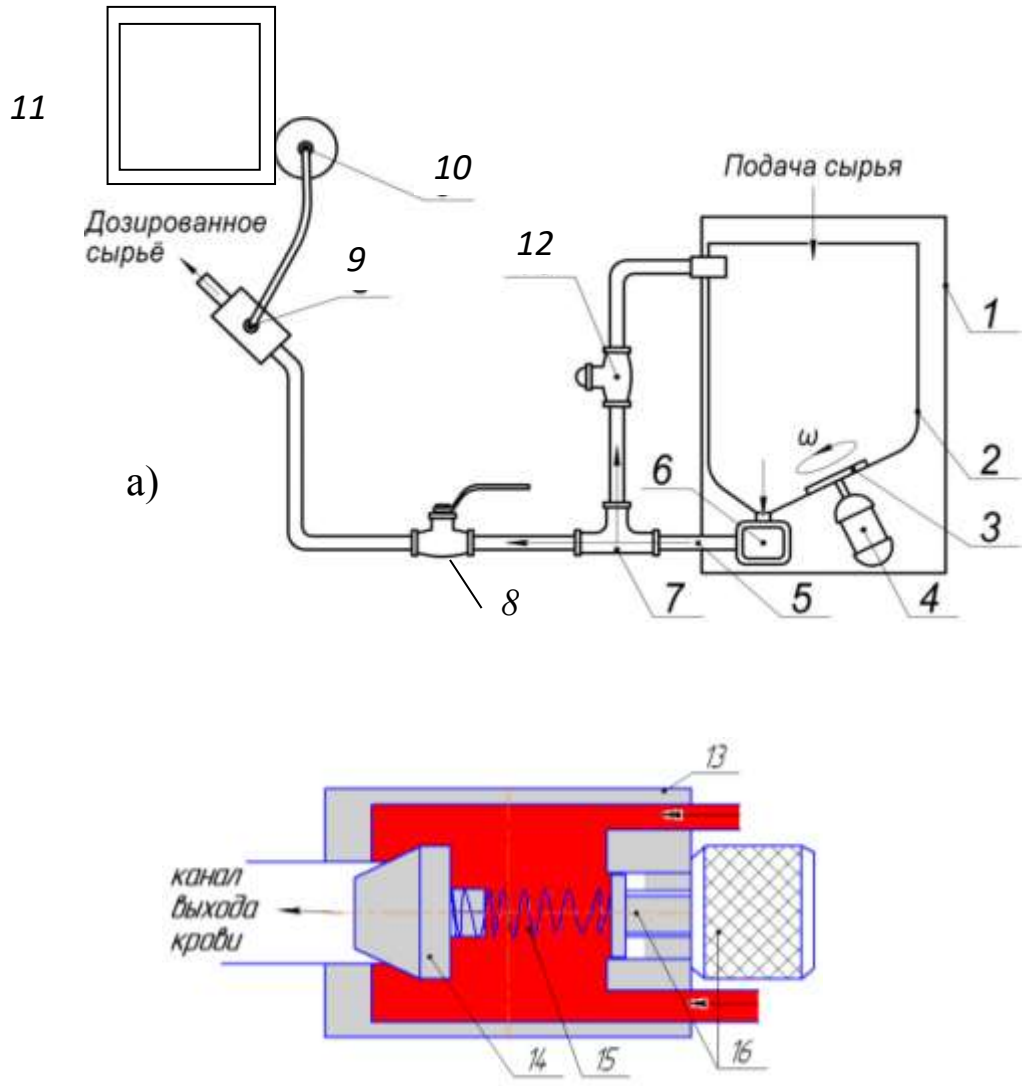
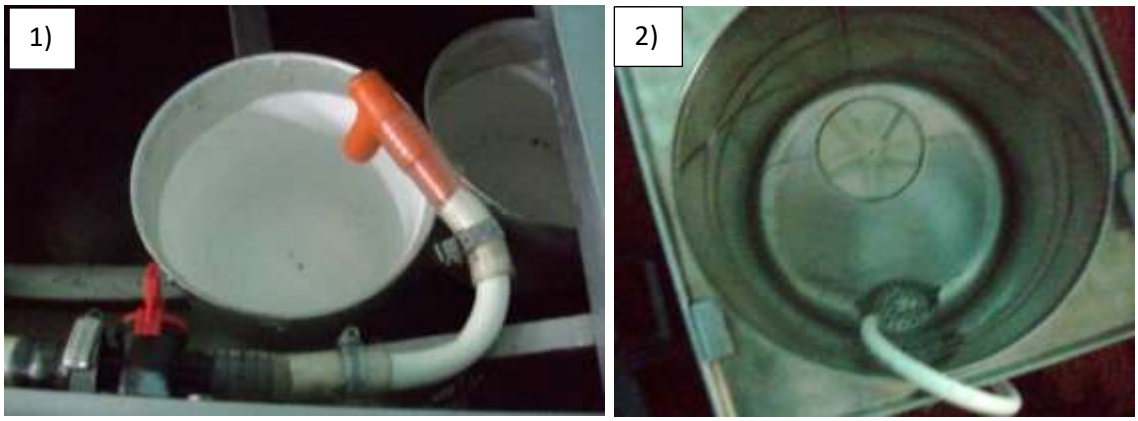


Рисунок 3.26 – Технологическая схема устройства для дозирования вязкого сырья: а) схема перекачивания; б) редукционный клапан; 1 – корпус приемной емкости, 2 – нижнее основание емкости, 3 – вращающийся диск, 4 – электродвигатель, 5 – гибкий трубопровод, 6 – насос, 7 – распределительный тройник, 8 – кран, 9 - редукционный клапан, 10 – датчик положения рабочей камеры, 11 – передвижная рабочая камера, 12 - клапан обратного хода, 13 – корпус редукционного клапана, 14 – плунжер, 15 – пружина, 16 – заглушка.



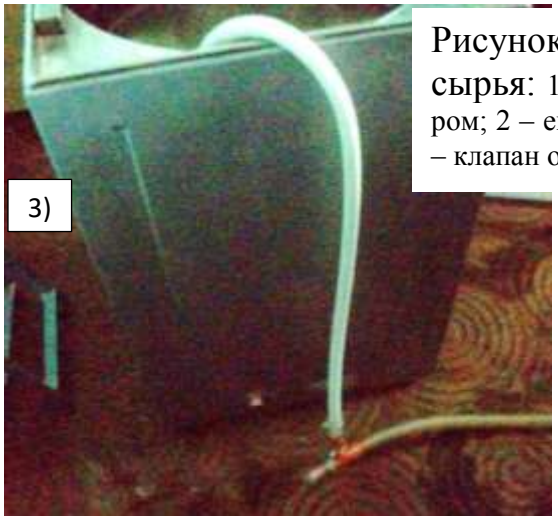


Рисунок 3.27– Устройство для дозирования вязкого сырья: 1 – редукционный клапан над цилиндрическим резонатором; 2 – емкость с вращающимся диском и сливным элементом, 3 – клапан обратного хода

Технологической задачей является обеспечение безотходного дозирования вязкой жидкости из емкости в передвижные рабочие камеры с использованием датчика положения. Для дозированной подачи вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры разработан и изготовлен дозатор (рис. 3.26, 3.27). Дозатор представлен в виде емкости 1, куда заливают вязкую жидкость. Далее жидкость с помощью с насоса 6 перекачивается в движущиеся рабочие камеры 11 через редукционный клапан 9, который выполняет запорно-регулирующую функцию. Дозирование вязкой жидкости происходит за счет редукционного клапана. Клапаны непрямого действия воздействуют на вспомогательный элемент, а уже его перемещение оказывает влияние на положение основного элемента запорно-регулирующего аппарата. При вращении ротора с рабочими камерами 11 происходит соприкосновение ролика 10 к стенке рабочей камеры 11. При этом вспомогательный элемент, в виде рычага, связанный с роликом 10

открывает редукционный клапан 9, и вязкая жидкость поступает в рабочую камеру. Когда ролик 10 отходит от рабочей камеры 11, редукционный клапан 9 закрывается, вязкая жидкость стекает обратно. Остатки жидкости в шланге стекают через распределительный тройник 8 и клапан обратного хода 12 обратно в емкость. Редукционный клапан 9 сохраняет необходимое давление в канале для жидкости. Редукционный клапан состоит из корпуса 13, пружины 15, плунжера 14, заглушки 16. При закрывании дозирующего клапана под действием пружины 15 плунжер 14 закрывает канал, тем самым подача жидкости прекращается, и контролируется процесс самовытекания из канала в рабочую камеру.

Процесс дозирования вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры происходит следующим образом. Залить вязкую жидкость в приемную емкость 1 и закрыть крышкой. Включить электродвигатель 4 для привода диска 3, который начинает перемешивать вязкую жидкость. Далее включить привод ротора, обеспечивающий передвижение рабочих камер. После включения насоса 6 вязкая жидкость из приемной емкости 1 перекачивается через редукционный клапан 9 в передвижные рабочие камеры 11. Причем, если ролик (датчик положения) 10 соприкасается к поверхности рабочей камеры 11, то рычаг способствует открыванию редукционного клапана 9. Плунжер 14, пружина 15 и заглушка 16 обеспечивают подачу жидкого сырья в рабочую камеру. В промежутке между передвижными рабочими камерами (датчик положения) ролик не соприкасается с поверхностью камеры 11, с помощью рычага перекрывается редукционный клапан 9, остатки вязкой жидкости сливаются обратно в приемную емкость 1 через распределительный тройник 7 и клапан обратного хода 12. При закрывании редукционного клапана 9 под действием пружины, плунжер закрывает канал, тем самым подача вязкой жидкости прекращается. Расход вязкой жидкости регулируется вручную с помощью крана 8.

3.8 ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

Методология проектирования СВЧ установок для термообработки вторичного сырья предусматривает критерии функционирования, критерии оценки кормовой ценности продукта, алгоритм исследования. Выработана методика разработки основных узлов многогенераторных радиогерметичных СВЧ установок, состоящих из маломощных магнетронов с воздушным охлаждением.

Непрерывный режим работы СВЧ установки можно обеспечить за счет транспортирования сырья через резонатор, за счет передвижных или вращающихся частей резонатора, но с использованием запредельных волноводов для ограничения электромагнитных излучений. Транспортирующим механизмом может быть в зависимости от консистенции сырья: диск, шнек, ротор, барабан, вибратор, насос и т.п.

Разработаны СВЧ установки с сферческими, тороидальными, цилиндричекими, коническими и комбинированными резонаторами для работы в периодическом или непрерывном режимах. Рабочие камеры разработаны так, что обеспечивают транспортирование сырья через резонатор, перемешивание, измельчение, отделение жидкой фракции и термообработку.

Установки сгруппированы по конфигурации резонаторов. Разработанные СВЧ установки для термообработки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения перечислен ниже:

1. Радиоволновые установки для термообработки непищевого сырья, обеспечивающие комплексное воздействие электромагнитных излучений разных длин волн (патент № 2626156).
2. СВЧ установка с резонатором, образованным между двумя сферами для термомеханического разрушения непищевых отходов убоя животных (патент № 2629221).
3. Установка с движущимися источниками СВЧ энергии в тороидальном резонаторе для термообработки непищевых отходов убоя животных (патент № 2629220).

4. Сверхвысокочастотная установка с тороидальным резонатором для термообработки непищевых отходов убоя животных в процессе транспортирования с помощью ячеистого ротора (патент № 2629159).

5. Сверхвысокочастотная установка для варки отходов убоя птицы и животных (патент № 2629259).

6. Сверхвысокочастотная установка для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме (патент № 2671712).

7. Микроволновая технология извлечения жира из жиросодержащего сырья (патент 2636155).

8. Устройство для дозирования вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры (патент № 2636156).

9. Многомодульная центробежная сверхвысокочастотная установка для термообработки сырья животного происхождения и отделения жидкой фракции (патент № 2694179).

10. Сверхвысокочастотная установка со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья (патент № 2667751).

11. Сверхвысокочастотная установка для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме (патент № 2679203).

12. Многоярусная сверхвысокочастотная установка для термообработки влажного сырья в непрерывном режиме (патент № 2661372).

13. Сверхвысокочастотная установка со сферическим резонатором для термообработки сырья животного происхождения в непрерывном режиме (патент № 2660906).

14. Сверхвысокочастотная установка с ячеистым барабаном для термообработки непищевых отходов убоя животных (патент № 2671714).

15. Микроволновая установка для термообработки сырья в процессе измельчения (патент № 2671710).

16. Установка для гранулирования обезвоженных непищевых отходов убоя животных в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (патент № 2703944)

17. Микроволновая установка для обезвоживания и термообработки непищевых отходов убоя животных (патент № 2693737).

18. Установка для гранулирования измельченных отходов животного и растительного происхождения в процессе диэлектрического нагрева (патент № 2703940).

19. Сверхвысокочастотная установка с биконическим резонатором и шнеком для варки отходов убоя животных (патент № 2729151).

20. Микроволновая установка с коническими резонаторами для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме (патент № 2690482).

21. Микроволновая установка с комбинированным резонатором для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме (патент № 2729153).

22. Сверхвысокочастотная установка с коническим резонатором для обезвоживания и термообработки мясных отходов (патент № 2710154).

23. Сверхвысокочастотная установка с передвижными полусферами для термомеханического разрушения сырья (патент № 2671699).

Конструкционные особенности резонаторов

Сферические резонаторы обеспечивают самую максимальную собственную добротность. Непрерывность технологического процесса с сохранением электромагнитной безопасности можно достичь с использованием запредельных волноводов.

В конденсаторной части тороидального резонатора можно возбудить высокую напряженность электрического поля, достаточную для снижения общего микробного числа в сырье.

Перфорированный цилиндрический резонатор с основанием в виде терочных дисков обеспечивает измельчение, обезвоживание в процессе воздействия ЭМПСВЧ на влажное сырье.

Цилиндрический резонатор форме винтового шнека, витки которого выполнены в виде лезвии ножа, обеспечивает измельчение, обезвоживание в процессе воздействия ЭМПСВЧ на влажное сырье.

Резонатор в виде ячеистого барабана обеспечивает высокую напряженность электрического поля в отсеках и равномерный нагрев измельченного сырья в процессе перемещения в ячейках.

Перфорированный коаксиальный резонатор с вращающимся дисковым основанием в виде терки обеспечивает измельчение, обезвоживание и термообработку сырья.

Конические центробежные резонаторы обеспечивают удаление жидкой фракции, измельчение и термообработку твердой фракции непищевых отходов.

Биконический резонатор обеспечивает радиогерметичность установки без *экранирующего корпуса* и *запредельных волноводов* из-за имеющегося критического сечения на вершинах конусов, от которого волны отражаются в обратную сторону.

Комбинированный резонатор, образованный между полусферой и цилиндром в экранирующем цилиндрическом корпусе позволяет сохранить собственную добротность достаточно высоком уровне и обеспечивает высокую напряженность электрического поля в перемешиваемом сырье.

В случае использования свободно подвешенной полусферы как часть резонатора, на выпуклую поверхность которой влажное измельченное сырье падает, перемещение его через ЭМП происходит без транспортирующих механизмов, следовательно, термообработка происходит при сниженных эксплуатационных затратах.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕРМООБРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭМПСВЧ

4.1 Экспериментальные исследования процессов термообработки сырья в разработанных установках

Известен Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Минсельхоз России) от 12 марта 2014 г. N 72 г. Москва "Об утверждении Правил в области ветеринарии при убое животных и первичной переработке мяса и иных продуктов убоя непромышленного изготовления на убойных пунктах средней и малой мощности". Зарегистрирован под номером 34634 в Минюсте РФ 11 ноября 2014 г. Правилами устанавливают ветеринарно-санитарные требования к процессам убоя животных и первичной переработке мяса и иных продуктов убоя на убойных пунктах средней и малой мощности.

Известно, что все корма, приготовленные из отходов и побочных продуктов переработки животных и птицы, относят к белковым продуктам. Они богаты минеральными веществами, хорошо перевариваются, и используется для обогащения рационов свиней, птицы и пушных зверей [studref.com›othody myasnoy promyshlennosti].

К новейшим приемам переработки биологических отходов относятся ***экструзионные технологии.*** Непищевые отходы в экструдере обрабатываются не более 20-30 с., поэтому экструзионные технологии принято относить к кратковременным высокотемпературным процессам. Основная проблема, возникающая при переработке таких отходов, ***их высокая влажность*** (до 80 %). Поэтому при такой технологии используют зерно, зерновые отходы, отруби, шроты в качестве наполнителя. Объем наполнителя превышает объем непищевых отходов в 3-5 раз, что увеличивает эксплуатационные затраты на технологический процесс.

Известен способ получения вареных кормов, включающий измельчение непищевых отходов *мясной промышленности*, термообработку, обезжиривание и охлаждение (патент № 2038804, 1992 г.). При производстве вареного корма берут непищевые отходы мясной промышленности (обрезки мышечной ткани и кишок, кровь, внутренние органы, эмбрионы, половые органы, мездру со шкур,

шлям и т.п.). Сырье, требующие измельчения до размера кусочков 5-10 мм направляют в измельчитель Г7-ФИР. Далее сырье подвергают термообработке в котлах, затем проводят обезжиривание с отводом жира. Отходы загружают в котел до 70 % его объема и варят в течение 4-5 часов от начала кипения, перемешивая мешалкой. В готовом корме влаги должно быть не больше 80 %. Выход вареного корма к массе заложенного сырья составляет 60%.

Для производства вареного корма из *непищевых отходов переработки птиц* используют следующее сырье: кровь, пищеводы, зобы, кишечники, железистые желудки, желчные пузыри, трахеи, селезенки, яичники, яйцеводы, семенники, кутикулы и т.п.

Такие технические отходы составляют 12-14,3 % от общего объема сырья. Мягкие отходы содержат 57-63 % влаги. 80-90 % сухих веществ − это белки (коллаген, эластин, ретикулин); 10-19 % − жиры. Эти отходы имеют низкий коэффициент переваримости (30-40 %), поэтому следует подвергать их термообработке со стерилизацией. Стерилизуют сырье в автоклавах под воздействием водяного насыщенного пара давлением не менее 0,15 Мпа при температуре 126 ^{o}C в течение 60 минут. Так как технические отходы убоя птиц обладают повышенным содержанием жира и коллагена, до погрузки в автоклав следует обезвожить до 40 %. Готовый корм содержит не более 30 % влаги [https://findpatent.ru/patent/212/2125811.html].

Нами разработана микроволновая технология и множество технических средств, предназначенных для термообработки обезвоженных непищевых отходов с целью использования их в качестве белкового корма для молодняка животных.

Экспериментальные исследования процессов термообработки сырья проведены с целью проверки адекватности математических моделей и аргументирования основных теоретических выражений. При экспериментальном исследовании технологических процессов варки и обеззараживания обезвоженных непищевых отходов животного происхождения воздействием ЭМПСВЧ следует:

- изучить динамику нагрева сырья разного состава и отдельных ингредиентов при разной их влажности и удельных мощностях СВЧ генератора;

- получить регрессионные модели для оптимизации конструкционно-технологических параметров и режимов работы СВЧ установок (метод планирования многофакторных экспериментов);

- оценить микробиологические и органолептические показатели продукта и проанализировать их физико-химический состав, получить эмпирические выражения;

- провести производственную проверку опытного образца СВЧ установки непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором, обеспечивающим варку и обеззараживание обезвоженного сырья, корректировать режимы работы;

- проверить радиогерметичность опытного образца СВЧ установки и обосновать продолжительность обслуживания персоналом.

Экспериментальные исследования включают следующие операции: снятие кривых динамики нагрева сырья и ингредиентов; оценку равномерности распределения температуры в сырье; определение общего микробного числа; расчет производительности; определение удельных энергетических затрат. На основании полученных и проверенных методами математической статистики данных и многокритериальной оценки определены эффективные технологические параметры СВЧ установок и режимы работы.

4.1.1 Динамика нагрева сырья в сверхвысокочастотной установке с комбинированным резонатором

В процессе проведения экспериментов сырьем служили непищевые белковые отходы переработки скота и птиц. Из отходов убоя и переработки птиц исследуемым сырьем служили печень, желудки железистые, почки, селезенки.

Из отходов убоя животных и переработки их продукции исследуемым сырьем служили кровь, селезенка, печень, почки, вымя, легкие, кишечное сырье. Проведены исследования динамики нагрева отдельных компонентов непищевых отходов в ЭМПСВ при различных удельных мощностях. Динамика эндогенного

нагрева печени и почек свиней при разных удельных мощностях СВЧ генератора приведена на рис. 4.1.

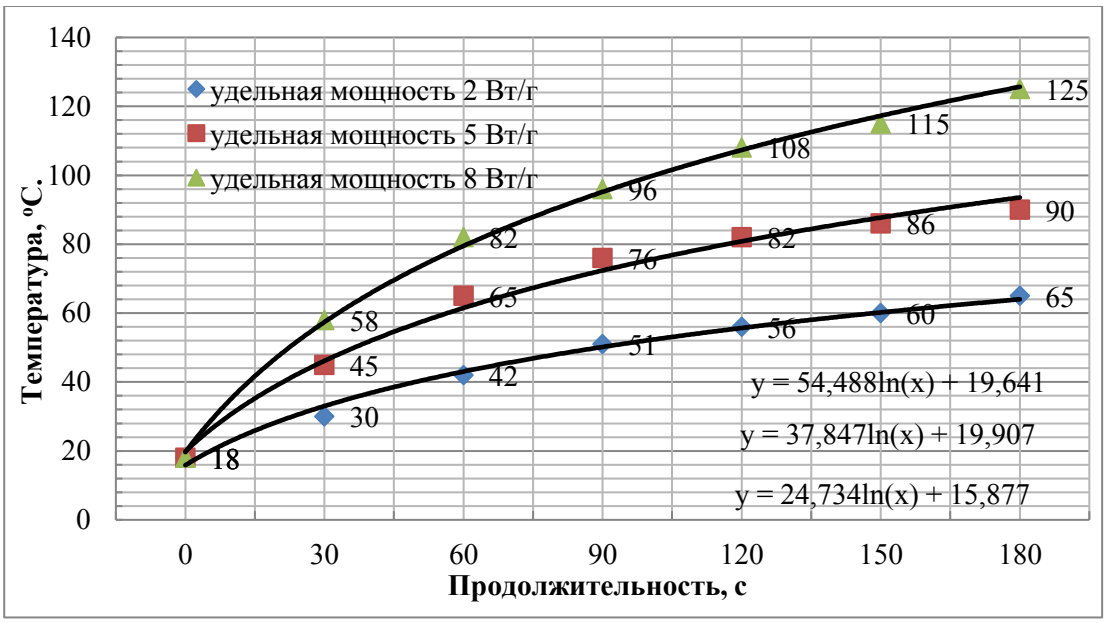


Рисунок 4.1 – Динамика диэлектрического нагрева ливера (печени и почек) при удельных мощностях: 2 Вт/г, 5 Вт/г, 8 Вт/г

Эмпирические выражения, описывающие зависимость температуры от продолжительности воздействия ЭМПСВЧ при разных удельных мощностях СВЧ генератора: 8 Вт/г – T = 54,488 In (τ) +19,64;

5 Вт/г – T = 37,847 In (τ) +19,91;

2 Вт/г – T = 24,734 In (τ) +15,88. (4.1)

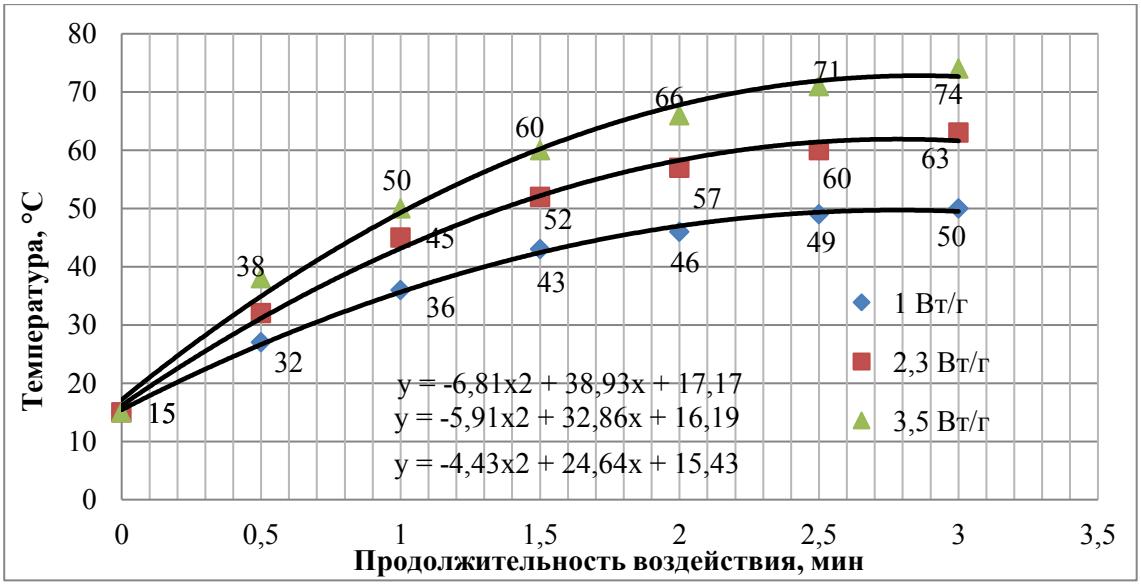


Рисунок 4.2 – Динамика нагрева крови убойных животных при разных удельных мощностях СВЧ генератора: 1,0 Вт/г; 2,3 Вт/г; 3,5 Вт/г

Экспериментальные исследования динамики нагрева крови убойных животных (начальной температурой 15°С) показывают, что приращение температуры на 60°С в продукте достигается за 180 с, если удельная мощность генератора 3,5 Вт/г, (рис. 4.2).

Эмпирические выражения, описывающие изменение температуры нагрева крови убойных животных в зависимости от продолжительности воздействия при разных удельных мощностях СВЧ генератора следующие:

$$T = -4{,}43\tau^2 + 24{,}64\tau + 15{,}4 \text{ при } 1{,}0 \text{ Вт/г};$$

$$T = -5{,}91\tau^2 + 32{,}86\tau + 16{,}19 \text{ при } 2{,}3 \text{ Вт/г};$$

$$T = -6{,}81\tau^2 + 38{,}93\tau + 17{,}17 \text{ при } 3{,}5 \text{ Вт/г} \qquad (4.2)$$

Исследована динамика нагрева кишечного сырья убойных животных в ЭМПСВЧ (рис. 4.3). Эмпирические выражения, описывающие динамику нагрева кишечного сырья при удельных мощностях 1,6 Вт/г; 2,67 Вт/г; 4 Вт/г, соответственно: $T = 7{,}16 \cdot \tau^{0{,}54}$; $T = = 8{,}051 \cdot \tau^{0{,}45}$; $T = 10{,}96 \cdot \tau^{0{,}28}$. (4.3)

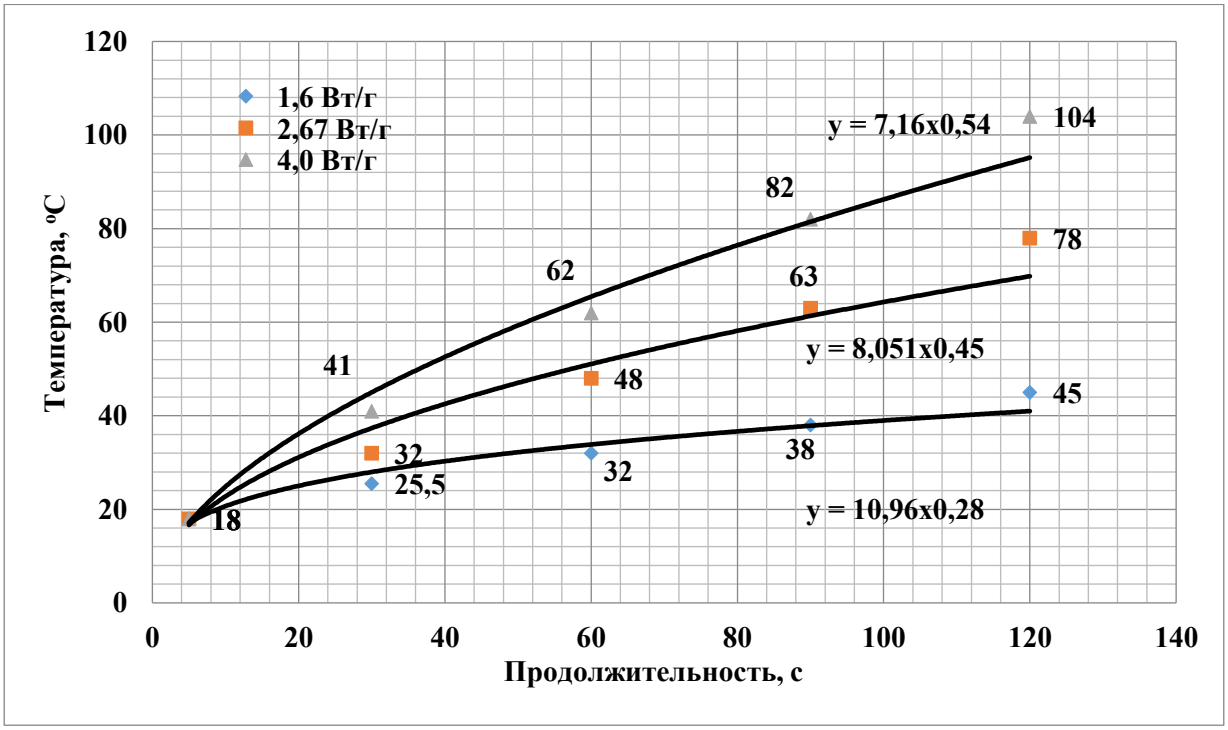


Рисунок 4.3 – Динамика нагрева кишечного сырья убойных животных в ЭМПСВЧ при разных удельных мощностях: 1,6 Вт/г; 2,67 Вт/г; 4 Вт/г

Из анализа графиков динамики нагрева следует, что при удельной мощности 4 Вт/г можно нагреть кишечное сырье до температуры 104°С за продолжи-

тельность воздействия ЭМПСВЧ 120 с. Применение низкой удельной мощности СВЧ генератора обеспечивает большую равномерность теплового воздействия в течение всего процесса. Ниже проанализирована динамика нагрева измельченных мясных отходов (рис. 4.4), птичьих потрохов (рис. 4.5), отходов свиного сала (рис. 4.6).

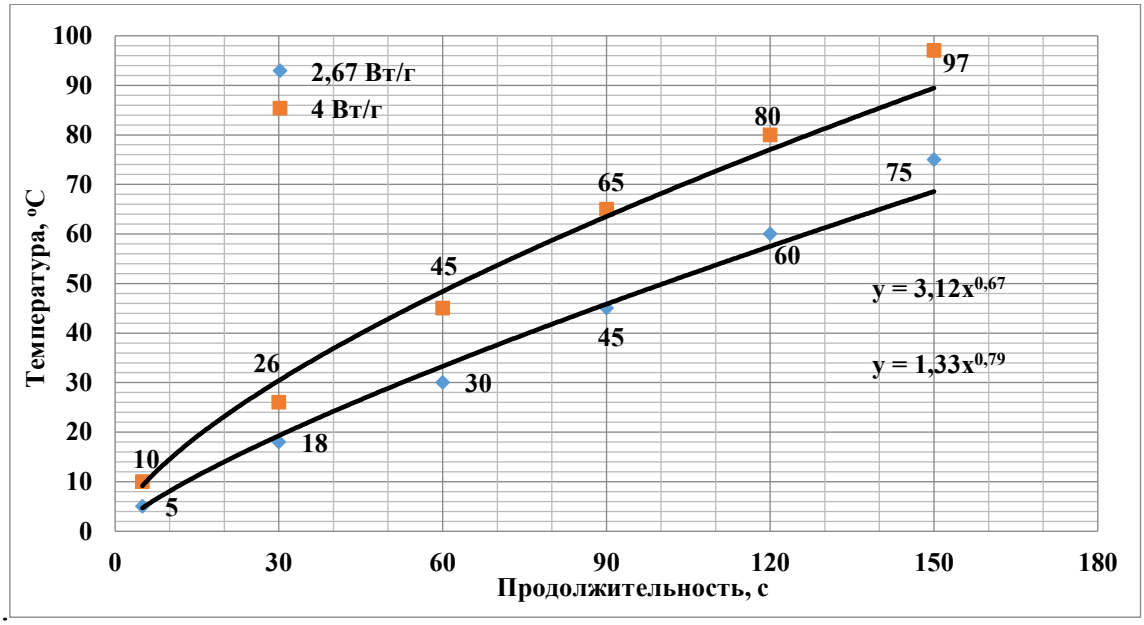


Рисунок 4.4 – Динамика нагрева измельченных разных мясных отходов при удельных мощностях: 2,67 Вт/г; 4 Вт/г

Эмпирические выражения, описывающие динамику нагрева комбинированного вторичного сырья животного происхождения:

$$T = 3{,}12 \cdot \tau^{0{,}67} \text{ (4 Вт/г)}; \; T = 1{,}33 \cdot \tau^{0{,}79} \text{ (2,67 Вт/г)}. \qquad (4.4)$$

Анализ динамики эндогенного нагрева измельченных непищевых отходов из разного сырья показывает, что птичьи потроха (печень, сердце) нагреваются при удельной мощности 2,4-3 Вт/г в пределах 100°С за 2,5 мин, а отходы из свиного сала – за 2,0 мин.

В среднем можно принять, что измельченные непищевые отходы, при удельной мощности генератора 2,4-3 Вт/г нагреваются до 100°С за 2-2,5 мин. Если в комбинированном резонаторе СВЧ установке с тремя магнетронами одновременно будет находиться 800-1000 г сырья (2,4-3 Вт/г), то ожидаемая производительность составит 30 кг/ч.

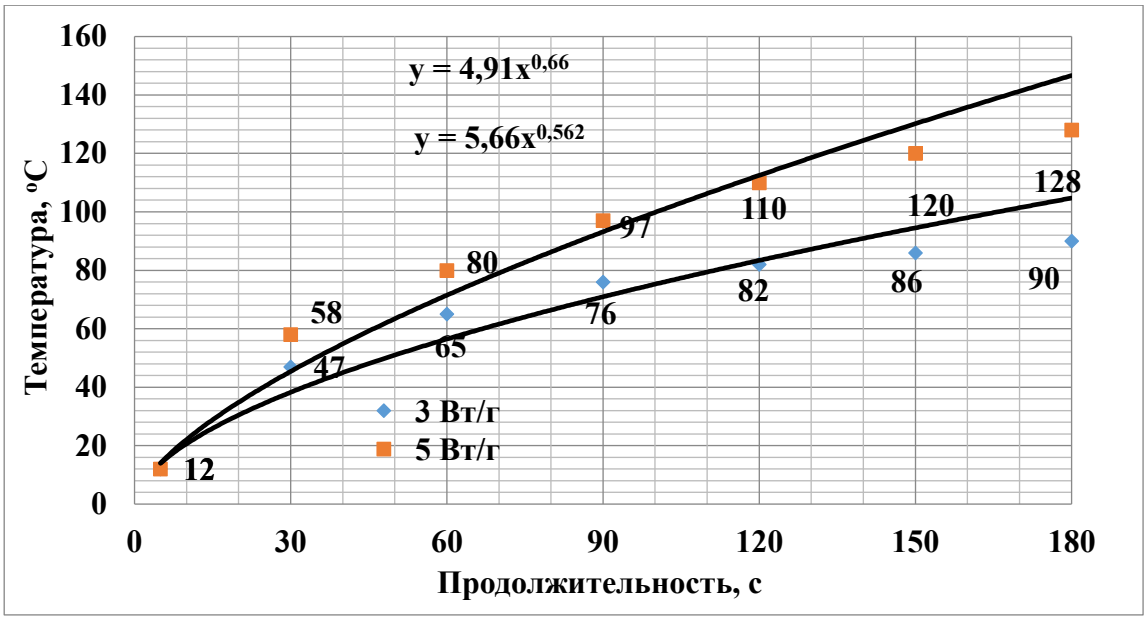


Рисунок 4.5 – Динамика нагрева фарша из птичьих потрохов при разных удельных мощностях СВЧ излучения: 5 Вт/г, 3 Вт/г

Эмпирические выражения, описывающие динамику нагрева фарша из птичьих потрохов: $T = 4{,}91\ \tau^{0{,}66}$ (при 5 Вт/г); $T = 5{,}66\ \tau^{0{,}56}$ (при 3 Вт/г) (4.5)

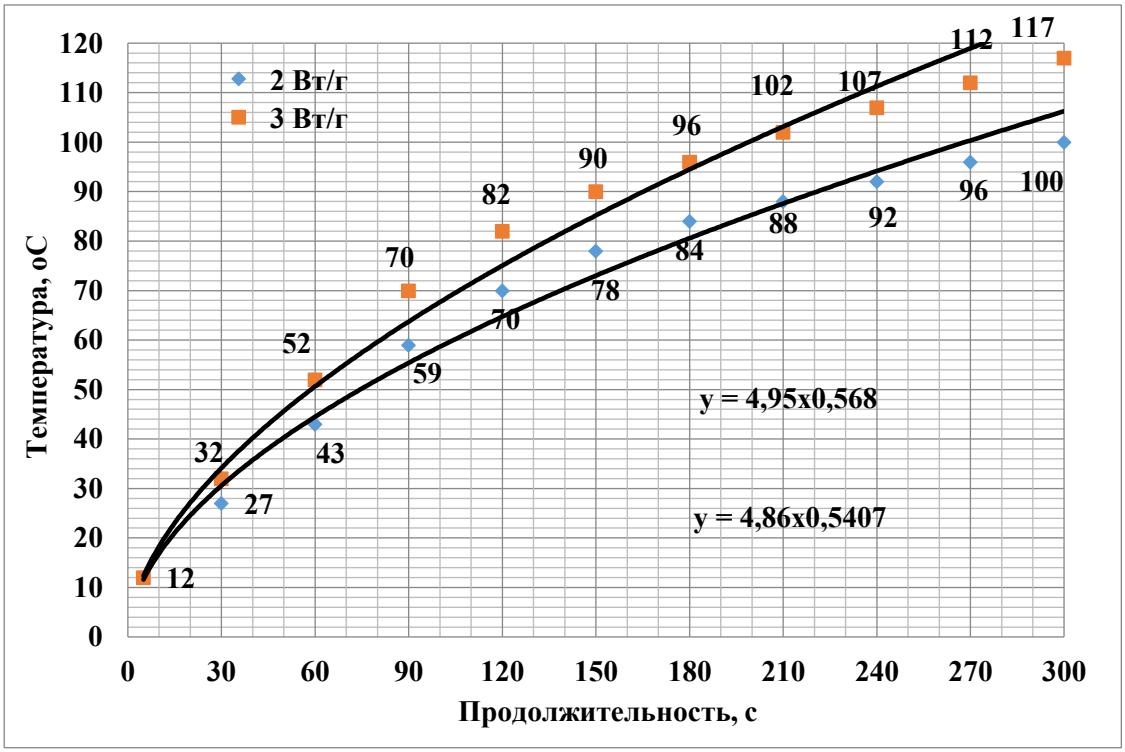


Рисунок 4.6 − Динамика нагрева измельченных отходов свиного сала при удельных мощностях: 3 Вт/г; 2 Вт/г

Эмпирические выражения, описывающие динамику нагрева отходов свиного сала: $T = 4{,}95 \cdot \underline{\tau}^{0{,}57}$; $T = 4{,}86 \cdot \underline{\tau}^{0{,}54}$ (4.6)

4.2 Регрессионные модели и эффективные режимы термообработки непищевых отходов убоя животных в СВЧ установках

4.2.1 Эффективные режимы работы многомодульной центробежной СВЧ установки для термообработки сырья и отделения жидкой фракции

На основе критериальных уравнений получены регрессионные зависимости, позволяющие оценить влияние технологических параметров, электрофизических и физико-механических свойств непищевого сырья на продолжительность термообработки и обеззараживание белкового корма и определить рациональные режимы работы многомодульной центробежной сверхвысокочастотной установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения и отделения жидкой фракции.

Для этого воспользовались матрицей планирования 3-х факторного активного эксперимента типа 2^3. В качестве основных факторов, влияющих на процесс термообработки непищевого сырья животного происхождения были выбраны: удельная мощность СВЧ генератора $P_{уд}$, Вт/г (x_1); продолжительность воздействия ЭМПСВЧ в резонаторе τ, с (x_2); количество СВЧ генераторов (x_3). Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими условиями и конструкционными параметрами СВЧ установки.

Критериями оптимизации режимных параметров установки являются:
Y_1 – приращение температуры (ΔT, °С);
Y_2 – производительность СВЧ установки (Q, кг/ч);
Y_3 – доза воздействия ЭМПСВЧ (D, Вт·с/г);
Y_4 – энергетические затраты на технологический процесс, (W, кВт·ч/кг);
Y_5 – микробиологическая обсемененность продукта, (*ОМЧ*, КОЕ/г).

Пользуясь программой «Statistic V5.0», построены поверхности отклика и их двумерные сечения в изолиниях (рис. 4.10-4.14). Из анализа уравнений выявлены такие режимы работы установки, которые обеспечивают минимум удельных энергетических затрат на производство белкового корма из непищевых отходов животного происхождения и максимум снижения микробиологической обсемененности продукта.

В качестве *варьируемых факторов*, влияющих на процесс термообработки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения, выбраны:

– удельная мощность генератора $P_{уд}$, *Вт/г* (x_1);
– продолжительность обработки непищевых отходов в ЭМПСВЧ в одном резонаторе *τ, ч* (x_2);
– количество СВЧ генераторов *n*, *шт.* (x_3).

Установка разработана на базе соковыжималки «Нептун», ее технические характеристики: потребляемая мощность 320 Вт, частота вращения электродвигателя 1380 об/мин., производительность 120 кг/ч для обработки яблок.

Технические характеристики проектной многомодульной СВЧ установки: потребляемая мощность одного модуля, состоящего из мощности СВЧ генератора (1,2 кВт) и мощности электродвигателя дисковой терки (0,32 кВт), составляет 1,52 кВт.

Варьируемые факторы были совместимы и не коррелированы между собой, а пределы их изменения принимались равными:

(x_1) $2 \le P_{уд} \le 8$ Вт/г; (x_2) $30 \le \tau \le 180$ с; (x_3) $2 \le n \le 6$ шт.

Таблица 4.1 – Уровни варьируемых факторов

Факторы	Кодовое значение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			Основной уровень	Верхний уровень	Нижний уровень
Удельная мощность генератора, Вт/г	x_1	3	5	8	2
Продолжительность обработки, ч мин	x_2	0,016	0,025 1,5	0,041 2,5	0,008 0,5
Количество генераторов, шт.	x_3	2	4	6	2

Регрессионные модели технологического процесса термообработки непищевого сырья в кодированных единицах приведены ниже. Уравнения регрессии адекватно описывают процесс термообработки непищевых отходов убоя и переработки птиц под влиянием исследуемых факторов.

Таблица 4.2 – Матрица активного планирования эксперимента типа 2^3 по оптимизации режимов термообработки сырья в СВЧ установке

№	Варьируемые параметры									
	Масса загрузки в резонатор, кг	*Удельная мощность генератора, Вт/г*		*Продолжительность обработки, мин/ч*		*Количество СВЧ генераторов, шт.* (потребляемая мощность, кВт)				
	G	X1	$P_{уд}$	*X2*	τ	*X3*	*n*	$P_{ген}$	$P_{приво-да}$	$P_{общ}$
1	0,1	+	8	+	2,5/0,041	+	6	7,2	1,92	9,12
2	0,1	+	8	-	0,5/0,008	-	2	2,4	0,64	3,04
3	0,4	-	2	+	2,5/0,041	-	2	2,4	0,64	3,04
4	0,4	-	2	-	0,5/0,008	+	6	7,2	1,92	9,12
5	0,16	0	5	0	1,5/0,025	0	4	4,8	1,28	6,08
6	0,4	-	2	0	1,5/0,025	0	4	4,8	1,28	6,08
7	0,1	+	8	0	1,5/0,025	0	4	4,8	1,28	6,08
8	0,16	0	5	-	0,5/0,008	0	4	4,8	1,28	6,08
9	0,16	0	5	+	2,5/0,041	0	4	4,8	1,28	6,08
10	0,16	0	5	0	1,5/0,025	-	2	2,4	0,64	3,04
11	0,16	0	5	0	1,5/0,025	+	6	7,2	1,92	9,12

№	Критерии оптимизации					
	Температура, °С (*T*)	Производительность установки, кг/ч (*Q*)		Доза воздействия ЭМПСВЧ, Вт·с/г (*D*)	Бактериальная обсемененность, КОЕ/г·10^3, (ОМЧ) (исход. ОМЧ 2 млн. КОЕ/г)	Энергетические затраты, кВт·ч/кг *(W)*
	Y1	с одним резонатором	*Y2*	*Y3*	*Y4*	*Y5*
1	140	2,439	14,64	1200	100	0,623
2	60	12,5	25	240	1500	0,122
3	62	9,756	19,51	300	1450	0,156
4	34	50	300	60	1950	0,00336
5	78	6,4	25,6	450	550	0,039
6	60	16	64	180	1500	0,095
7	90	4	16	720	350	0,38
8	52	20	80	150	1750	0,076
9	88	3,9	15,6	750	350	0,39
10	78	6,4	12,8	450	550	0,238
11	78	6,4	38,4	450	550	0,238

Примечание. Мощность установки без учета мощности измельчающего механизма. В уравнении регрессии все факторы в именованных единицах, продолжительность воздействия в минутах.

Ниже приведены двумерные сечения в изолиниях и поверхности откликов трехфакторных моделей температуры нагрева сырья, производительности многомодульной установки, дозы воздействия ЭМПСВЧ изменения бактериальной обсемененности и энергетических затрат на технологический процесс с четырьмя модулями (четыре генератора), (рис. 4.7-4.11).

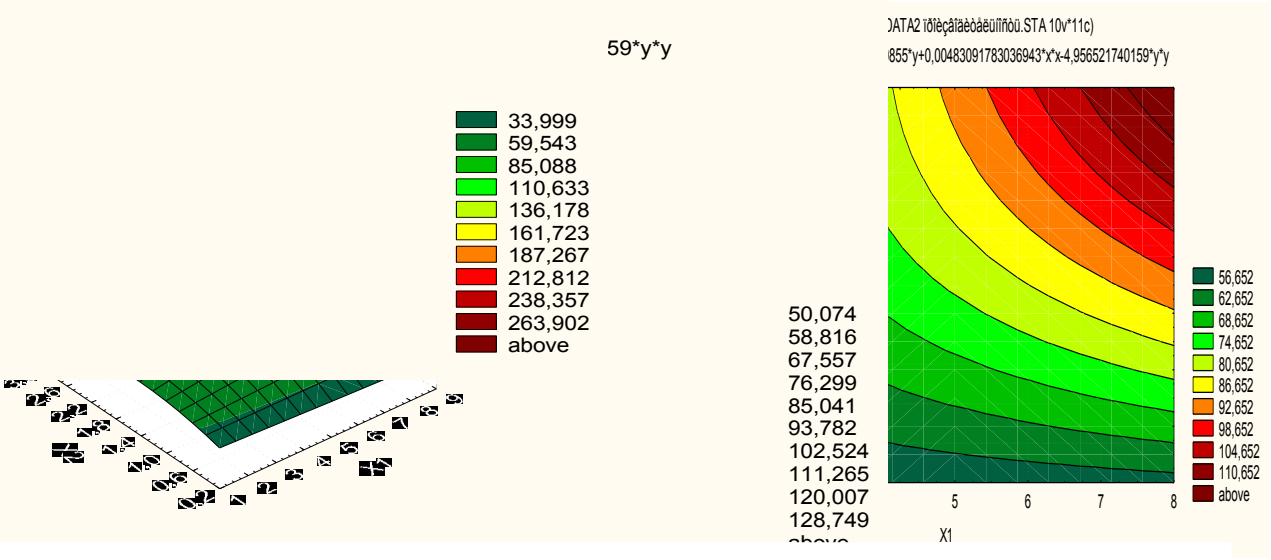


Рисунок 4.7 – Поверхность отклика и двумерное сечение в изолиниях и трехфакторной модели *температуры* непищевых отходов

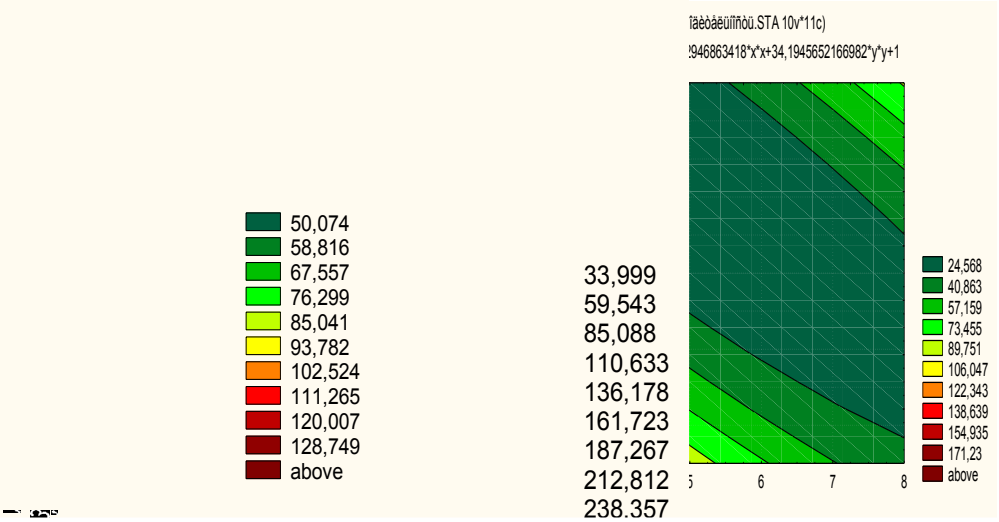
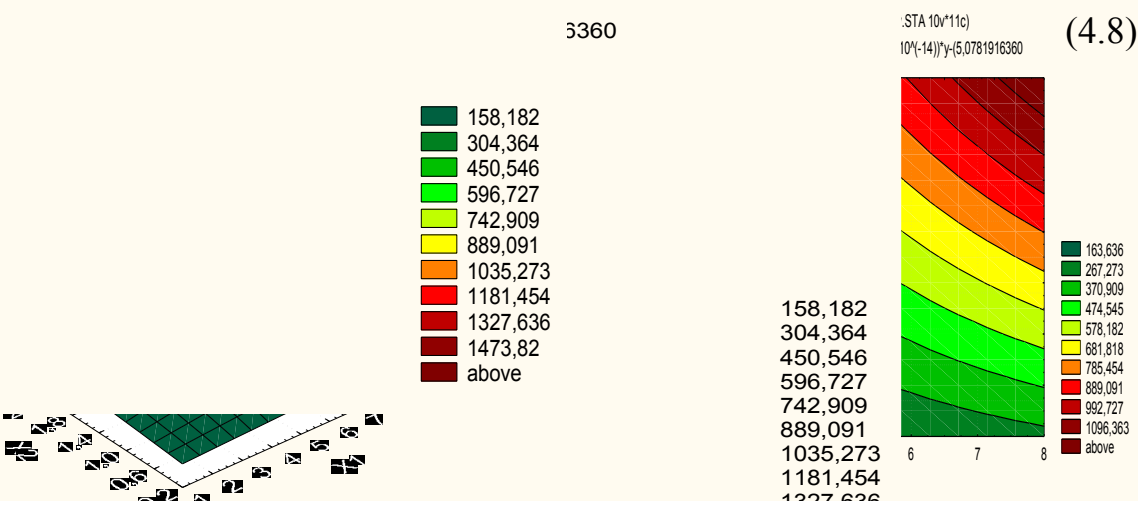


Рисунок 4.8 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели *производительности установки (кг/ч)* непищевых отходов



(4.8)

Рисунок 4.9 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели *дозы воздействия* ЭМПСВЧ (Вт·с/г) непищевых отходов

$$D = 6{,}05\cdot10^{-14}+4{,}52\cdot10^{-14}\cdot x_1-7{,}43\cdot10^{-14}\cdot x_2-5{,}08\cdot10^{-15}\cdot x_1^2+5{,}25\cdot10^{-14}\cdot x_2^2+60\cdot x_1\cdot x_2 \quad (4.9)$$

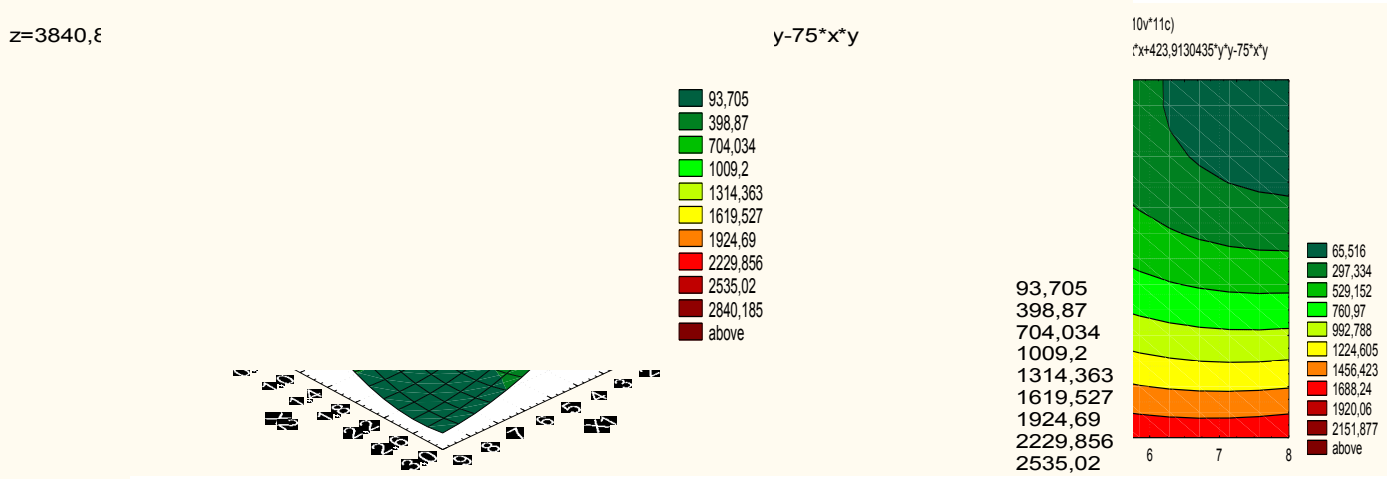


Рисунок 4.10 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трех-факторной модели изменения *бактериальной обсемененности* (КОЕ/г·10^3) непищевых отходов

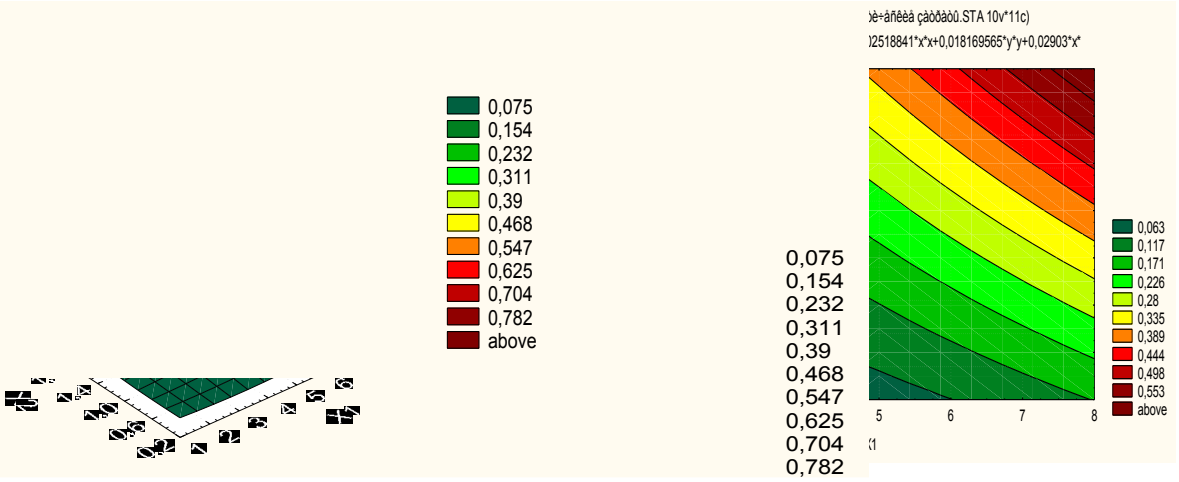


Рисунок 4.11 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трех-факторной модели *энергетических затрат (кВт·ч/кг)* непищевых отходов

$$Э = 0{,}0282-0{,}02123\cdot x_1-0{,}0427\cdot x_2+0{,}00252\cdot x_1^2+0{,}0182\cdot x_2^2+0{,}029\cdot x\cdot y \qquad (4.11)$$

Рациональные режимы термообработки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения сведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Рациональные режимы термообработки и обеззараживания сырья в многомодульной установке с четырьмя генераторами

Наименование	Параметры
Масса загрузки в один резонатор, кг	0,16
Удельная мощность, Вт/г	3-5
Продолжительность воздействия, мин	1,5-3
Количество генераторов в установке, шт.	4
Производительность, кг/ч	30
Энергетические затраты, кВт·ч/ кг	0,18-0,2

Ниже определены эффективные режимы термообработки и обеззараживания сырья в СВЧ установке непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором

4.2.2 Эффективные режимы работы СВЧ установки с комбинированным резонатором для термообработки и обеззараживания вторичного сырья

Проведены испытания изготовленной СВЧ установки, обеспечивающей предварительное измельчение и обезвоживание, а далее термообработку и обеззараживание твердой фракции в комбинированном резонаторе. Для начала пропускную способность шарового крана оценили через сыпучий материал. Продолжительность просыпания сыпучего материала, массой 1600 г. через шаровой кран, диаметром 40 мм, составляет 38 с. (рис. 4.12).

Тогда максимальная пропускная способность шарового крана равна 150 кг/ч. Пропускная способность шарового крана для вязкого сырья составляет 40-70 кг/ч. Производительность центрифуги для измельченных непищевых отходов убоя животных составляет 50 кг/ч, при этом твердая фракция в сырье 40-50%.

Рисунок 4.12 – СВЧ установки с комбинированным резонатором

В комбинированном резонаторе сырье должно вариться с производительностью 25-40 кг/ч. Установку проектируем с тремя генераторами, мощностью 3,4 кВт. Единовременная загрузка сырья в резонатор равна 1,2 кг и удельная мощность СВЧ генератора составляет 1,8-2 Вт/г., а скорость нагрева 0,5 ^{o}C/с.

Для составления матрицы планирования проведены экспериментальные исследования технологического процесса. Зависимость приращения температуры непищевого сырья от дозы воздействия ЭМПСВЧ приведена на рис. 4.13. Эмпирическое выражение этой зависимости: $\Delta T = 1{,}1 \cdot D^{0{,}68}$ (4.12)

где D – доза воздействия Вт·с/г; ΔT – приращение температуры, ^{o}C.

Динамика нагрева измельченных мясных отходов (40-50 % твердой фракции), при разной удельной мощности генератора приведена на рис. 4.14.

Эмпирические выражения описывающие динамику нагрева измельченного и обезвоженного сырья при разных удельных мощностях:

$\Delta T = 28{,}52 \cdot \ln(\tau) - 47{,}52$ (5 Вт/г); $\Delta T = 19{,}40 \cdot \ln(\tau) - 30{,}53$ (3 Вт/г);

$\Delta T = 11{,}87 \cdot \ln(\tau) - 19{,}78$ (1 Вт/г). (4.13)

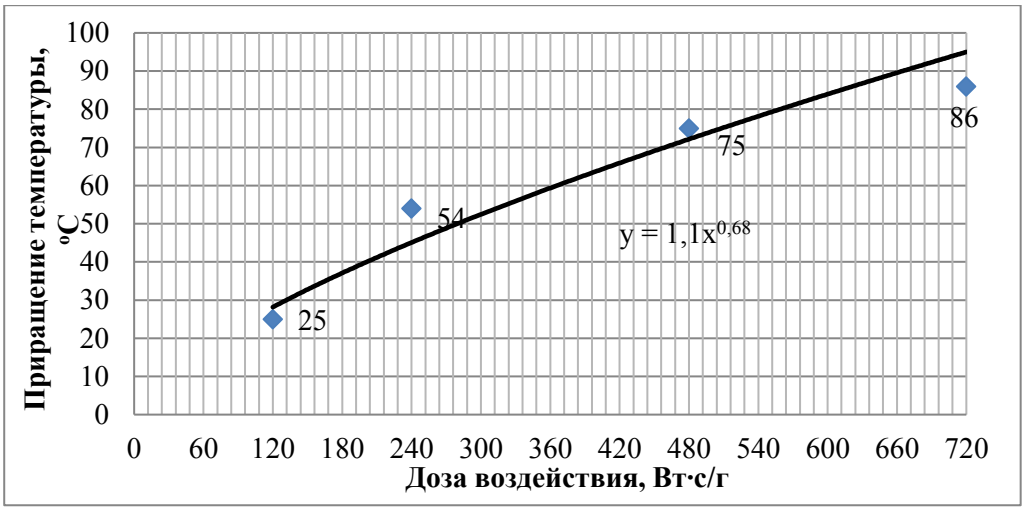


Рисунок 4.13 – Зависимость приращения температуры сырья от дозы воздействия ЭМПСВЧ (измельченные мясные отходы, содержащие 40-50% твердой фракции)

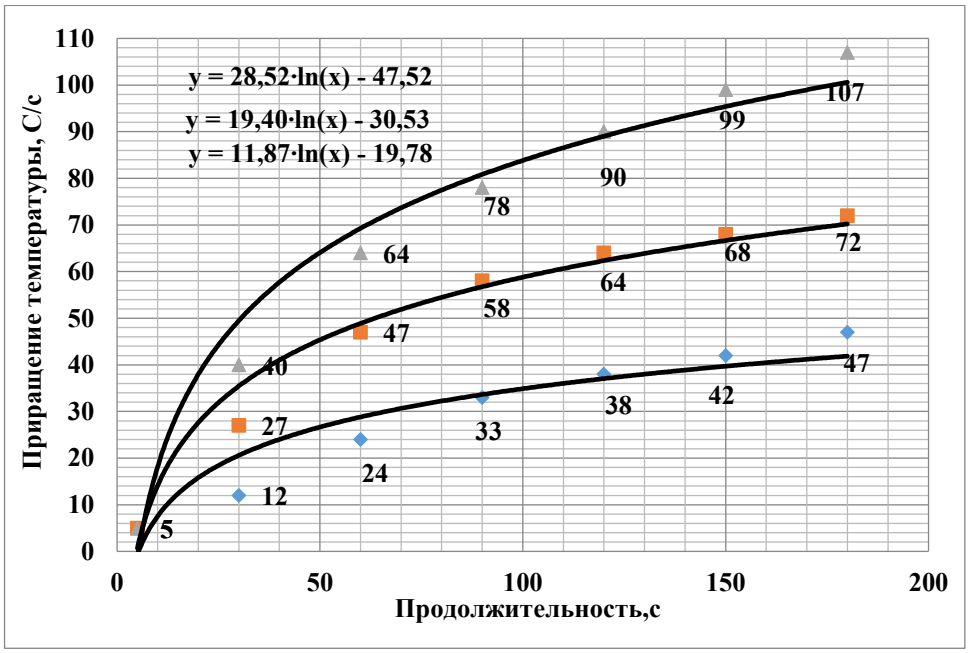


Рисунок 4.14 – Зависимость температуры измельченного сырья от продолжительности воздействия ЭМПСВЧ при разных удельных мощностях: 1 Вт/г; 3 Вт/г; 5 Вт/г

Пользуясь 3-х факторным активным планированием эксперимента типа 2^3 в программе Statistic 7.0 получены регрессионные модели. Анализируя результаты предварительно проведенных исследований, выбраны пределы изменения варьируемых параметров

Критериями оптимизации режимных параметров установки являются: Y_1 – приращение температуры (ΔT, °С);

Y_2 – производительность СВЧ установки (Q, кг/ч);

Y_3 – доза воздействия ЭМПСВЧ (D, Вт·с/г);

Y_4 – энергетические затраты на технологический процесс, (W, кВт·ч/кг);

Y_5 – общее микробное число в продукте, ($ОМЧ$, КОЕ/г).

Таблица 4.4 – Уровни варьируемых факторов

Факторы	Кодовое значение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			Основной уровень	Верхний уровень	Нижний уровень
Удельная мощность генератора, Вт/г	x_1	0,6	1,2	1,8	0,6
Продолжительность обработки, с; мин.	x_2	60 1	120 2	180 3	60 1
Количество генераторов, шт.	x_3	2	3	5	1

Примечание. Мощность установки без учета мощности измельчающего механизма. В уравнении регрессии все факторы в именованных единицах.

В качестве *варьируемых факторов*, влияющих на процесс термообработки и обеззараживания сырья, выбраны: масса загрузки измельченного вторичного мясного сырья в резонатор M, *кг* (x_1); продолжительность воздействия непищевых отходов в ЭМПСВЧ τ, *с* (x_2); количество СВЧ генераторов n, *шт.* (x_3).

Варьируемые факторы были совместимы и не коррелированы между собой, а пределы их изменения принимались равными:

(x_1) $0{,}6 \le M \le 1{,}8$ кг; (x_2) $60 \le \tau \le 180$ с; (x_3) $1 \le n \le 5$ шт.

Таблица 4.5 – Матрица активного планирования эксперимента типа 2^3 по оптимизации режимов термообработки непищевых отходов убоя животных в СВЧ установке

№	Варьируемые параметры								
	Удельная мощность генератора, Вт/г	Масса загрузки в резонатор, кг		*Продолжительность обработки, с*		*Количество СВЧ генераторов, шт.* (потребляемая мощность, кВт)			*Доза воздействия, Вт·с/г*
	$P_{уд}$	X1	G	$X2$	τ	$X3$	n	$P_{ген}$	D
1	2,22	+	1,8	+	180	+	5	4	400
2	0,44	+	1,8	-	60	-	1	0,8	26,4
3	1,33	-	0,6	+	180	-	1	0,8	240
4	6,67	-	0,6	-	60	+	5	4	400
5	2	0	1,2	0	120	0	3	2,4	240
6	4	-	0,6	0	120	0	3	2,4	480
7	1,33	+	1,8	0	120	0	3	2,4	160
8	2	0	1,2	-	60	0	3	2,4	120
9	2	0	1,2	+	180	0	3	2,4	360
10	0,67	0	1,2	0	120	-	1	0,8	80,4
11	3,33	0	1,2	0	120	+	5	4	400

Критерии оптимизации					
№	Приращение температуры, °С (*T*), T_o=18 °С	Производитель-ность установки, кг/ч (*Q*)		Энергетические затраты, кВт·ч/кг *(W)*	Бактериальная обсемененность, КОЕ/г·10^3, (ОМЧ) (исход. ОМЧ 2 млн. КОЕ/г)
	Y1	*Y2*	г/с	*Y3*	*Y4*
1	70	36	10	0,111	0,38
2	8	108	30	0,0073	1,1
3	54	12	3,3	0,067	0,5
4	70	36	10	0,111	0,4
5	**54**	**36**	**10**	**0,067**	**0,5**
6	75	18	5	0,133	0,35
7	35	54	15	0,0444	0,7
8	25	72	20	0,0333	0,85
9	**67**	**24**	**80**	**0,1**	**0,4**
10	15	36	10	0,0223	0,98
11	70	36	10	0,111	0,0,38

Регрессионные модели технологического процесса термообработки непищевого сырья в кодированных единицах полученные в программе Statistic 12.0 приведены ниже.

$$D = 366{,}61\text{-}556{,}64\cdot x_1\text{+}4{,}43\cdot x_2\text{+}157{,}49\cdot x_1^2\text{-}0{,}0065\cdot x_2^2\text{-}0{,}73. \qquad (4.12)$$

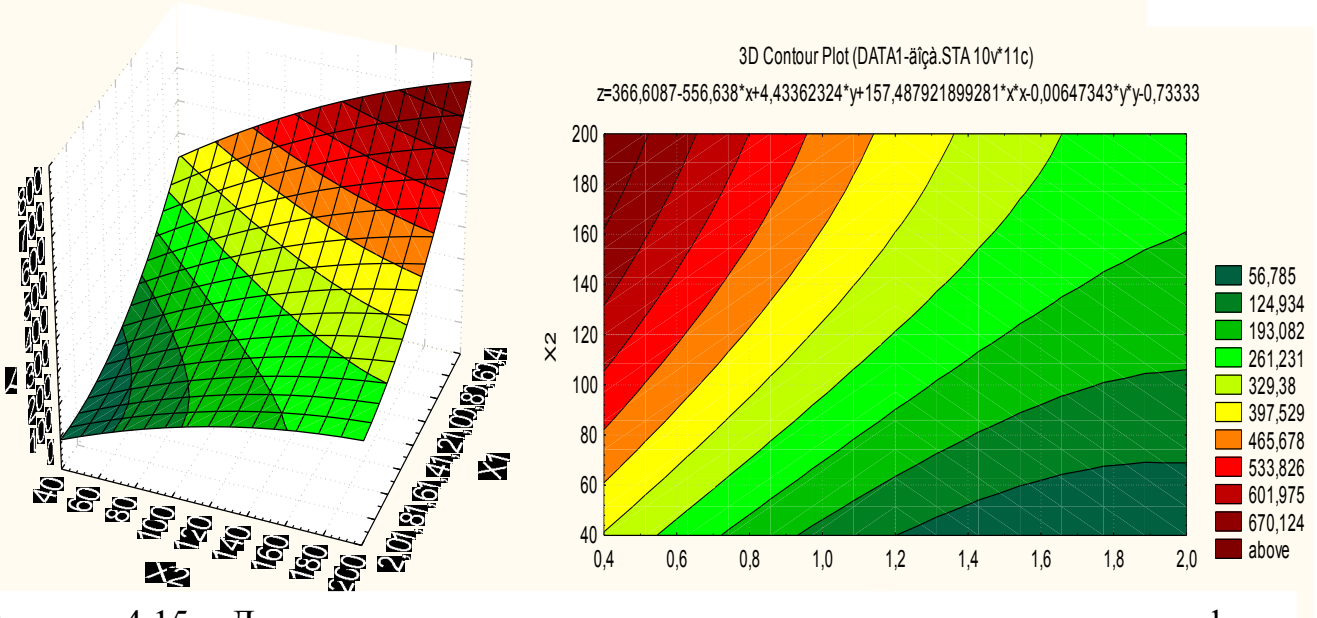


Рисунок 4.15 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели ***дозы воздействия*** *(Вт·с/г)* ЭМПСВЧ на непищевые отходы при 3 СВЧ генераторах

$$\Delta T = 38{,}96\text{-}56{,}816\cdot x_1\text{+}0{,}72\cdot x_2\text{+}20{,}89\cdot x_1^2\text{-}0{,}00041\cdot x_2^2\text{-}0{,}22. \qquad (4.13)$$

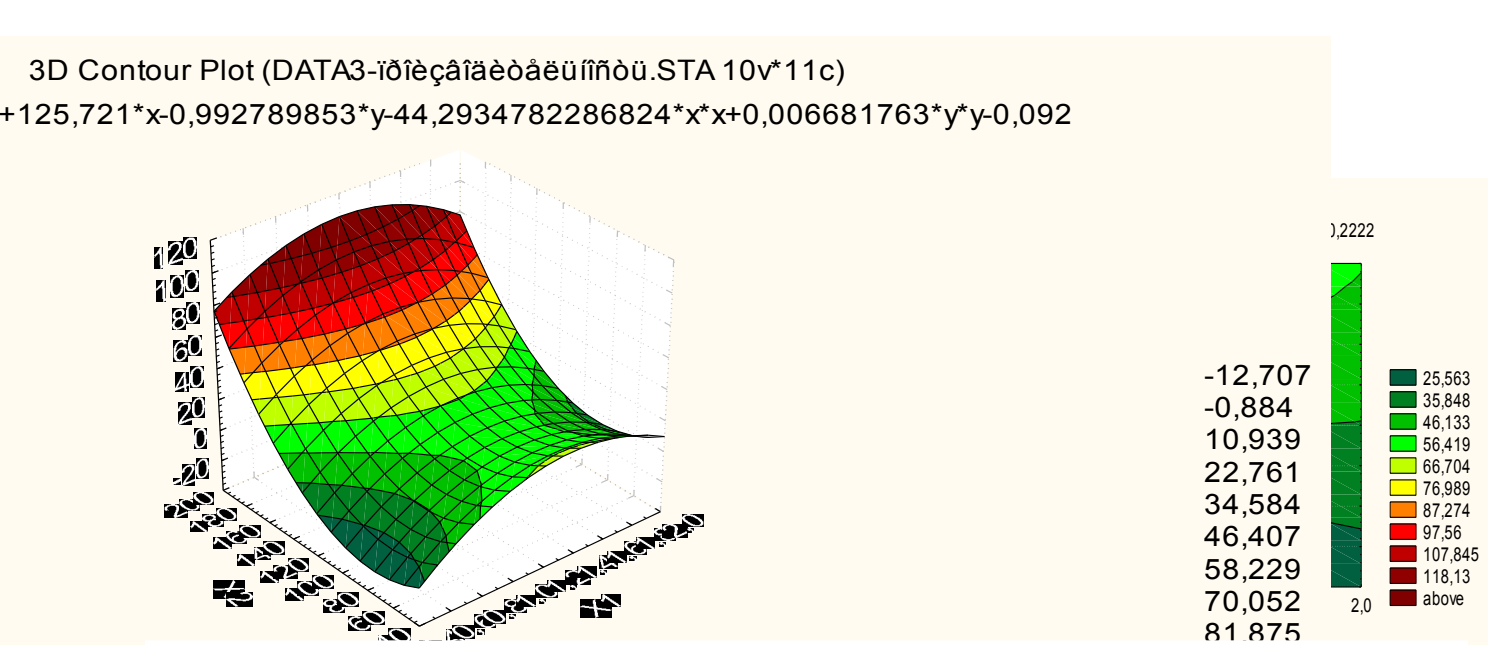


Рисунок 4.16 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трех-факторной модели ***приращение температуры*** сырья при 3 СВЧ генераторах

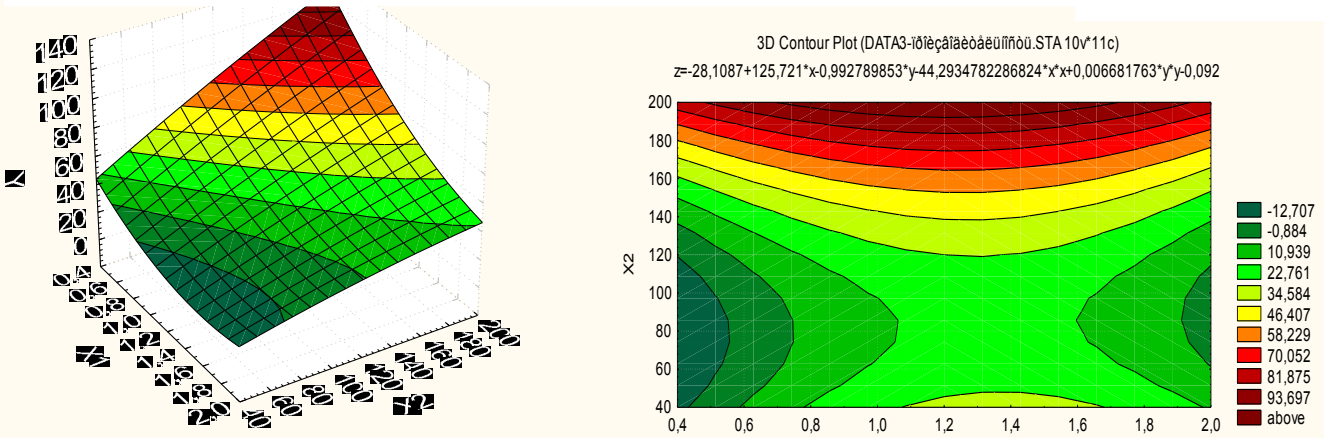


Рисунок 4.17 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трех-факторной модели ***производительности установки*** при 3 СВЧ генераторах

$$Q = -28{,}11 + 125{,}72 \cdot x_1 - 0{,}99 \cdot x_2 - 44{,}3 \cdot x_1^2 + 0{,}0067 \cdot x_2^2 - 0{,}092 \qquad (4.14)$$

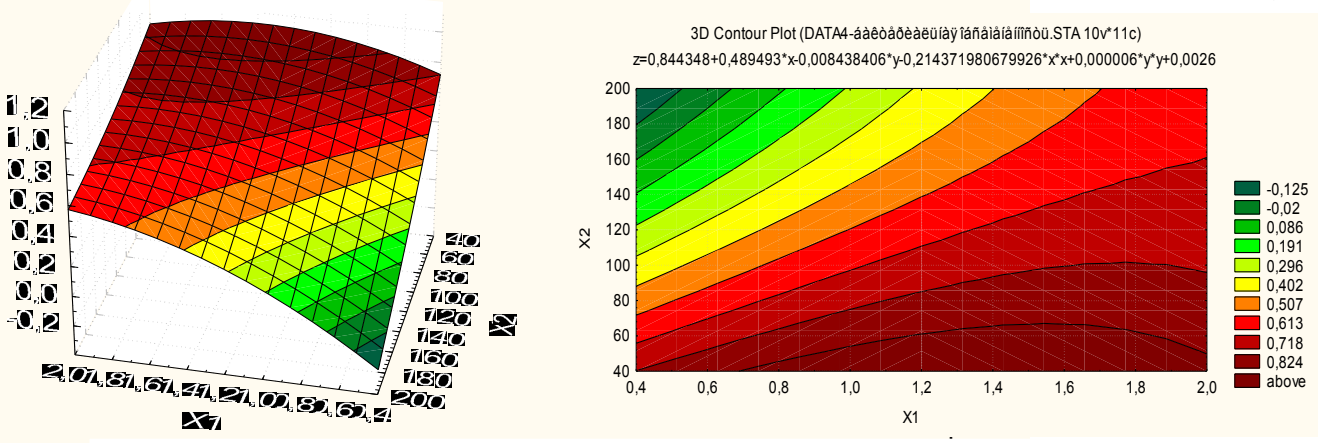


Рисунок 4.18 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели ***изменения ОМЧ*** (млн.) при 3 СВЧ генераторах

$$\text{ОМЧ} = 0{,}84 + 0{,}49 \cdot x_1 - 0{,}008 \cdot x_2 - 0{,}214 \cdot x_1^2 + 0{,}000006 \cdot x_2^2 + 0{,}0026\ . \qquad (4.15)$$

Получены в программах Statistic 12.0 *регрессионные зависимости*, позволяющие оценить влияние технологических параметров на производительность установки, удельные энергетические затраты и микробиологические показатели продукта при других граничных условиях (рис. 4.19).

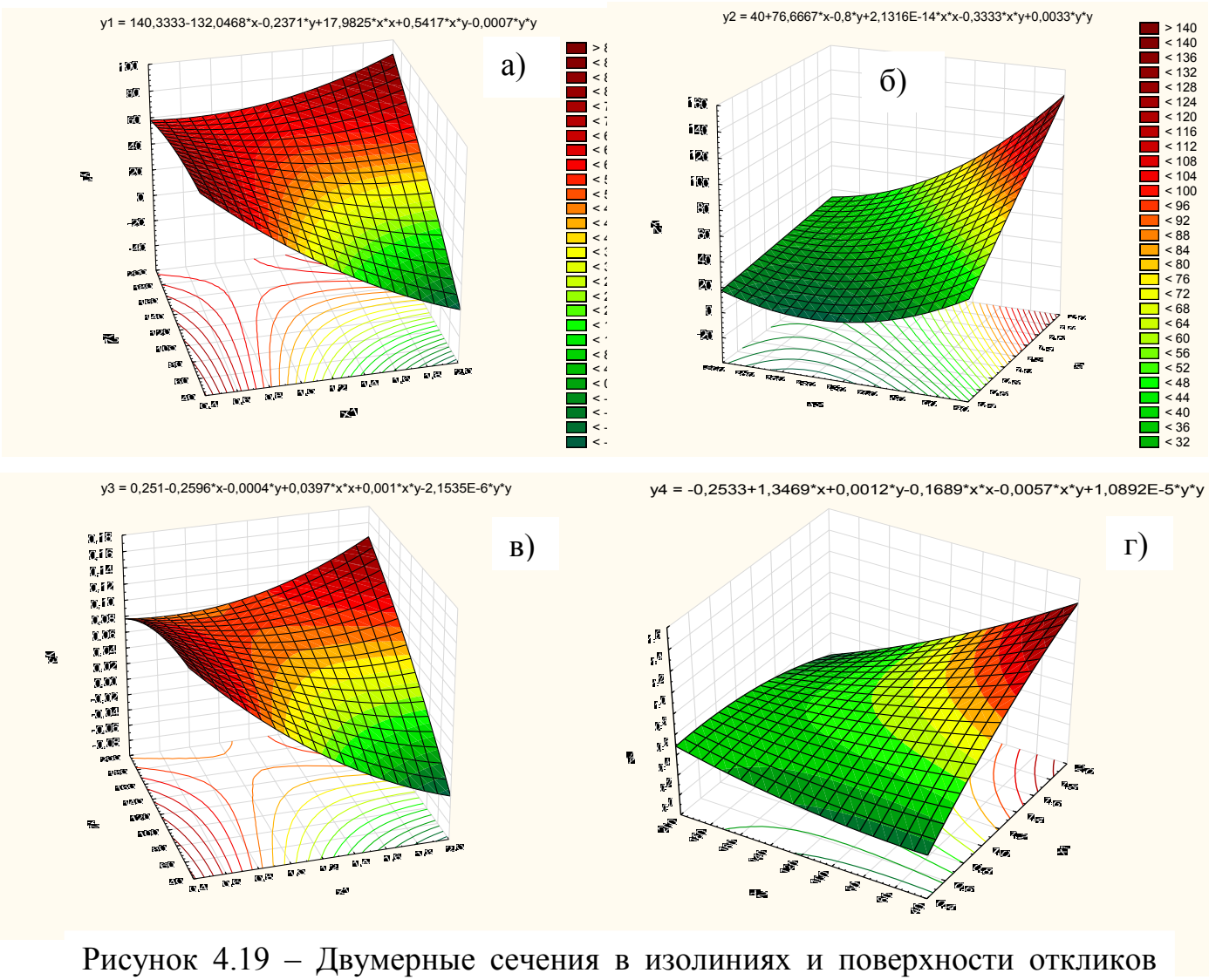


Рисунок 4.19 – Двумерные сечения в изолиниях и поверхности откликов трехфакторных моделей при трех СВЧ генераторах: а) температура, ^{o}C; б) производительность, кг/ч; в) удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг; г) бактериальная обсемененность, КОЕ/г·10^3

В качестве варьируемых факторов, влияющих на процесс термообработки и обеззараживания сырья, выбраны: масса загрузки предварительно измельченного сырья в резонатор *M*, *кг* (x_1); продолжительность воздействия ЭМПСВЧ на сырье *τ, с* (x_2); количество СВЧ генераторов *n*, *шт.* (x_3).

Пределы изменения варьируемых факторов принимались равными:

(x_1) – $0{,}6 \le M \le 1{,}8$ кг; (x_2) – $60 \le \tau \le 180$ с; (x_3) – $1 \le n \le 5$ шт.

Критериями оптимизации режимных параметров установки являются*:*

Y_1 – температура (T, °С); Y_2 – производительность СВЧ установки (Q, кг/ч);

Y_3 – удельные энергетические затраты на технологический процесс (W, кВт·ч/кг);

Y_4 – общее микробное число в продукте (*ОМЧ*, КОЕ/г).

Регрессионные модели процесса термообработки сырья при $x_3 = 0$:

$$T = 140{,}33-132{,}1\cdot x_1-0{,}237\cdot x_2+17{,}98\cdot x_1^2+0{,}542\cdot x_1\cdot x_2-0{,}0007\cdot x_2^2;$$

$$Q = 40+76{,}67\cdot x_1-0{,}8\cdot x_2-14\cdot x_1^2-0{,}33\cdot x_1\cdot x_2+0{,}0033\cdot x_2^2;$$

$$W = 0{,}251-0{,}26\cdot x_1-0{,}00044\cdot x_2+0{,}0397\cdot x_1^2+0{,}001\cdot x_1\cdot x_2;$$

$$ОМЧ = -(0{,}25+1{,}35\cdot x_1+0{,}0012\cdot x_2-0{,}17\cdot x_1^2+0{,}0058\cdot x_1\cdot x_2)\cdot 10^3. \qquad (4.16)$$

Из анализа уравнений выявлены такие режимы работы установки, которые обеспечивают минимум удельных энергетических затрат на производство белкового корма из непищевых отходов животного происхождения и снижение микробиологической обсемененности продукта до ПДУ (ниже 500 тыс. КОЕ/г). При соблюдении рациональных режимов (масса единовременной загрузки измельченного и обезвоженного сырья в резонатор – 1,2 кг; продолжительность воздействия – 120-150 с; количество СВЧ генераторов – 3 шт.) общее микробное число в продукте снижается с 1,3 млн. до 0,5 млн. КОЕ/г, при температуре нагрева 75-105°С. При этом производительность установки составляет 30-40 кг/ч, удельные энергетические затраты – 0,15-0,2 кВт·ч/кг.

4.3 Оценка качества продукта

4.3.1 Оценка микробиологических и органолептических показателей непищевых отходов убоя животных после воздействия ЭМПСВЧ

В соответствии с ГОСТ 18157-88, Группа Н00, Межгосударственный стандарт продукты убоя скота и ТР ТС 024/2011 «Технический регламент на масложировую продукцию» проведены исследования кормовой ценности белкового продукта. Важнейшими характеристиками пищевых продуктов является их безопасность и микробиологическая стойкость. Для оценки качества сырья пользуются количественными и качественными микробиологическими показателями. Количественные показатели указывают общее число тех или иных микроорганизмов в 1 г или 1 см^3 продукта. Качественные показатели указывают на от-

сутствие (на присутствие) микробов конкретных видов. Загрязнение сырья микроорганизмами происходит в процессе их переработки. Источниками микроорганизмов могут быть оборудование, воздух, вода и т.д. Микроорганизмы вызывают ухудшение качества и снижение стойкости сырья при хранении. Общее количество микроорганизмов, обнаруженных в единице массы сырья, характеризуют показателем КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов). Это наиболее распространенный микробиологический тест для контроля качества продукции. Превышение допустимых норм КМАФАнМ в белковом продукте свидетельствует о недостаточной дозе воздействия ЭМПСВЧ и напряженности электрического поля и характеризует его безопасность для птиц.

В ГБУ НО «Государственное ветеринарное управление Княгининского района» Нижегородской области проведены исследования физико-химических микробиологических и органолептических показателей вареного корма в соответствии с гигиеническими требованиями безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01. Сырьем для производства вареного корма служила смесь из измельчённых отходов переработки птицы. Измельченное сырье с начальной влажностью 65 % обезвоживали до 35 % с помощью центрифуги. Проводили в процессе перемешивания термообработку до температуры 100-105 ^{o}С в сверхвысокочастотной установке с комбинированным резонатором, где напряженность электрического поля составляла 1,5 кВ/см. Вареная при удельных энергетических затратах 0,15 кВт·ч/кг кормовая масса имела влажность 25%.

Проведены исследования изменения бактериальной обсемененности (КМАФАнМ) сырья с 1,3 млн. до 0,5 млн. КОЕ/г.

По органолептическим показателям продукт оценен на 14-15 баллов из 15 возможных, что соответствует требованиям нормативно-технической документации обработанного корма животного происхождения.

Варка в ЭМПСВЧ вторичного сырья животного происхождения оказывает минимальное воздействие на качество белка, что увеличивает переваримость

протеина. При этом аминокислоты не разрушаются, крахмал желатинизируется, что увеличивает степень его усвояемости. Жиры равномерно распределяются по объему продукта, перевариваемость пищевых волокон возрастает. Высокая напряженность ЭП в резонаторе обеспечивает снижение патогенной микрофлоры, что увеличивает срок годности продукта. Происходит повышение кормовой ценности на 15-20% по сравнению с базовым образцом продукта, вареного в автоклаве. Продукт соответствует ГОСТ 29299-92 Мясо и мясные продукты.

Исследована бактериальная обсемененность непищевых отходов убоя птиц в зависимости от температуры нагрева в ЭМПСВЧ при разной исходной обсемененности сырья: 2 млн. КОЕ/г; 1 млн. КОЕ/г (рис. 4.20). Получены эмпирические выражения, описывающие изменение общего микробного числа (ОМЧ) в продукте от температуры эндогенного нагрева сырья:

$$ОМЧ = 3\cdot10^{5}\cdot T^{6}+0{,}001\cdot T^{5}-0{,}0013\cdot T^{4}+0{,}074\cdot T^{3}-0{,}193\cdot T^{2}+0{,}225\cdot T+1{,}91,$$

$$ОМЧ = 4\cdot10^{5}\cdot T^{5}+0{,}0015\cdot T^{4}-0{,}02\cdot T^{3}+0{,}1\cdot T^{2}-0{,}21\cdot T+1{,}13 \qquad (4.17)$$

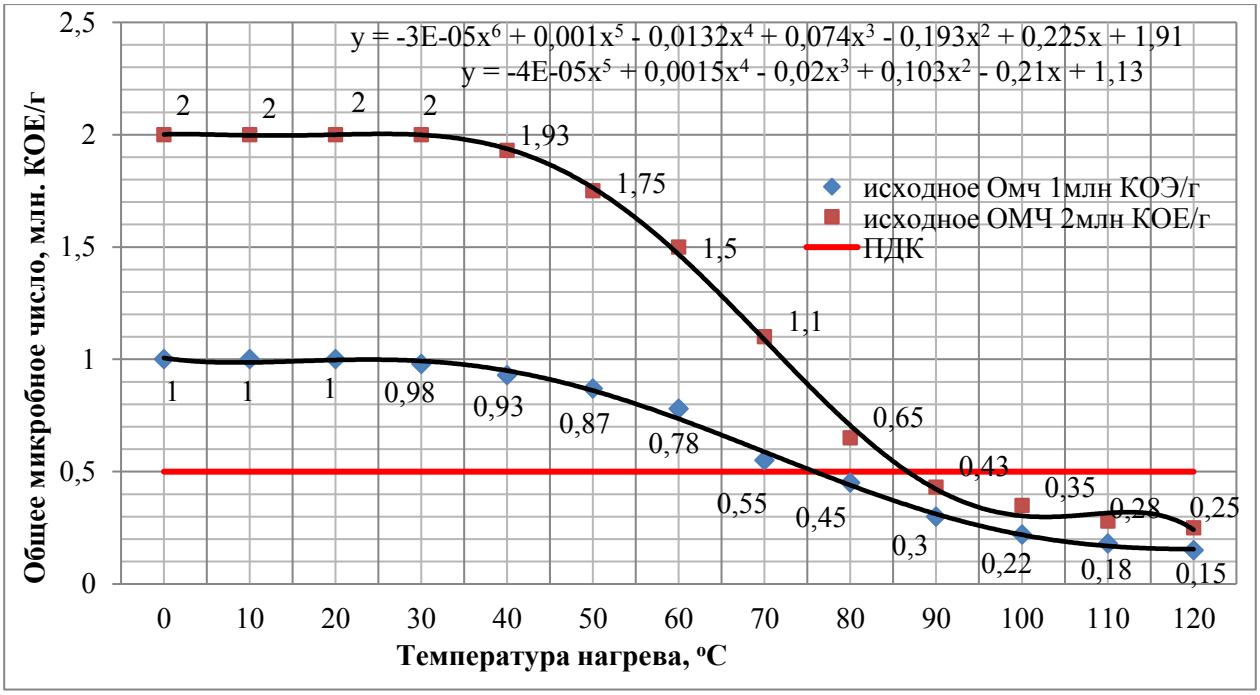


Рисунок 4.20 – Изменения ОМЧ в непищевых отходах убоя птиц высокой влажности в зависимости от температуры нагрева в ЭМПСВЧ при разной исходной обсемененности сырья: 2 млн. КОЕ/г; 1 млн. КОЕ/г

Исследования показывают, что снижение микробиологической обсемененности непищевых отходов убоя птиц начинается при температуре

эндогенного нагрева выше 50°С, а до предельно допустимого уровня достигается при температуре нагрева 75-105°С в зависимости от исходного значения общего микробного числа 1 млн. КОЕ/г или 2 млн. КОЕ/г, соответственно.

Следовательно, эффективная доза воздействия ЭМПСВЧ (Вт·с/г) должна обеспечить не менее 75-85°С в измельченных непищевых отходах переработки птиц в процессе их нахождения в резонаторной камере. При этом следует учесть непрерывность технологического процесса, т.е. передвижение сырья через резонатор с одновременным обезвоживанием. Разработанные конструкционные исполнения СВЧ установок обеспечивают предварительное измельчение и обезвоживание сырья высокой влажности (65-85 %), далее, в резонаторе происходит термообработка и обеззараживание твердой фракции сырья в процессе тонкого измельчения.

Исследована зависимость снижения общего микробного числа от приращения температуры сырья разной исходной обсемененностью при напряженности ЭП 0,8-1,2 кВ/см ***в комбинированном резонаторе с помощью изготовленной СВЧ установки (***рис. 4.21).

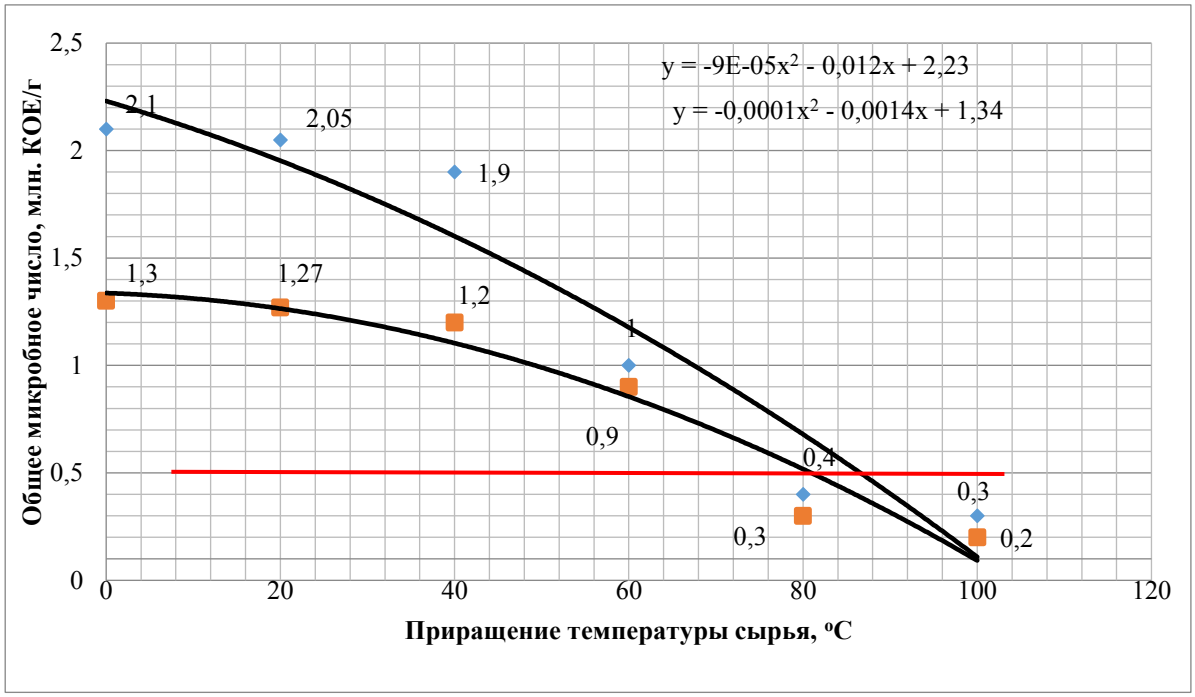


Рисунок 4.21 – Зависимость снижение ОМЧ от приращения температуры сырья разной исходной обсемененностью: 1,3 и 2,1 млн. КОЕ/г

Эмпирические зависимости, описывающие изменение ОМЧ от приращения температуры нагрева сырья:

$$ОМЧ_{исх\ 2,1} = -9E\text{-}05\ T^2 - 0{,}012T + 2{,}23\ КОЕ/г;$$

$$ОМЧ_{исх\ 1,3} = -0{,}0001T^2 - 0{,}0014T + 1{,}34\ КОЕ/г \qquad (4.18)$$

При температуре в сырье 75-105 °С бактериальная обсемененность снижается ниже предельно допустимого уровня 500 тыс. КОЕ/г. Высокая напряженность ЭП в резонаторе обеспечивает снижение жизнедеятельности патогенной микрофлоры до ПДУ 0,5 млн. КОЕ/г, что увеличивает срок годности продукта. Происходит повышение кормовой ценности на 15-20% в зависимости от вида вторичного сырья по сравнению с базовым образцом продукта, вареного в автоклаве.

Номограмма для согласования конструкционных параметров с режимами работы установки

Разработана номограмма (рис. 4.22), позволяющая согласовать конструкционные параметры с режимами работы установки в зависимости от исходной бактериальной обсемененности сырья (ОМЧ); согласовать дозу воздействия ЭМПСВЧ, удельную мощность генератора и приращение температуры нагрева; определить производительность установки.

В первом квадранте номограммы представлено изменение общего микробного числа в зависимости от приращения температуры вторичного сырья (измельченные отходы животного происхождения) при разных значениях ОМЧ исходного сырья. Во втором квадранте приведена динамика нагрева сырья при разных удельных мощностях генератора. В третьем квадранте приведена зависимость приращения температуры от дозы воздействия ЭМПСВЧ. В четвертом квадранте приведены зависимости продолжительности нагрева сырья при разных удельных мощностях генератора.

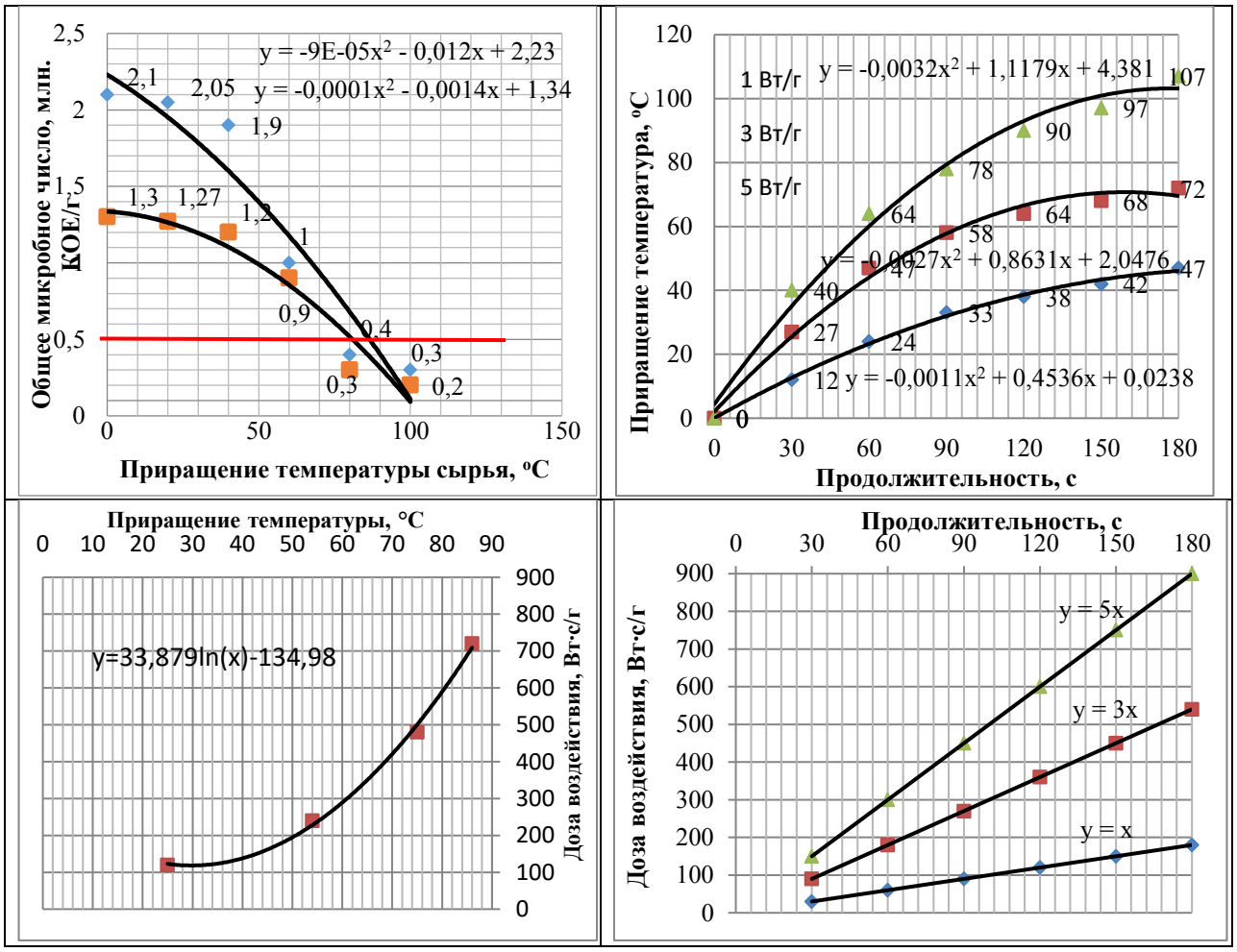


Рисунок 4.22 – Номограмма для согласования режимных параметров СВЧ установки с критерием оптимизации – со снижением ОМЧ в сырье

4.3.2 Исследование физико-химического состава продукта

Изменения структуры белкового продукта в результате термообработки обезвоженных непищевых отходов убоя животных в ЭМПСВЧ исследовали с помощью *анализатора инфракрасного* «SpectraStar 2400» (рис. 4.23). Прибор использовали для исследования показателей качества (массовых долей влаги, белка, жира) пищевых продуктов. Можно анализировать сухие, полужидкие и жидкие образцы. Прибор позволяет определить несколько показателей одновременно. Точность прибора превышает точность стандартного химического метода. Измерение спектральных коэффициентов диффузного отражения производится на определенных длинах волн, это позволяет оценить содержание компонента в пробе. Излучение, поглощенное пробой, обратно пропорционально интенсивно-

сти отраженного излучения. Результаты анализа наглядно отображаются на экране (рис. 4.23) и запоминаются прибором. На графике (рис. 4.24) по оси ординат указан *коэффициент диффузного отражения***.** Это значит, что на графике у пробы с дозой воздействия 5 Вт/г коэффициент отражения при длине волны 1800 нм составляет 0,6, а контрольной пробы - 0, 5, т.е. содержание компонентов в исследуемой пробе отличается. Результаты исследований физико-химических параметров белкового продукта показывают, что они соответствуют требованиям нормативно-технической документации.

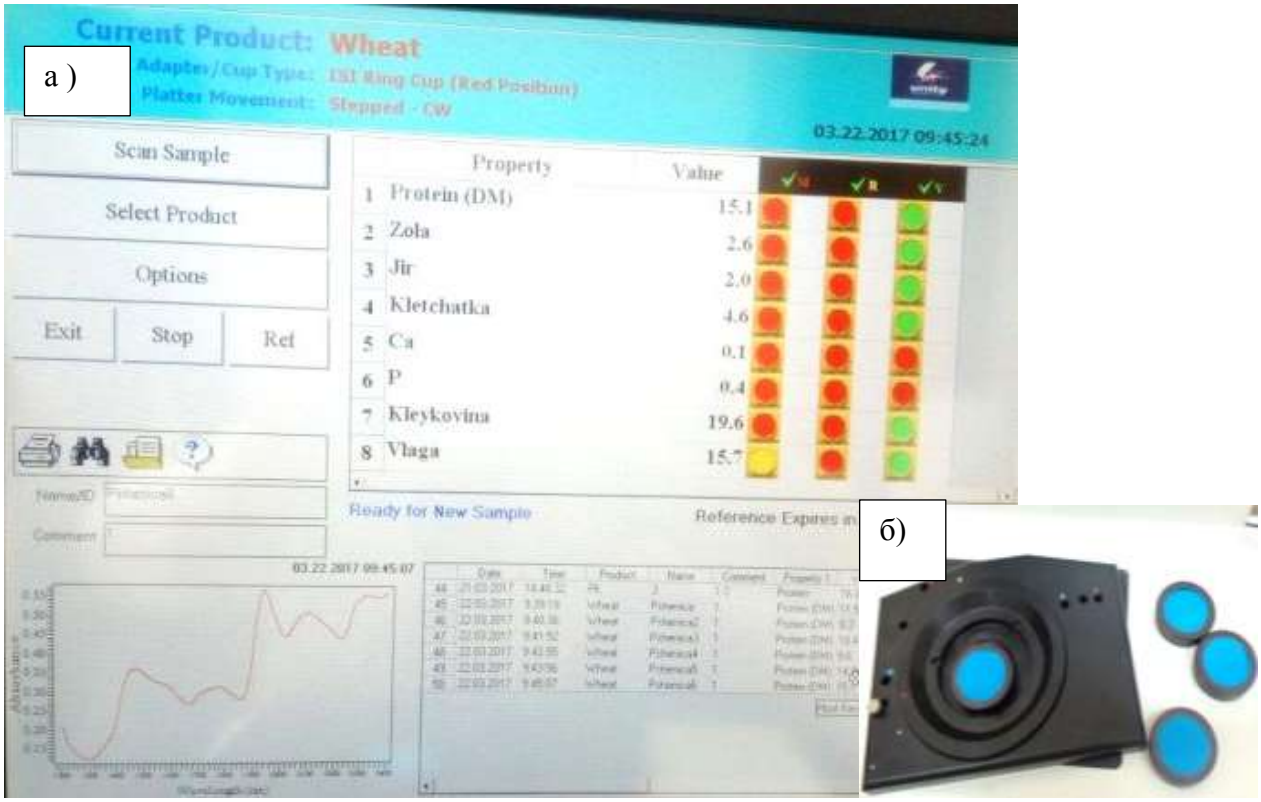


Рисунок 4.23 – Результаты исследования химического состава белкового продукта с помощью спектроскопии «SpectraStar 2400»: а) отображение данных на экране, б) кюветы с образцами

По эффективности диффузного отражения все спектры можно разбить на несколько групп с различным значением коэффициента диффузного отражения. Увеличение размера частиц обезвоженного сырья приводит к снижению максимального коэффициента диффузного отражения. Графики изменения коэффициента диффузионных отражений от длины волны ИК излучения опытного и контрольного образцов белкового продукта из птичьих потрохов приведены на рис. 4.24.

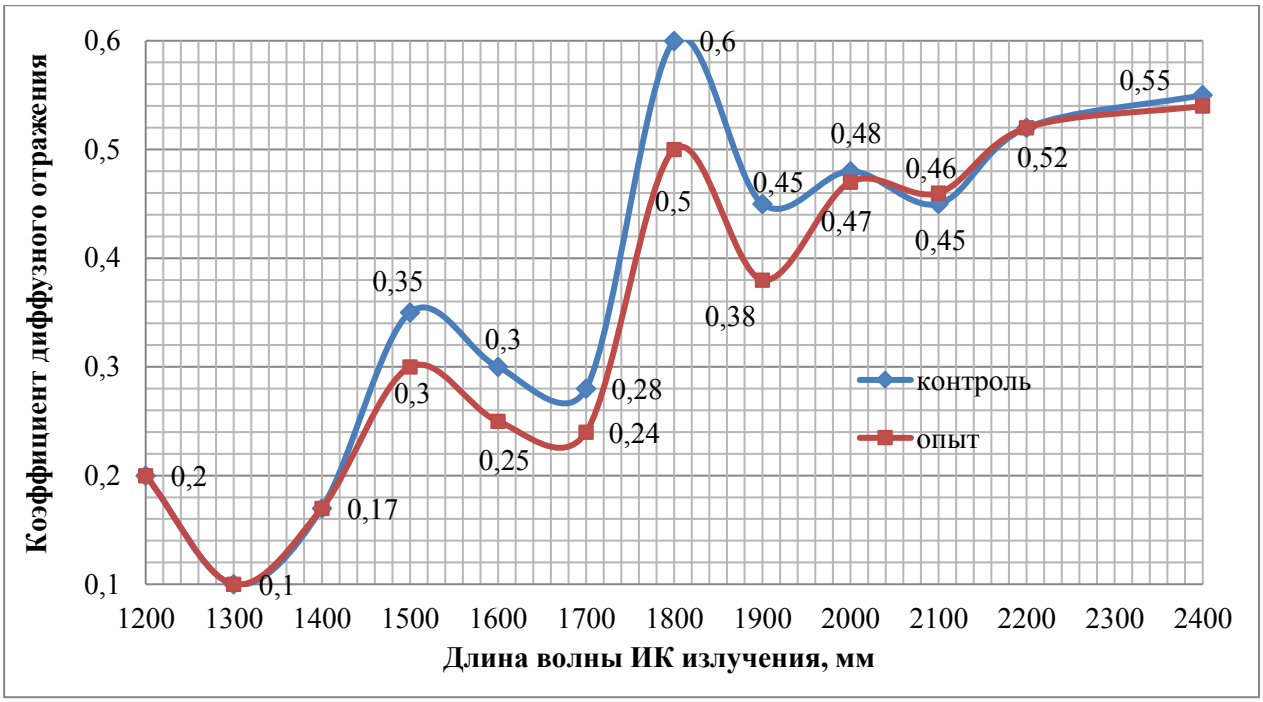


Рисунок 4.24 – Зависимость коэффициента диффузионных отражений от длины волны ИК излучения опытного и контрольного образцов белкового продукта из птичьих потрохов

Результаты исследования показывают, что кратковременное пребывание непищевого сырья в ЭМПСВЧ оказывает минимальное воздействие ***на качество белка***. Существенных изменений в соотношении растворимых и нерастворимых пищевых волокон не обнаруживается. Перевариваемость ***пищевых волокон*** возрастает после термообработки, что связано с их химической модификацией. Высокая напряженность электрического поля сверхвысокой частоты в сырье приводит к гибели патогенной микрофлоры. При нагреве сырья в ЭМПСВЧ внутриклеточная влага превращается в перегретый пар, и резкое изменение давления приводит к разрыву клетки изнутри парами воды. Поэтому возможно получение стерильного качественного корма.

4.3.3 Оценка органолептических показателей сырья опытного и контрольного образцов

К органолептическим показателям качества относятся внешний вид продуктов. Это форма, цвет, общая привлекательность продукта, оцениваемые визуально. Вкус, запах, консистенция, газообразование, заплесневение, определяе-

мые в процессе дегустации. Органолептические показатели являются субъективными. Но они дают основную оценку пригодности пищевых продуктов к употреблению. По органолептическим показателям кормовой продукт должен соответствовать требованиям, приведенным в табл. 4.6.

Таблица 4.6 – Органолептические показатели кормового продукта

Наименование показателя	Характеристика
Вкус и запах	Выраженный, характерный для белковых отходов; без посторонних привкусов и запахов
Консистенция при 12°С	Плотная, гомогенная
Цвет	От светло-желтого до желтого, однородный по всей массе

При термообработке непищевых отходов убоя скота в ЭМПСВЧ происходит следующее: гидролиз крахмала и его декстринизация, за счет чего повышается усвояемость; химическая модификация пищевых волокон клетчатки; увеличение стабильности жиров за счет разрушения ферментов, что увеличивает срок годности продукта [3, 9]. Под воздействием ЭМПСВЧ происходит модификация сырья, т.е. оно стабилизируется по составу и полностью стерилизуется. СВЧ установка позволяет эффективно перерабатывать все образующиеся отходы убоя и обвалки с получением эффективного кормового продукта. Состав продукта зависит от вида перерабатываемых мясных отходов. Шкала оценки органолептических показателей продукта приведена в табл. 4.7.

Органолептические показатели непищевых белковых отходов оценивали по 15-балльной шкале в соответствии с требованиями.

Таблица 4.7 – Шкала оценки органолептических показателей

Наименование и характеристика показателя		Оценка (баллы)
Вкус и запах (8 баллов)		
Отличный	Выраженный привкус, без посторонних привкусов и запахов	8
Хороший	Привкус, без посторонних привкусов и запахов	7
Удовлетворительный	Недостаточный привкус, без посторонних привкусов и запахов Невыраженный привкус Слабый посторонний	6-5 4 3

Консистенция и внешний вид (5 баллов)		
Отличный	Зернистая или плотная гомогенная	5
Хороший	При зернистой – недостаточно однородная При гомогенной - недостаточно однородная, или слабая мучнистая	4
Удовлетвори-тельный	Недостаточно плотная, мягкая	3
Цвет (2 балла)		
От светло-коричневого до коричневого, однородный по всей массе		2
Итого		**15**

Результаты испытаний белковой продукции. Проводили органолептическую оценку продукта из непищевых боенских отходов при термообработке традиционным и проектным способами в специализированной лаборатории. Сырьем для производства вареного корма служила смесь из измельчённых внутренностей птицы, легкое говяжье. Испытано 2 образца в 4-х кратной повторности: 1 образец контрольный, сырье подвергали обработке с помощью автоклава. 2 образец – обезвоженные до 40 % непищевые отходы убоя животных подвергали воздействию ЭМПСВЧ. Образцы подвергались термообработке до температуры 107 °С в течение 3 мин. в СВЧ установке с комбинированным резонатором. При этом удельная мощность составляла 5 Вт/г. Для исследования отобрали пробы массой 1 кг. Вкус и запах опытного образца оценены на 14 баллов, контрольного – на 8, из максимально возможных 15 баллов (рис. 4.25).

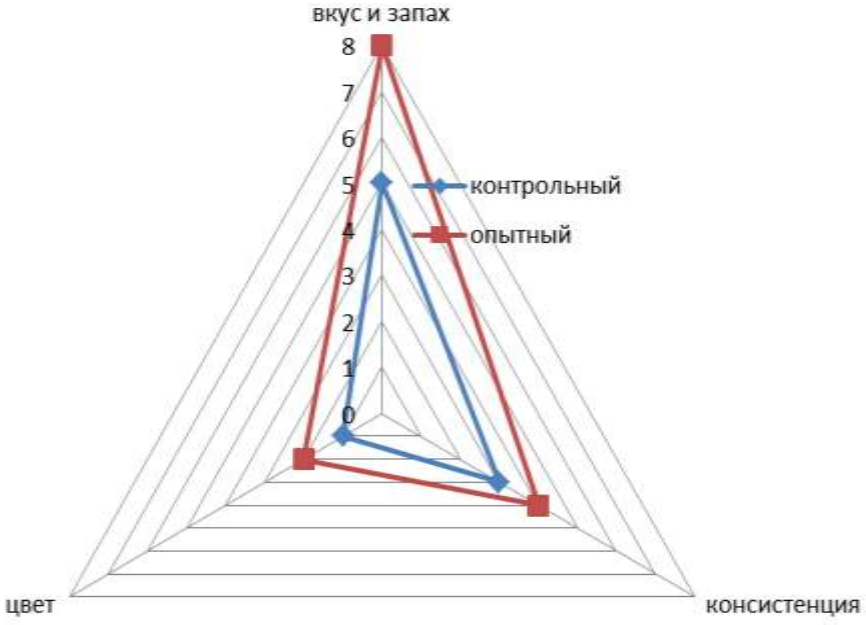


Рисунок 4.25 – Органолептическая оценка продукта из непищевых боенских отходов при термообработке традиционным и проектным способами

Консистенция и внешний вид опытного образца оценен на 4 балла, контрольного на 3 из максимально возможных 5 баллов. Цвет опытного образца

оценен на 2 балла, контрольного – на 1 бал, из максимально возможных 2 баллов. Присутствующие в непищевом сырье соединения в процессе термообработки в ЭМПСВЧ подвергаются следующим изменениям (табл. 4.8). При термообработке непищевых отходов убоя животных в ЭМПСВЧ происходит гидролиз крахмала и его декстринизация, за счет чего повышается усвояемость; улучшается химическая модификация пищевых волокон клетчатки; увеличивается стабильность жиров за счет разрушения ферментов, что увеличивает срок годности продукта.

4.3.4 Исследование распределения теплового потока по поверхности белкового продукта

Исследования проводили с помощью тепловизора FLIRi3

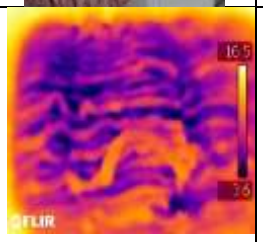
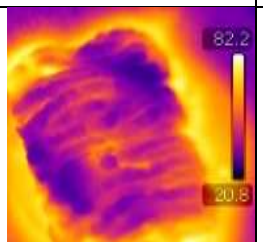
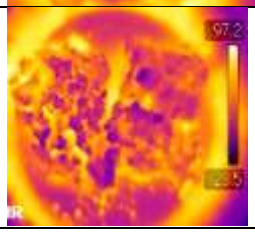
Продолжительность (мин) воздействия при удельной мощности 3,5 Вт/г	Тепловизионная съемка	Вид т сырья после термообработки в режиме:	
		стационарном	непрерывном
Температура 4-9°С			
1 мин, Температура 4-16,5°С			
2 мин, 21-82 °С			
4 мин, 24-97 °С			

Рисунок 4.26 – Распределения температурного поля по поверхности белкового продукта при воздействии ЭМПСВЧ в стационарном режиме на обезвоженные непищевые отходы убоя свиней, при удельной мощности 3,5 Вт/г

Исследовали распределение температурного поля по поверхности сырья при термообработке в стационарном режиме и при термообработке в комбинированном резонаторе в непрерывном режиме и перемешивании.

Результаты исследования распределения температурного поля по поверхности белкового продукта при воздействии ЭМПСВЧ на обезвоженные непищевые отходы убоя свиней, при удельной мощности 3,5 Вт/г в стационарном режиме, представлены на рис. 4.26.

Вареный продукт имеет следующие характеристики.

Таблица 4.8 – Характеристика вареного продукта

Содержание протеина%	15-20
Обменная энергия, ккал/100г	290-310
Бактериальная чистота, тыс. КОЕ/г	200-300
Токсичность	не токсично
Влажность, %	25-35
Срок хранения при отрицательной температуре, месяцев	1

Сегодня еще используются устаревшие технологии переработки отходов животного происхождения. Это методы продолжительной обработки отходов в течение 4-5 ч, при поддержании температуры нагрева 120-140°С и давления 0,3-0,4 МПа в котлах. В основном варят, стерилизуют и сушат, получают мясокостную муку. При таком длительном нагревании происходит разрушение части белка, что снижает его усвоение животными.

На основании полученных и проверенных методами математической статистики данных определены эффективные технологические параметры и режимы работы. Разработка микроволновой технологии, обеспечивающей оптимальное совмещение температуры и продолжительности обработки, позволяет получить белковый корм, отличающийся высокой степенью стерильности, т.е. все микроорганизмы уничтожаются или дезактивируются до безопасного состояния. При этом в белковых молекулах разрушаются связи, что увеличивает доступность аминокислот; происходит *желатинизация крахмала*, что способствует его

усвоению; осуществляется *разрыв стенок в клетках жира*, что увеличивает проницаемость масла, его энергетическую ценность; измельчение клетчатки увеличивает ее переваривание; все это позволяет увеличить усвоение продукта. Содержание влаги при обработке обезвоженных непищевых отходов составляет 25-30 %; протеиновый показатель 14-22 % в зависимости разновидности отходов. Хранение варенного белкового продукта осуществить в специальных мешках.

4.4 Разработанная и изготовленная СВЧ установка с комбинированным резонатором для термообработки непищевых мясных отходов

4.4.1 Особенности узлов СВЧ установки

Разработанная и созданная СВЧ установка для измельчения, центрифугирования и термообработки обезвоженного непищевого отхода убоя животных состоит из монтажного стола, на котором расположены измельчающие и сепарирующие устройства. Под столом, в экранирующем корпусе, находится цилиндрический резонатор с тремя источниками СВЧ энергии (магнетронами). Причем на дне резонатора, выполненном под наклоном, расположен перемешивающий механизм, и имеется выгрузной патрубок с шаровым вентилем.

Загрузить непищевые отходы убоя животных в измельчитель (влажность до 85 %). После чего измельченное сырье попадает в центрифугу, откуда твердая фракция падает на поверхность полусферического экрана (это верхняя часть комбинированного резонатора). Полусфера подвешена с центральной точки с помощью цепи на перекладину, установленную на открытом дне приемной емкости, предназначенной для сбора твердой фракции сырья. Приемная емкость без дна установлена над направляющей неферромагнитной трубой, имеющейся в столе. Диаметр направляющей трубы меньше, чем диаметр полусферического экрана, расположенного под трубой. Между ними имеется кольцевой зазор, через который твердая фракция сырья при колебании полусферы соскальзывает с его поверхности и падает в цилиндрический резонатор. Зазор, предназначенный для загрузки сырья в резонаторную камеру, и диаметр неферромагнитного патрубка с шаровым клапаном для выгрузки продукта не могут превышать чет-

верть длины волны. В этом зазоре образуется стоячая электромагнитная волна, которая имеет нулевое амплитудное значение, поэтому волна наружу не распространяется. Такой способ защиты называется СВЧ дроссель. СВЧ установка в процессе изготовления и монтажа приведены на рис. 4.27. Радиоволны сверхвысокой частоты проникают в сырье и воздействуют на полярные молекулы (в сырье – это в основном, вода), заставляя их постоянно выстраиваться вдоль силовых линий электромагнитного поля. Такое движение повышает температуру сырья, и нагрев идет до глубины, на которую проникают радиоволны (2,5-3 см, в зависимости от диэлектрических свойств сырья). Идет нагрев воды за счет поляризации диполей воды. Разработан, изготовлен образец СВЧ установки для варки и обеззараживания непищевых отходов убоя животных потребляемой мощностью 4,28 кВт, обеспечивающей производительность 30-40 кг/ч при энергетических затратах 0,11-0,14 кВт·ч/кг. Потребляемая мощность трех генераторов 3,4 кВт, мощность электродвигателя перемешивающего диска в резонаторе 0,6 кВт, мощность электродвигатель вентилятора для охлаждения магнетрона 0,24 кВт; мощность центрифуги 0,32 кВт, мощность измельчающего механизма 1,8 кВт.

Рисунок 4.27 – СВЧ установка с комбинированным резонатором с тремя генераторами и основные узлы

Таблица 4.9 – Технические характеристики СВЧ установки

Производительность, кг/ч	30-40
Потребляемая мощность СВЧ установки, кВт	6,08
Потребляемая мощность СВЧ установки без измельчителя, кВт	4,28
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,24
Мощность перемешивающего диска, кВт	0,32
Мощность измельчителя, кВт	1,8
Мощность центрифуги, кВт	0,32
Потребляемая мощность трех СВЧ генераторов, кВт	3,4
Удельные энергетические затраты без измельчителя, кВт·ч/кг	0,15-0,2
Удельные энергетические затраты без измельчителя и центрифуги, кВт·ч/кг	0,11-0,13
Габаритные размеры, м	0,8х0,8х1,5

Таблица 4.10 – Анализ энергетических затрат на процесс варки сырья в СВЧ установке разной мощности

Количество генераторов, шт.	Мощность генератора, кВт	Потребляемая мощность СВЧ генератора, кВт	Мощность вентилятора магнетрона, кВт	Мощность транспортирующих и перемешивающих механизмов, кВт	Мощность общая, кВт	Производительность установки, кг/ч	Энергетические затраты, кВт·ч/кг
1	0,8	1,2	0,24	0,32	1,76	8	0,22
2	1,6	2,4			2,96	16	0,185
3	2,4	3,6			4,16	24	0,173
4	3,2	4,8	0,48	0,64	5,92	32	0,185
5	4,0	6,0			7,12	40	0,178
6	4,8	7,2			8,32	48	0,173

Анализ зависимости энергетических затрат и мощности СВЧ установки для термообработки сырья от производительности (рис. 4.28, 4.29) показывает, что при производительности 30-40 кг/ч энергетические затраты составят 0,17-0,18 кВтч/кг, если использовать один вентилятор для охлаждения трех магнетронов и транспортирующие и перемешивающие механизмы.

Рисунок 4.28 – Зависимост энергетических затрат от производительности установки для термообработки сырья

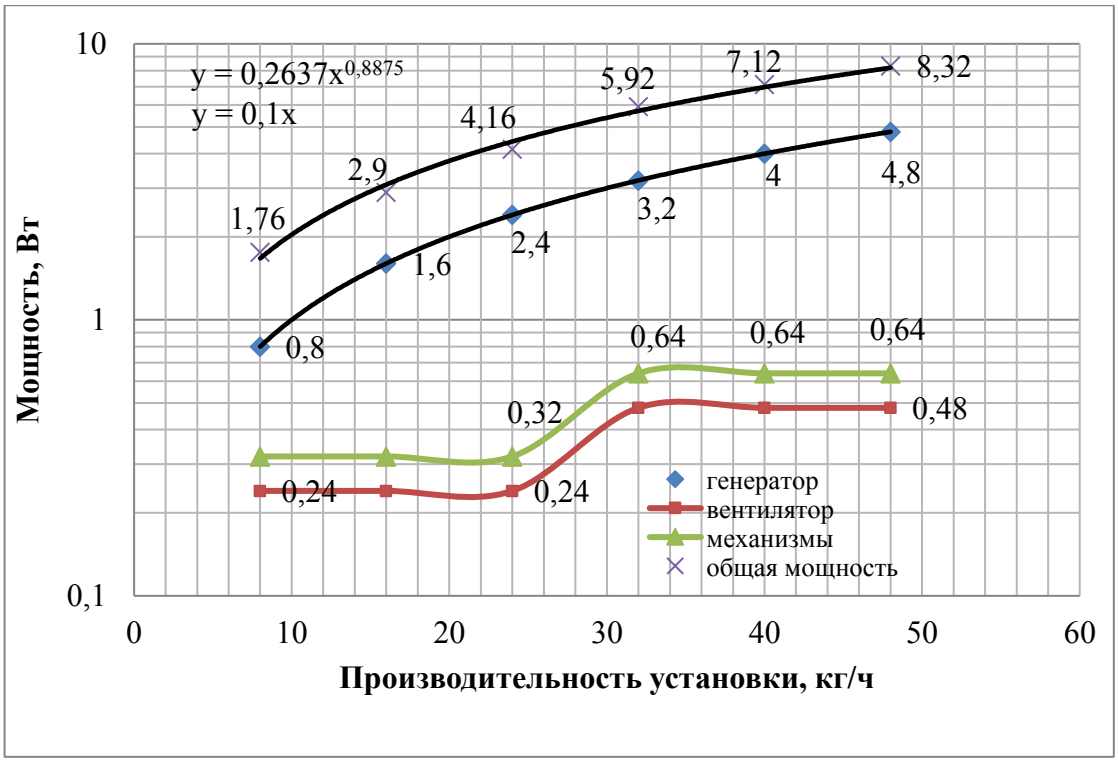


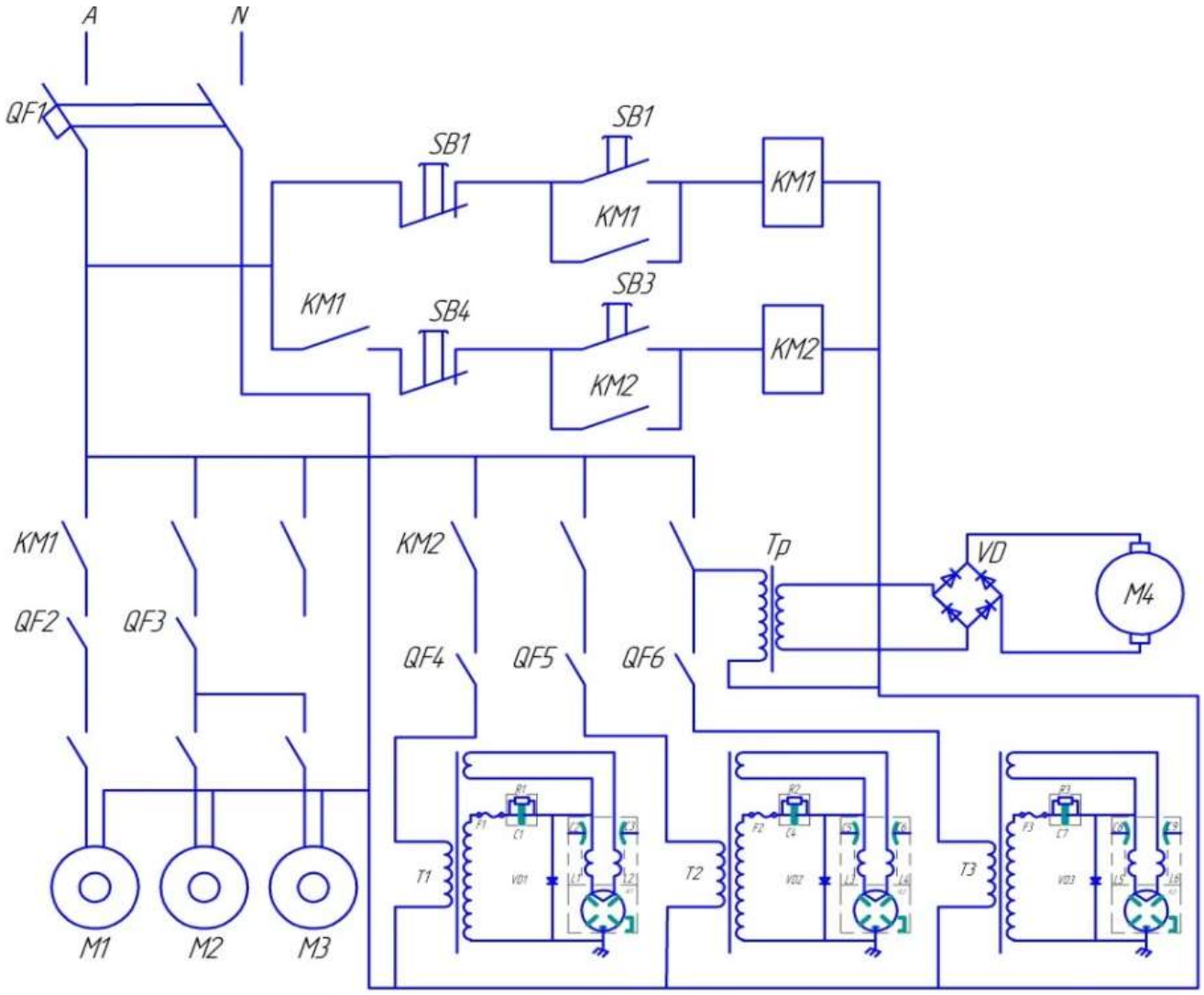
Рисунок 4.29 – Зависимость мощности СВЧ установки для термообработки сырья от производительности

Эмпирические выражения, описывающие зависимость общей мощности СВЧ установки и мощности генератора для термообработки и обеззараживания вторичного сырья от производительности $P_{общ} = 0{,}264 \cdot Q^{0{,}8875}$; $P_{ген} = 0{,}1 \cdot Q$.

4.4.2 Принципиальная электрическая схема управления СВЧ установкой для термообработки непищевых отходов убоя животных

Разработана принципиальная электрическая схема управления СВЧ установкой, обеспечивающей измельчение сырья, отделение твердой фракции и варку при использовании трех магнетронов в одном резонаторе и трех центрифуг. Принципиальная электрическая схема управления СВЧ установкой приведена на рис. 4.30. Она работает следующим образом. Включить автоматический выключатель *QF1*. Включить электродвигатель вентилятора *M4* для охлаждения трех магнетронов, для этого следует нажать кнопки «пуск» *SB1* и далее *SB3*. Силовые контакты магнитного пускателя *KM1 и KM2* при этом замыкаются, и один из контактов обеспечит подачу напряжения на понижающий трансформатор *TP*,

вторичная обмотка которого связана с выпрямительным блоком *VD*, от которого подводится напряжение к двигателю постоянного тока *M4*.



Электродвигатель измельчителя 1,8 кВт **Электродвигатель центрифуги 0,96 кВт** **Электродвигатель диска 0,6 кВт**	**Три СВЧ генератора, мощностью 3,4 кВт**	**Электродвигатель вентилятора 0,24 кВт**

Рисунок 4.30 – Принципиальная электрическая схема управления СВЧ установкой с тремя магнетронами с воздушным охлаждением от одного вентилятора, тремя центрифугами и измельчителем сырья

Далее включить электродвигатель перемешивающего механизма *M1*, расположенного на наклонном основании цилиндрического резонатора, с помощью *QF2*. После этого включить электродвигатель центрифуги *M2* и электродвигатель *M3* измельчителя сырья с помощью автоматического выключателя *QF3*. Ес-

ли сырье в объемном резонаторе есть, то можно включить все сверхвысокочастотные генераторы с помощью автоматических выключателей *QF4, QF5, QF6.* Для предотвращения включения СВЧ установки при больших зазорах между экранирующей сферы цилиндрической трубой существует система контроля. Лампа подсветки резонаторной камеры направлена через этот зазор. При отсутствии охлаждения одного из магнетрона (отсоединен воздуховод), соответствующий генераторный блок не включается. Наличие сырья в резонаторе контролируется. По окончании технологического процесса выключить измельчитель, далее центрифугу, остановить СВЧ генераторы, выключить вентиляторы и электродвигатель перемешивающего механизма. В установке можно предусмотреть таймер, но мощность каждого генератора не регулируется, и они работают при максимальной мощности. Магнетрон – это мощный генератор электромагнитных волн сантиметрового диапазона, принцип действия его основан на торможении электронов в скрещенных электрических и магнитных полях

.Имеется высоковольтный анодно-накальный трансформатор-стабилизатор Т1-Т3. Его мощность колеблется в пределах 850-1000 Вт. Первичная обмотка рассчитана на напряжение 220 В. Номинальное напряжение на его вторичных обмотках составит: на высоковольтной обмотке 2100-2300 В, накальной 3-3,2 В.

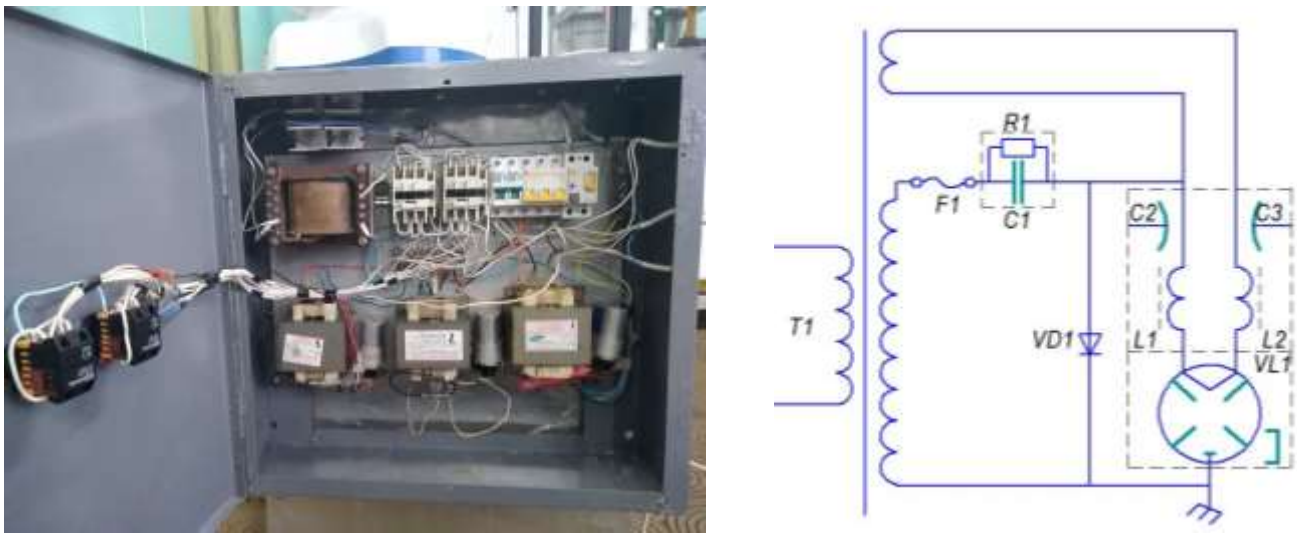


Рисунок 4.31 – Шкаф управления установкой и электрическая схема питания магнетрона: Т1 – повышающий трансформатор питания магнетрона; F1 – высоковольтный предохранитель; С2, С3, L1, L2 – заградительный фильтр магнетрона; VD1 – выпрямительный диод; R1, C1 – активно-емкостной фильтр

Шкаф управления установкой и электрическая схема питания магнетрона приведены на рис.4.31. Высоковольтный конденсатор участвует в удвоении высокого напряжения. Его назначение – накапливать заряд от положительной полуволны высоковольтного трансформатора и отдавать его (разряжаться) в отрицательный полупериод. Он работает в режиме заряд-разряд. Емкость составляет 0,9 мкФ, напряжение до 10 кВ. Высоковольтный выпрямительный диод работает при напряжении 5 кВ, вместе с конденсатором участвует в удвоении высокого напряжения, поступающего от трансформатора, путем периодического заряда конденсатора.

4.4.3 Исследование электромагнитной безопасности при работе установки с комбинированным резонатором и тремя источниками ЭМИ

Известно, что в поверхностном слое неферромагнитного материала возникает явление затухания электромагнитных волн. Поэтому для экранирования электромагнитных излучений [36] использовали экраны из алюминиевых листов толщиной не менее 2 мм (удельная проводимость $32 \cdot 10^6$ 1/Ом·м) [2, 14]. Экраны представляют собой оболочки разной конфигурации: цилиндрические, сферические, прямоугольные, тороидальные и т.п., в зависимости от конструкционного исполнения резонаторов и их расположения в рабочей камере. Экран выполняет две функции: защищает объемный резонатор от влияния внешнего электромагнитного поля; защищает пространство от электромагнитного излучения, создаваемого магнетроном.

В зависимости от условий воздействия ЭМП, характера и местонахождения магнетрона можно использовать средства защиты расстоянием и продолжительностью воздействия. В нашем случае экранировали источники излучения и разработали специальные запредельные волноводы или преимущественно использовали конические резонаторы со щелями не более чем четверть длины волны, обеспечивающими радиогерметичность установки в процессе перемещения сырья в непрерывном режиме.

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот выше 300 МГц нормируется по плотности потока энергии $(Вт/м)^2 \cdot ч$. Согласно санитарным нормам в диапазоне 300 МГц - 300 ГГц измеряется плотность потока энергии.

В настоящее время в РФ действуют десятки законодательных документов, установленных Госсанэпиднадзором и ГОСТ, которые регламентируют параметры электромагнитного поля и экспозицию для профессиональных категорий.

Исследования проводили в соответствии с государственным стандартом, разработанным Всесоюзным научно-исследовательским институтом физико-технических и радиотехнических измерений, ГОСТ 8.189-76. Этот стандарт распространяется для средств измерений напряженности электрического поля (В/м) в диапазоне частот 30-1000 МГц с указанием погрешностей. Эталон состоит из комплекса следующих средств измерений: 1) три комплекта измерителей напряженности ЭП, состоящих из дипольных антенн с термопреобразователями и потенциометра класса точности 0,005; 2) набор излучателей. Диапазон эффективных значений напряженности ЭП, воспроизводимых эталоном, составляет 0,2-10 В/м. В качестве рабочих средств измерений применяют измерители напряженности ЭП с дипольными антеннами и измерительные дипольные антенны.

В сантиметровом диапазоне допустимое время (T) работы персонала определяется как отношение энергетической экспозиции (ЭЭ) к плотности потока энергии с учетом коэффициента (K) снижения биологической активности воздействия ЭМПСВЧ по формуле: $T = K \cdot ЭЭ / ППЭ$, *ч,* [13, 33, 39, Акимов, стр. 50]. Зависимость продолжительности обслуживания СВЧ установки, работающей в сантиметровом диапазоне от предельно допустимого уровня плотности потока энергии (ППЭ), по данным С.М. Аполлонского, приведена на рис. 4.26 (1 квадрант). Эту зависимость можно описать эмпирической формулой $T = 200 / ППЭ$. Во втором квадранте результаты исследования мощности потока СВЧ излучений ($мкВт/см^2$) в зависимости от расстояния до СВЧ установки и высоты замера. Контроль плотности потока энергии около СВЧ установки осуществляли с помощью измерителя электромагнитных излучений ПЗ-31, ПЗ-33 М (до 40000 МГц, 615В/м).

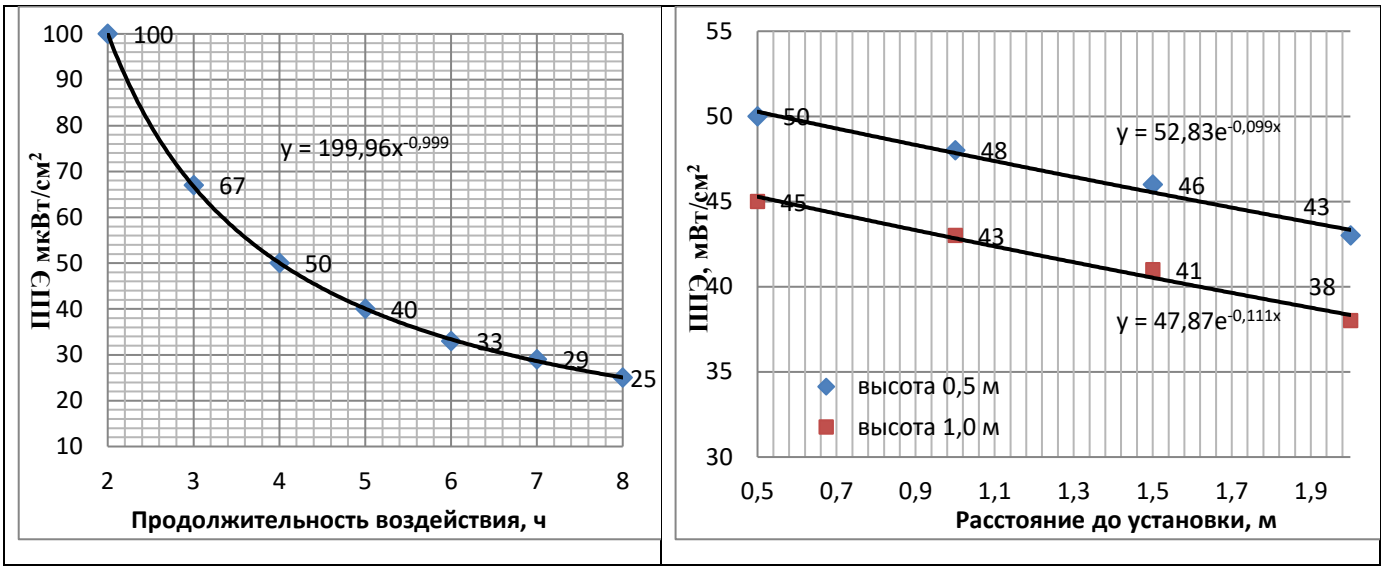


Рисунок 4.32 – Зависимость разрешенной продолжительности обслуживания СВЧ установки от плотности потока энергии (ППЭ)

Исследования мощности потока СВЧ излучений в зависимости от расстояния до установки показывают, что превышения 50 мкВт/см^2 не происходит. Это значит, персонал может работать вблизи СВЧ установки до 4 часов в день.

Мощность потока СВЧ энергии на расстоянии от установки (0,5-2) м и на высоте замера 0,5 и 1,0 м составляет соответственно (50-43) мВт/см^2 и 45…38 мВт/см^2 (рис. 4.32). Итак, разработанную установку с комбинированным резонатором по безопасной норме СВЧ излучения можно обслуживать на расстоянии 0,5-2 м в течение 4 часов. Кольцевая щель, размером 1-1,5 см, предназначенная для загрузки обезвоженного сырья в комбинированный резонатор, не позволяет работать более 4 часов в непрерывном режиме.

4.5 Результаты исследований и выводы по разделу

1. Результаты исследования динамики нагрева сырья при разных удельных мощностях СВЧ генератора с помощью измерителя температуры Testo 925 позволили согласовать конструкционно-технологические параметры с режимами работы установки, а именно: режимами измельчающего механизма и центрифуг, продолжительностью воздействия ЭМПСВЧ, удельной мощностью источников энергии, массой загрузки сырья, пропускной способностью резонатора, производительностью установки. Определены эффективные технологические параметры

установки для варки и обеззараживания непищевых отходов убоя животных: доза воздействия ЭМПСВЧ 500-700 Вт·с/г; продолжительность воздействия ЭМПСВЧ 3-4 мин в зависимости от вида мясных отходов.

2. Проведены исследования распределения теплового потока по объему вареной твердой фракции сырья с помощью тепловизора FLIRi3. В процессе воздействия ЭМПСВЧ в эффективном режиме температура на поверхности продукта составляет 90-110°С.

3. На основе критериальных уравнений получены регрессионные зависимости, позволяющие определить рациональные режимы работы СВЧ установки. Выявлены основные факторы, влияющие на процесс варки сырья: удельная мощность СВЧ генераторов (1-3 кВт/кг); продолжительность воздействия ЭМПСВЧ (3-4 мин); количество СВЧ генераторов (3 шт.).

4. Выполнен сравнительный анализ органолептических и микробиологических показателей обработанного непищевого мясного сырья базовым и проектным способами, на основе которых установлено, что обработанный белковый продукт имеет повышенную кормовую ценность. Исследование микробиологических параметров сырья с исходной бактериальной обсемененностью $2 \cdot 10^{6}$ КОЕ/г, 10^{6} КОЕ/г показало, что при термообработке до 100°С общее микробное число сырья снизилось до $0{,}3 \cdot 10^{6}$ КОЕ/г, $0{,}1 \cdot 10^{6}$ КОЕ/г, соответственно. Изменения химического состава обработанного сырья, оцененные результатами замера с помощью спектроскопии «SpectraStar 2400», свидетельствую о соответствии кормовой ценности продукта нормативным данным.

Разработана номограмма, которая позволяет согласовать технологические параметры СВЧ установки. Зная эффективный предел температуры нагрева (90-110°С), при достижении которой бактериальная обсемененность снизится до ПДУ (500 тыс. КОЕ/г), можно определить необходимую дозу воздействия ЭМПСВЧ (0,173 кВт·ч/кг), производительность установки (30-40 кг/ч.),

5. Разработаны принципиальные электрические схемы управления СВЧ установкой для варки и обеззараживания непищевого мясного сырья, питанием магнетронов, электродвигателями измельчающих, центрифугирующих, переме-

шивающих механизмов и вентилятора, с учетом монтажа трех магнетронов непосредственно к боковым стенкам цилиндрического резонатора, а электронных блоков – в шкафу управления.

6. Проводили контроль мощности потока излучений СВЧ установкой для варки и обеззараживания непищевого мясного сырья с помощью измерителя П3-33М. Исследования мощности потока СВЧ излучений в зависимости от расстояния до установки показывают, что радиогерметичность обеспечивается, так как мощность потока излучений не превышает ПДК 50 мкВт/см^2 при работе персонала в течение 4 часов в сутки.

7. Проведено испытание созданного экспериментального образца, показавшее соответствие его технических характеристик требованиям технического задания. На основании комплекса исследований, проведенного в лабораторных и производственных условиях, показана целесообразность реализации микроволновой технологии варки и обеззараживания непищевого мягкого сырья в СВЧ установке с комбинированным резонатором с тремя генераторами, содержащими запредельный волновод, через который выгружается готовая продукция.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ НА РАЗРАБОТКУ СВЧ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ВТОРИЧНОГОСЫРЬЯ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Непищевые отходы, получаемые при переработке скота и птицы, используют для производства кормовых продуктов. В мясокомбинатах переработка технического сырья в кормовые продукты является наиболее слабым механизированным участком. Для повышения эффективности переработки непищевых отходов можно применять микроволновые технологии и совершенствовать методы сокращения потерь. Известно, что использование энергии ЭМИ в с.-х. позволяет значительно ускорить технологический процесс, упростить машинно-аппаратную схему, связанную с подготовкой теплоносителя. К боенским отходам относятся *ветеринарные конфискаты* (непригодные мясные тушки, внутренние органы убойных животных) и *непищевые отходы* (эмбрионы, половые органы, техническая кровь, обрезки кишок, мездра и т.д.).

Технологический процесс получения вареных кормов в базовом варианте заключается в следующем. Отходы загружают в котел и варят в течение 4-5 ч от начала кипения при температуре 100°С. При этом сырье стерилизуется и обезвоживается. Основным процессом в технологии переработки отходов убоя птицы и животных является термическая обработка, при которой снижается содержание влаги и уничтожается микрофлора. Далее отделяют вытопленный жир от твердой субстанции путем центрифугирования и твердую фракцию измельчают.

Разработанная установка создает условия для организации малоотходной переработки непищевых отходов убоя животных с целью получения высококачественного белкового корма. Микроволновая технология переработки является не утилизацией отходов, а воспроизводством питательных ресурсов. В соответствии с методиками определения экономической эффективности установки с дополнительными показателями, характеризующими изменение степени полезного использования производственных ресурсов, являются увеличение объема производства, повышение производительности труда, снижение энергоемкости

производства, улучшение качества продукции. Создание установки направлено на интенсификацию технологических процессов, стабилизацию технологического режима, максимальное использование технических возможностей оборудования, обеспечение ритмичности протекания процесса. Таким образом, возникают объективные предпосылки для увеличения выпуска продукции. Экономическая оценка результатов исследований выполнена для разработанных установок по стандартной методике [220, 223] с учетом статьи затрат:

I. Балансовая стоимость оборудования проектного и базового вариантов, предназначенных для термообработки и обеззараживания вторичного сырья животного происхождения;
II. Эксплуатационные затраты на термообработку и обеззараживания вторичного сырья с помощью традиционного оборудования;
III. Эксплуатационные затраты на термообработку и обеззараживания вторичного сырья с помощью СВЧ установок разного конструкционного исполнения (проектное оборудование).

Ниже проанализирована экономическая эффективность применения СВЧ установок в фермерских хозяйствах за счет снижения эксплуатационных затрат на технологический процесс термообработки вторичного сырья животного происхождения. Оценивали эффективность применения:

- многомодульной СВЧ установки ***непрерывно-поточного действия*** с шестью магнетронами, производительностью 200 кг/ч по отношению базовой СВЧ установки Муссон-2 ***периодического действия***, потребляемой мощностью 12,5 кВт, производительностью 200 кг/ч;

- СВЧ установки ***непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором***, производительностью 35-40 кг/ч по отношению опытного образца сушильной СВЧ установки МСУ-1,5 периодического действия, производительностью 60 кг/ч, потребляемой мощностью 6 кВт, разработанной в ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ», как экспериментальный научный образец;

- СВЧ установки ***непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором***, производительностью 35-40 кг/ч по отношению ***экструдера*** кормов ЭК-40 (ООО ВЦПО «Фавор», г. Волгоград) при экструдировании непрерывном режиме смеси измельченных отходов животного происхождения с растительным наполнителем, производительностью 40 кг/ч, потребляемой мощностью 4 кВт.

5.1 Технико-экономическая оценка внедрения многомодульной центробежной СВЧ установки непрерывно-поточного действия для термообработки и обеззараживания вторичного сырья

I. Балансовая стоимость конструкции

Опытный образец многомодульной центробежной СВЧ установки изготовлен на базе соковыжималки «Нептун». В приемные емкости измельчающих механизмов загружается вторичное сырье высокой влажности, далее измельченное сырье в конических резонаторах обезвоживается, дополнительно измельчается и одновременно подвергается термообработке и обеззараживанию непрерывном режиме

Рисунок 5.1 – Многомодульная центробежная сверхвысокочастотная установка непрерывно-поточного действия для термообработки вторичного сырья животного происхождения

Стоимость СВЧ установки рассчитывается по нижеприведенной методике.

Таблица 5.1 – Стоимость материалов

№ п/п	Наименование	Размерность	Всего, *руб.*
1	Металлический уголок, 50×50×4 мм (монтажные стойки)	10 п/м	1000
2	Неферромагнитный лист, 2500×1200×3 мм (экранирующий корпус, запредельные волноводы)	1 листа	5000
	Итого		**6000**

Таблица 5.2 – Стоимость покупных изделий

№ п/п	Наименование	Размерность	Цена 1 шт., *руб.*	Всего, *руб.*
1	СВЧ генераторный блок, 0,8 кВт	6 шт.	2600	15600
2	Соковыжималка «Нептун»	6 шт.	4600	25200
4	Шестеренчатый насос с электродвигателем	1 шт.	2000	2000
5	Измельчитель «Волчек»	6 шт.	2500	15000
6	Крепежные элементы (саморезы, заклепки)	50 шт.	0,5	250
7	Кабель четырехжильный	10 м	200	2000
8	Розетки с вилкой	7 шт.	200	1400
9	Шкаф с 6 автоматическими выключателями	1 шт.	1500	1500
10	Краска	2 шт.	250	500
11	Итого	–	–	**63450**
12	Общая сумма расходов на материалы и покупные			**69450**

Затраты на изготовление оригинальных деталей

Основная заработная плата рабочих, изготовляющих изделия и узлы, ведущих монтаж и сборку, настройку проектируемого изделия определяется по укрупненным нормативам, исходя из фактических трудовых затрат.

Затраты на оплату труда рабочих:

С учетом трудоемкости изготовления разрядная ставка рабочего составляет 100 руб/ч:

– дополнительная оплата 100 · 0,3 = 30 *руб.*;
– доплата за стаж (100 + 8,4) · 0,1 =12 *руб.*;
– отпускные (100 + 10,5 + 4,78)· 0,0834 = 9,614 *руб.*;
– оплата труда 100 + 30 + 12 + 9,614 = 151,614 *руб.*;
– страховые взносы 151,614 · 0,32 = 48,39 *руб.*

Общие затраты на оплату труда на одного чел.- ч.: 151,614 + 48,39 = **200** *руб./ч.*

Затраты труда на изготовление и монтаж оригинальных деталей:

1) изготовление каркаса для монтажа установки 10 · 200 = 2000 *руб.*;
2) изготовление крепежных элементов для монтажа *СВЧ генераторов* на каркас 8·200 = 1600 *руб.*;
3) изготовление крепежных устройств для монтажа *рабочих модулей* на каркас 15·200 = 3000 *руб.*;
4) изготовление крепежных элементов для монтажа *измельчителей «Волчек»* на каркас 8·200= 1600 *руб.*;
5) изготовление экранирующего корпуса 15·200 = 3000 *руб.*
6) изготовление запредельных волноводов (для слива жидкой фракции) 6·200 = 1200 *руб.*
7) изготовление и монтаж емкости для сбора жидкой фракции 6·200 = 1200 *руб.*
8) монтаж контрольно-измерительной аппаратуры, шкафа управления с автоматическими выключателями, электропроводок и т.п. 8·200= 1600 *руб.*

Сумма затрат труда на изготовление и монтаж оригинальных деталей равна (2000+1600+3000+1600+3000+1200+1200 +1600) = 15200 *руб.*

Затраты на электроэнергию при использовании:

1) электродрели 4 · 0,7 ·2,8 = 7,84 *руб.*:

– количество часов работы – 4 *ч*;
– мощность электродрели – 0,7 *кВт*;
– стоимость электроэнергии – 2,8 *руб/ кВт·ч*.

2) углошлифовальной машины 4 · 0,6 · 2,8= 6,72 *руб.*:

- количество часов работы – 4 *ч.*;
- мощность – 0,6 *кВт*.

3) сварочного аппарата 4 · 5 · 2,8 = 56 *руб.*:

- количество часов работы – 4 *ч.*;
- мощность – 5 *кВт*.

Сумма затрат на электроэнергию 7,84+6,72+56= 70,56 *руб*.
Принимаем примерно 71 руб.

Затраты на расходные материалы:
– круг отрезной 6*шт*.· 250 *руб./шт*. = 1500 *руб*.;
– сверла – 500 *руб*.;
– электроды 60 *шт*.·20 *руб*. = 1200 *руб.*

Сумма затрат расходных материалов равна (1500 +500 + 1200) = **3200** *руб*.

Сумма затрат на изготовление оригинальных деталей равна (15200+71+ 3200) = **18471** *руб*.

Затраты на сборку конструкции:

Затраты на оплату труда рабочих на сборку:
– затраты на монтаж генераторного блока 200 *руб./ч*· 2*ч* = 400 *руб*.;
– монтаж электропроводок и защитной аппаратуры 200 *руб./ч*· 2*ч* = 400 *руб*.;
– монтаж резонаторных камер 200 *руб./ч*·6*ч* = 1200 *руб*.;
– монтаж электропривода 200 руб./*ч*·2*ч* = 400 *руб*.;
– затраты на общую пуско-наладку установки 200 руб./*ч* ·2*ч* = 400 *руб*.
Сумма *затрат на сборку конструкции* равна 400 + 400 + 1200 + 400 + 400 = **2800** *руб.*
Сумма затрат труда на изготовление оригинальных деталей и затрат на сборку конструкции: 18471 + 2800 = **21271** *руб*.

6. Балансовая стоимость установки: **69450 + 21271 = 90721 *руб.***

Округляем балансовую стоимость проектируемой многомодульной центробежной сверхвысокочастотной установки непрерывно-поточного действия для термообработки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения до **90000 руб.**

Технико-экономическая оценка проекта

II. Эксплуатационные расходы на термообработку и обеззараживания непищевых мясных отходов в многомодульной центробежной СВЧ установке непрерывно-поточного действия за 1 месяц по проектному варианту

Эксплуатационные расходы включают в себя затраты на основные и вспомогательные материалы, заработную плату обслуживающего персонала, затраты на энергию, техническое обслуживание и ремонт установки, амортизационные отчисления, прочие расходы.

Производительность многомодульной СВЧ установки составляет 200 кг/ч:
- за смену 200·7 = 1400 кг/*смену;*
- за месяц (16-17 рабочих дней) 1400·16 = 22400 кг/месяц (остальные дни техническое обслуживание);
- за год (200 рабочих дней) 1400·200 = **280** т/год.

1. Затраты на оплату труда: 28344,36·1 / 25 *раб. дней* = 1133,77 *руб/смену.*

Затраты на оплату труда оператора, обслуживающего установку:

8800·1,09 · 1,5 · 1,97 = **28344,36** *руб/месяц при 7 часовой работе.*

Минимальная оплата труда оператора 1 разряда составляет 8800 руб. (МРОТ);
1,09 – тарифный коэффициент работника 3 разряда;
1,97 – общий коэффициент всех доплат и начислений к тарифной ставке;
1,5 – отраслевой коэффициент за условие труда.

2. Затраты на электроэнергию

Потребляемая мощность СВЧ установки составляет 11 кВт (мощность шести СВЧ генераторов – 7,2 кВт, мощность шести измельчителей – 1,8 кВт, электропривод шести центрифуг 6 ·0,32 = 1,92 кВт, мощность насоса – 0,1 кВт, итого 11 кВт). (11/200 = 0,055 кВт·ч/кг).

0,055 ***кВт·ч/кг*** ·22400 *кг/месяц* · 2,8 *руб./ кВт·ч* = **3449,6** *руб/месяц;*

3. Амортизационные отчисления на 1 месяц от балансовой стоимости конструкции*: норма амортизации* – 20% в год.

$A \cdot 0{,}2 \cdot 1 / 12_{месяцев} = 90000 \cdot 0{,}2 \cdot 1 / 12 =$ **1500** *руб/месяц,*

где A – балансовая стоимость конструкции, руб.

4. Текущий ремонт *(норма 24% в год):*

$T_р = 90000\ 0{,}24 \cdot 1 / 12 =$ **1800** *руб/месяц.*

5. Прочие расходы:

$П_р = (28344{,}36 + 3449{,}6 + 1500 + 1800) \cdot 0{,}05 = 1754{,}7$ *руб./месяц.*

6. Общехозяйственные и общепроизводственные расходы:

$Р_{ох} = (28344{,}36 + 3449{,}6 + 1500 + 1800 + 1754{,}7) \cdot 0{,}15 =$ **5527,3** *руб./месяц.*

Общая сумма эксплуатационных расходов:

28344,36 + 3449,6 + 1500 + 1800 + 1754,7 + 5527,3 = 42376 *руб./месяц.*

Себестоимость эксплуатационных затрат на термообработку непищевых отходов в СВЧ установке 42376 / 22400 **= 1,89** *руб./ кг.*

Цена сырья на 10.12.2016 г. в среднем составляет 10 руб./кг.

22400 кг/месяц·10 *руб.*/кг = 672000 *руб./месяц.*

7. Себестоимость термообработанного и обеззараженного продукта по проектному варианту: 10 +1,89 = **11,89** *руб / кг.*

III. Эксплуатационные расходы на термообработку и обеззараживание непищевых отходов убоя животных по базовому варианту

За базовый вариант принимаем вакуумную микроволновую многомодульную установку серии «***Муссон»*** периодического действия (рис. 5.2). Контейнеры с продуктом помещаются внутрь камер. Перемешивание продукта осуществляется вращением контейнеров. Магнетроны расположены на торцах цилиндрических камер. Вакуум создается общим водокольцевым насосом. Для эффективной конденсации паров предусмотрены внешние охлаждающие «рубашки», куда подается вода или антифриз. Охлаждение магнетронов обеспечи-

вает внешний радиальный вентилятор. Установка предназначена для сушки многих продуктов, в том числе мяса, рыбы и др. Одновременная загрузка сырья до 50 кг, габариты 1350х800х2120 мм. Стоимость конфискованной установки Муссон 2 (б/у) в Сахалинской области 350 тыс. руб., а новый – 600 тыс. руб. Выпускает ООО» РТК», г. Таганрог. Потребляемая мощность Муссон-2 составляет 12,5 кВт, производительностью 200 кг/ч.

Производительность:
- за смену 200 ·7 = 1400 кг/*смену;*
- за месяц (16…17 рабочих дней) 1400·16 = 22400 кг/месяц;
- за год (200 рабочих дней) 1400·200 = 280 т/год.

1. Затраты на оплату труда:

28344,36·1/25 *раб. дней* = 1133,77 *руб/смену.*

Рисунок 5.2 – Вакуумная микроволновая установка «Муссон 1» периодического действия

Затраты на оплату труда оператора, обслуживающего установку:
8800·1,09·1,5·1,97 = **28344,36** *руб/месяц при 7 часовой работе.*
Минимальная оплата труда оператора 1 разряда составляет 8800 руб. (МРОТ);
1,09 – тарифный коэффициент работника 3 разряда;
1,97 – общий коэффициент всех доплат и начислений к тарифной ставке;
1,5 – отраслевой коэффициент за условия труда.

2.1. Затраты на электроэнергию. Потребляемая мощность вакуумной микроволновой установки Муссон-2 составляет 12,5 кВт. Тогда при производительности 200 кг/ч, энергетические затраты равны 12,5/200 = 0,0625 *кВт·ч/кг*.
0,0625 *кВт·ч/кг* ·22400 *кг/месяц* ·2,8 *руб./кВт·ч* = **3920** *руб./месяц.*

2.2. Затраты на воду. Расход воды 6,6 *л/мин.* = 396 *л/ч* = 2772 *л/сутки* = 44352 *л/месяц* = 44,35 *м*^{3}*/ месяц*. Стоимость воды 16,58 руб./м^3, тогда затраты на воду 16,58·44,35 = **735,32** *руб./месяц.*

3. Амортизационные отчисления на 1 месяц от балансовой стоимости конструкции*: норма амортизации* – 20% в год.

А = Б·0,2·1/12$_{месяцев}$ = 350000·0,2·1/12 = 5833,33 *руб./месяц,*

где *Б* – балансовая стоимость установки, руб.

4. Текущий ремонт *(норма 24% в год):*

$T_р$ = 350000·0,24·1/12 = 7000 *руб./месяц.*

5. Прочие расходы:

$П_р$ = (28344,36+3920+735,32+5833,33 +7000)·0,05 = 2291,65 *руб./месяц.*

6. Общехозяйственные и общепроизводственные расходы:

$Р_{ох}$ = (28344,36+3920+735,32+5833,33 +7000+2291,65)·0,15=7218,7 *руб./месяц.*

Общая сумма эксплуатационных расходов:

28344,36+3920+735,32+5833,33 +7000+2291,65+7218,7 = **55343,36** *руб./месяц.*

Себестоимость эксплуатационных затрат на термообработку непищевых отходов убоя животных и птиц

55343,36 *руб/месяц* / 25760 *кг/месяц* = 1,925 *руб./ кг.*

Цена сырья на 10.12.2016 г. в среднем составляет 10 *руб./кг,* тогда

22400 *кг/месяц* ·10 *руб./кг* = 224000 *руб./месяц.*

7. Себестоимость термообработанного и обеззараженного продукта по базовому варианту: 10 + 1,925 = **11,93** *руб./кг.*

Экономические показатели внедрения многомодульной центробежной СВЧ установки для термообработки непищевого сырья животного происхождения сведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4 – Экономические показатели внедрения многомодульной центробежной СВЧ установки для термообработки непищевого сырья животного происхождения

№	Показатели	Базовая	Проектная
1	Балансовая стоимость, *руб.*	350000	91000
2	Производительность установки, *кг/ч*	200	200
3	Потребляемая мощность, *кВт*	12,5	11.2
4	Потребляемая электроэнергия, *кВт·ч/кг*	0,0625	0,055
5	Эксплуатационные расходы на термообработку сырья, *руб./ месяц*	49583,45	42376
6	Себестоимость расходов на термообработку сырья, *руб./кг*	1,93	1,89
7	Цена непищевых отходов, *руб./кг*	10	10
8	Себестоимость термообработанного продукта, *руб./кг*	11,93	11,89
9	Цена реализации продукта, *руб./кг*	50	50
10	Прибыль, руб./кг (чистый доход)	38, 07	38,11
11	Объем выработанной продукции, *кг/ месяц*	22400	22400
12	Капитальные затраты, *руб./(кг/месяц)* (балансовая стоимость /объем выработанной продукции)	15,625	4,063
13	Экономический эффект, *руб./месяц* (разность приведенных затрат) [(1,93+0,2·15,625)-(1,89+0,2·4,063)]·22400 = **52693,76**		
14	Рентабельность, *%* (чистый доход/себестоимость продукции)·100	319	321
15	Повышение рентабельности при объеме выпускаемой продукции 22400 *кг/месяц, %*	-	2
16	Срок окупаемости, *месяц* (балансовая стоимость/экономический эффект)		1,73

Экономический эффект от применения многомодульной центробежной СВЧ установки *непрерывно-поточного действия* для термообработки и обезза-

раживания непищевых отходов животного происхождения по сравнению вакуумной микроволновой установкой «Муссон 1» *периодического действия* составляет в пределах 632 тыс. руб./год за счет снижения эксплуатационных затрат при объеме выработанной продукции 280 тонн в год. Повышения рентабельности не происходит.

5.2 Экономическая оценка изготовленной СВЧ установки непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором для термообработки вторичного сырья животного происхождения

Для фермерских хозяйств изготовлен образец СВЧ установки с комбинированным резонатором (рис. 5.3). При этом установка осуществляет предварительное измельчение сырья, далее центрифугирование, а термообработку и обеззараживание выделенной твердой фракции непищевого сырья в комбинированном резонаторе, и выгрузку вареного белкового корма через запредельный волновод с шаровым краном.

Рисунок 5.3 – Образец СВЧ установки с комбинированным резонатором и с тремя источниками излучений

Отличительной особенностью данной установки по сравнению с первым вариантом является то, что жидкая фракция не подвергается термообработке, тем самым энергозатраты ниже, и сам готовый продукт – рассыпчатый, а не вязкий. Технические характеристики СВЧ установки с комбинированным резонатором и тремя источниками излучений приведены в табл. 5.7.

Стоимость конструкции изготовленного образца СВЧ установки

Таблица 5.5 – Стоимость материалов

№ п/п	Наименование	Размерность	Всего, *руб.*
1	Металлический уголок, 50×50×4 мм (монтажные стойки)	5 п/м	500
2	Алюминиевый лист, 2500×1200×3 мм (экранирующий корпус)	0,5 листа	2000
	Итого		**2500**

Таблица 5.6 – Стоимость покупных изделий

№ п/п	Наименование	Размерность	Цена 1 шт., *руб.*	Всего, *руб.*
1	Микроволновая печь, 0,7 кВт	3 шт.	2600	7800
2	Соковыжималка «Нептун»	1 шт.	4600	4600
	Измельчитель «Волчек», 1,8 кВт, 1,8 кг/мин	1 шт.	2500	2500
3	Электродвигатель для мешалки, 0,1 кВт	1 шт.	300	300
4	Электродвигатель для вентилятора, 0,5 кВт	1 шт.	500	500

5	Стиральная машина «Волна», бу.	1 шт.	500	500
6	Электронагреватель	1 шт.	500	500
6	Крепежные элементы (саморезы, заклепки)	50 шт.	0,5	250
7	Кабель четырехжильный	5 м	200	1000
8	Розетки с вилкой	8 шт.	200	1600
9	Диэлектрические емкости	2 шт.	250	500
9	Шкаф с 8 автоматическими выключателями	1 шт.	1500	1500
10	Краска	1 шт.	250	250
11	Итого	–	–	**31000**
12	Общая сумма расходов на материалы и покупные изделия			**33500**

Таблица 5.7 – Технические характеристики СВЧ установки

Производительность, кг/ч	30-40
Потребляемая мощность СВЧ установки, кВт	6,08
Потребляемая мощность СВЧ установки без измельчителя, кВт	4,28
Мощность электродвигателя вентилятора , кВт	0,24
Мощность перемешивающего диска, кВт	0,32
Мощность измельчителя, кВт	1,8
Мощность центрифуги, кВт,	0,32
Потребляемая мощность трех СВЧ генераторов, кВт	3,4
Удельные энергетические затраты без измельчения, кВт·ч/кг	0,11-0,14
Габаритные размеры, м	0,8х0,8х1,5

Затраты на изготовление оригинальных деталей

Затраты на оплату труда рабочих:

Разрядная ставка рабочего составляет 100 руб/ч:

– дополнительная оплата 100 · 0,3 = 30 *руб.*;

– доплата за стаж (100 + 8,4) · 0,1 =12 *руб.*;

– отпускные (100 + 10,5 + 4,78)· 0,0834 = 9,614 *руб.*;

– оплата труда 100 + 30 + 12 + 9,614 = 151,614 *руб.*;

– страховые взносы 151,614 · 0,32 = 48,39 *руб.*

Общие затраты на оплату труда на одного чел.- ч.: 151,614 + 48,39 = **200** *руб./ч.*

Затраты труда на изготовление и монтаж оригинальных деталей:

1) изготовление каркаса для монтажа установки 2· 200 = 400 *руб.*;

2) изготовление крепежных элементов для монтажа *трех магнетронов* на рабочую камеру 3·200 = 600 *руб.*;

3) изготовление крепежных элементов для монтажа *центрифуги,* предназначенной для обезвоживания непищевых отходов убоя животных

5·200 = 1000 *руб.*;

4) изготовление крепежных элементов для монтажа *измельчителя «Волчек»* на каркас 2 ·200 = 400 *руб.*;

5) монтаж контрольно-измерительной аппаратуры, шкафа управления с автоматическими выключателями, электропроводок и т.п. 5·200 = 1000 *руб.*

Сумма затрат труда на изготовление и монтаж оригинальных деталей равна (400+600+1000+400+1000) = **3400** *руб*.

Затраты на электроэнергию при использовании:

2) электродрели 4 · 0,7 ·2,8 = 7,84 *руб*.:

– количество часов работы – 4 *ч*;

– мощность электродрели – 0,7 *кВт*;

– стоимость электроэнергии – 2,8 *руб/ кВт·ч*.

2) углошлифовальной машины 4 · 0,6 · 2,8 = 6,72 *руб*.:

- количество часов работы – 4 *ч*.;

- мощность – 0,6 *кВт*.

3) сварочного аппарата 4 · 5 · 2,8 = 56 *руб*.:

- количество часов работы – 4 *ч*.;

- мощность – 5 *кВт*.

Сумма затрат на электроэнергию 7,84+6,72+56= 70,56 *руб*.

Принимаем примерно **70** *руб*.

Затраты на расходные материалы:

– круг отрезной 2 *шт*.· 250 *руб./шт*. = 500 *руб*.;

– сверло – 200 *руб*.;

– электроды 5 *шт*.·20 *руб*. = 100 *руб.*

Сумма затрат расходных материалов равна (500 +200 + 100) = **800** *руб*.

Сумма затрат на изготовление оригинальных деталей равна (3400+70+ 800) = **4270** *руб*.

Затраты на сборку конструкции:

Затраты на оплату труда рабочих на сборку:

– затраты на монтаж трех магнетронов 200 *руб./ч*· 1 *ч* = 200 *руб*.;

– монтаж электропроводок и защитной аппаратуры 200 *руб./ч*· 1,5 *ч* = 300 *руб*.;

– монтаж резонаторной камеры 200 *руб./ч*·1 *ч* = 200 *руб*.;

– монтаж диэлектрических элементов в резонаторной камере 200 *руб./ч*·1 *ч* = 200 *руб*.;

– монтаж измельчителя «Волчек» 200 *руб./ч*·1,5 *ч* = 300 *руб*.;

– монтаж центрифуги «Нептун» 200 *руб./ч*·1,5 *ч* = 300 *руб*.;

– монтаж электропривода перемешивающего механизма в приемном лотке 200 руб./*ч*·1 *ч* = 200 *руб*.;

– затраты на общую пуско-наладку установки 200 руб./*ч* · 1,5 *ч* = 300 *руб*.

Сумма *затрат на сборку конструкции* равна **2000** *руб*.

Сумма затрат труда на изготовление оригинальных деталей и затрат на сборку конструкции: 4270 + 2000 = **6270** *руб*.

6. Балансовая стоимость установки:* 33500 + 6270 = 39770 *руб.

Округляем балансовую стоимость проектируемой СВЧ установки с тремя магнетронами в комбинированном резонаторе для термообработки непищевых отходов животного происхождения до **40000 руб.**

IV. Эксплуатационные расходы на термообработку непищевых мясных отходов в СВЧ установке с тремя источниками в комбинированном резонаторе за 1 месяц по проектному варианту

Производительность СВЧ установки 100 кг/ч влажных непищевых отходов убоя животных. Производительность установки по термообработке и обеззараживанию ***твердой фракции*** сырья 40 кг/ч.

(40·7·25 = 7000 кг/месяц, 84 т/год).

1.1. Затраты на оплату труда оператора, обслуживающего установку составляют 8800·1,09·1,2·1,97 = 22675,5 *руб/месяц,*

где 8800 руб. – минимальная оплата труда оператора 1 разряда; 1,09 – тарифный коэффициент работника 3 разряда; 1,2 – отраслевой коэффициент за условие труда; 1,97 – общий коэффициент всех доплат и начислений к тарифной ставке.

1.2. Затраты на электроэнергию: (с учетом мощности измельчителя)
0,2 кВт·ч/кг ·7000 кг/месяц · 2,8 руб./ кВт·ч = 3920 руб/месяц.

1.3. Амортизационные отчисления: 40000· 0,2 / 12 = 666,67 руб/месяц.

1.4. Текущий ремонт: 40000·0,24 / 12 = 800 руб/месяц.

1.5. Прочие расходы: (22675,5+3920+666,67 +800)·0,05 = 1403 руб./месяц.

1.6. Общехозяйственные и общепроизводственные расходы:
(22675,5+3920+666,67 +800)·0,15 = 4209 руб./месяц.

1.7. Общая сумма эксплуатационных расходов:
22675,5+3920+666,67 +800+1403+4209 = 33674 руб./месяц.

1.8. Себестоимость эксплуатационных затрат на термообработку непищевых отходов в СВЧ установке: 33674 / 7000 = 4,81 руб./кг.

1.9. Себестоимость термообработанного и обеззараженного продукта по проектному варианту:

Если цена сырья на 10.11.2017 г. составляет 10 руб./кг, то себестоимость продукта 10 +4,81 = 14,81 руб / кг.

*V. Эксплуатационные расходы на термообработку и обеззараживание непищевых отходов убоя животных по **базовому варианту***

За базовый вариант принимаем многофункциональную СВЧ установку ***повторно-периодического*** действия для обработки и сушки сыпучих материалов МСУ-1,5. Это опытный образец, разработанный в ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ», стоимостью 400 тыс. руб. (рис. 5.4)
[apkrb.info›sites…files…mnogofunkcionalnayasvch.pdf]. [252].

Без учета компьютера, контрольно- измерительной аппаратуры, измерителя уровня ЭМИ стоимость установки составляет 200 тыс. руб

Рисунок 5.4 – Микроволновая сушильная установка МСУ-1,5: 1 – персональный компьютер; 2 – контрольно-измерительная аппаратура; 3 – загрузочный бункер; 4 – блок управления; 5 – измеритель уровня электромагнитного фона; 6 – вытяжная вентиляция; 7 – корпус установки; 8 – мотор-редуктор; 9 – выгрузное устройство; 10 – высушенный материал

Таблица 5.8 – Технические характеристики установки МСУ-1,5

Количество магнетронов, шт.	2
Микроволновая мощность, кВт	3,6
Режим работы	повторно-периодический
Мощность вытяжной вентиляции, кВт	1,2
Мощность мотора-редуктора, кВт	1,2
Потребляемая мощность, кВт	6,0
Производительность, кг/ч	60
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,1
Габаритные размеры установки, мм	1800x1000x1700

Установка включает следующие узлы:

- магнетроны, которые крепятся снаружи с задней стороны камеры;
- блок питания магнетронов, расположенные снаружи установки с задней стороны;
- СВЧ волноводы, находящиеся внутри установки и служащие для ввода энергии внутрь камеры и передачи ее посредством излучающей системы, к сырью;
- реверсивные осевые вентиляторы, необходимые для удаления влаги с поверхности сырья;
- парогенератор, служащий для распаривания сырья и поддержания влажности носителя в соответствии с технологией;
- систему водоснабжения (радиаторы, расположенные внутри камеры и служащие для охлаждения магнетронов и дополнительного нагрева воздуха в камере);
- систему автоматического регулирования и контроля технологического процесса.

Производительность установки 60 кг/ч (10500 кг/месяц; 126 т/год).

2.1. Затраты на оплату труда обслуживающего установку 22675,5 руб/месяц.

2.2. Затраты на электроэнергию: 0,1 *кВт·ч/кг*·10500 *кг/месяц* ·2,8 *руб./кВт·ч* = 2940 руб./месяц.

2.3. Амортизационные отчисления: 200000·0,2·1/12 = 3333,33 руб./месяц.

2.4. Текущий ремонт: 200000·0,24·1/12 = 4000 руб./месяц.

2.5. Прочие расходы: (22675,5+2940+3333,33+4000)·0,05 = 2014 руб./месяц.

2.6. Общехозяйственные и общепроизводственные расходы:
(22675,5+2940+6666,67+8000+2014)·0,15 = 5947 руб./месяц.

2.7. Общая сумма эксплуатационных расходов:
22675,5+2940+6666,67+8000+2014+5947 = 48243 руб./месяц.

2.8. Себестоимость эксплуатационных затрат на термообработку непищевых отходов убоя животных: 48243*руб/месяц* / 10500 *кг/месяц* = 4,59 руб./кг.

2.9. *Себестоимость термообработанного и обеззараженного продукта по базовому варианту*: 10 +4,59 = 14,59 руб./кг.

Результаты оценки технико-экономических показателей применения СВЧ установки для термообработки непищевых отходов сведены в табл. 5.9.

Таблица 5.9 – Экономические показатели внедрения СВЧ установки

Показатели	Базовая, МСУ-1,5	Проектная
Балансовая стоимость, *руб.*	200000	40000
Производительность установки, *кг/ч*: - непищевые отходы, влажностью 65%; - твердая фракция, влажностью 30…35%	 60	 100 40
Потребляемая мощность, *кВт*	6,0	4,28
Потребляемая электроэнергия, *кВт·ч/кг* (с учетом мощности измельчителя)	0,1	0,2
Эксплуатационные расходы на термообработку сырья, *руб./ месяц*	48243	33674
Себестоимость расходов на термообработку сырья, *руб./кг*	4,59	4,81
Цена непищевых отходов, *руб./кг*	10	10
Себестоимость термообработанного продукта, *руб./кг*	14,59	14,81
Цена реализации продукта, *руб./кг*	50	50
Прибыль, *руб./кг*	35,41	35,19
Объем выработанной продукции, *кг/ месяц*	10500	7000
Капитальные затраты, *руб./(кг/месяц)*	38,09	5,71
Экономический эффект (4,59+0,2·38,09)·10500 -(4,81+0,2·5,71) 7000 = **86520** *руб./месяц*		
Рентабельность, *%*	771	731
Срок окупаемости, *месяц*	менее месяца	

Эффект от применения СВЧ установки с комбинированным резонатором для термообработки и обеззараживания непищевого мясного сырья по сравне-

нию с опытным образцом (ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ») микроволновой установки повторно-периодического действия для сушки сыпучих материалов МСУ-1,5 составляет 86 тыс. руб/месяц за счет снижения эксплуатационных затрат при объеме выработанной продукции 84 тонны в год.

VI. Эксплуатационные расходы на термообработку и обеззараживание непищевых отходов убоя животных по ***базовому варианту***

За базовый вариант принимаем экструдер кормов ЭК-40 (рис. 5.6) стоимостью 88 тыс. руб. Технические характеристики приведены в табл. 5.10.

Рисунок 5.6 – Экструдер кормов ЭК-40 (ООО ВЦПО «Фавор», г. Волгоград) [agroserver.ru›Торговая площадка›kormovoy-ekstruder-ek-40] [254]

Таблица 5.10 – Технические характеристики экструдера ЭК-40

Потребляемая мощность, кВт	4,0
Производительность, кг/ч	40
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,1
Габаритные размеры установки, мм	600х600х1200
Масса, кг	90

Производительность установки 40 кг/ч (40·7·25 = 7000 кг/месяц, 84 т/год).

2.1. Затраты на оплату труда персонала, обслуживающего установку 22675,5 руб/месяц.

2.2. Затраты на электроэнергию: 0,1 *кВт·ч/кг*·7000 *кг/месяц* ·2,8 *руб./кВт·ч* = 1960 руб./месяц.

2.3. Амортизационные отчисления: 88000·0,2·1/12 = 1466,67 руб./месяц.

2.4. Текущий ремонт: 88000·0,24·1/12 = 1760 руб./месяц.

2.5. Прочие расходы: (22675,5+1960+1466,67+1760)·0,05 = 13931 руб./месяц.

2.6. Общехозяйственные и общепроизводственные расходы:
(22675,5+1960+1466,67+1760+13931)·0,15 = 6269 руб./месяц.

2.7. Общая сумма эксплуатационных расходов:
22675,5+1960+1466,67+1760+13931+6269 = **48062** руб./месяц.

2.8. Себестоимость эксплуатационных затрат на термообработку непищевых отходов убоя животных: 48062 *руб/месяц* / 7000 *кг/месяц* = 6,87 руб./кг.

2.9. Себестоимость термообработанного и обеззараженного продукта по базовому варианту: 10 +6,87 = 16,87 руб./кг.

Результаты оценки технико-экономических показателей применения СВЧ установки для термообработки непищевых отходов сведены в табл. 5.11.

Таблица 5.11 – Экономические показатели внедрения СВЧ установки

Показатели	Базовая, ЭК-40	Проектная
Балансовая стоимость, *руб.*	88000	40000
Производительность установки, *кг/ч*: (твердая фракция, влажностью 35…40%)	40	40
Потребляемая мощность, *кВт*	4,0	4,28
Потребляемая электроэнергия, *кВт·ч/кг*	0,1	0,107
Эксплуатационные расходы на термообработку сырья, *руб./ месяц*	48062	33674
Себестоимость расходов на термообработку сырья, *руб./кг*	6,87	4,81
Цена непищевых отходов, *руб./кг*	10	10
Себестоимость термообработанного продукта, *руб./кг*	16,87	14,81
Цена реализации продукта, *руб./кг*	50	50
Прибыль, руб./кг (чистый доход)	33,13	35,19
Объем выработанной продукции, *кг/ месяц*	7000	7000
Капитальные затраты, *руб./(кг/месяц)* (балансовая стоимость /объем выработанной продукции)	12,57	5,71
Экономический эффект [(6,87+0,2·12,57) - (4,81+0,2·5,71)] 7000 = 24024 *руб./месяц*		
Рентабельность, *%* (чистый доход/себестоимость продукции)·100%	196	238
Повышение рентабельности, %		42
Срок окупаемости, *месяц* (балансовая стоимость/экономический эффект)	два месяца	

Годовой экономический эффект от применения СВЧ-установки непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором для термообработки и обеззараживания непищевого мясного сырья по сравнению с экструдером ЭК-40 составляет 288 тыс. руб. За счет снижения эксплуатационных затрат при объеме выработанной продукции 84 тонны повышена рентабельность – на 42%, срок окупаемости составит два месяца. Повышения энергетических затрат до 0,24-0,26 кВт×ч/кг при экструдировании смеси измельченных отходов животного происхождения с растительным наполнителем.

В таблице 5.12 приведены результаты оценки экономической эффективности применения СВЧ установок непрерывно-поточного действия с коническими резонаторами и комбинированным резонатором в сравнении с СВЧ установками периодического действия Муссон-2 и МСУ-1,5, а также с экструдером кормов ЭК-40, обеспечивающим одновременно термообработку сырья.

Таблица 5.12 – Сравнительная оценка экономической эффективности применения СВЧ установок разного конструкционного исполнения

1	2	3
Проектные варианты		
Многомодульная центробежная СВЧ установка непрерывно-поточного действия	СВЧ установка непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором	СВЧ установка непрерывно поточного действия с комбинированным резонатором
Производительность 200 кг/ч; Мощность 11 кВт; Удельные энергетические затраты 0,055 кВт·ч/кг	Производительность 40 кг/ч; Мощность 4 кВт; Удельные энергетические затраты 0,11-0,2 кВт·ч/кг	Производительность 40 кг/ч; Мощность 4 кВт; Удельные энергетические затраты 0,11-0,2 кВт·ч/кг
Базовые варианты		
СВЧ установка Муссон-2 периодического действия	СВЧ установка МСУ-1,5 периодического действия	Экструдер кормов ЭК-40
Производительность 200 кг/ч; Мощность 12,5 кВт; Удельные энергетические затраты 0,06 кВт·ч/	Производительность 60 кг/ч; Мощность 6 кВт; Удельные энергетические затраты 0,06 кВт·ч/	Производительность 40 кг/ч; Мощность 4 кВт; Удельные энергетические затраты 0,1 кВт·ч/
Экономический эффект 52693 руб/месяц	Экономический эффект 86520 руб/месяц	Экономический эффект 24024 руб/месяц

Разработанная и изготовленная СВЧ установка с комбинированным резонатором при соблюдении рациональной дозы воздействия ЭМПСВЧ обладает производительностью 40 кг/ч, при этом энергетические затраты на термообработку и обеззараживания предварительно измельченного вторичного сырья без обезвоживания 0,15-0,2 кВт·ч/кг, а при предварительном обезвоживании – 0,11-0,13 кВт·ч/кг. Применение СВЧ установки, производительностью до 200 кг/ч позволяет получить годовой экономический эффект более 600 тыс. руб.

5.3 Меры предосторожности при обслуживании СВЧ установок для термообработки непищевого сырья

При работе с сверхвысокочастотными установками необходимо принять основные меры предосторожности для снижения рисков попадания под воздействие микроволновой энергии. Перед работой с СВЧ установками внимательно следует прочитать все инструкции. Каждую установку следует применять только по ее предназначению согласно условиям, представленным в «Руководстве». Не применять агрессивные химические средства в СВЧ установках. Разработанные установки предназначены для варки и обеззараживания непищевых отходов мясокомбината. От эксплуатации СВЧ установок вхолостую следует воз-

держаться. Для снижения опасности возникновения пожара в рабочей камере установку следует постоянно проверять на возможность воспламенения продукта, тары. При появлении дыма необходимо выключить установку, но не открывать дверцу рабочей камеры для того, чтобы огонь быстрее погас. Нельзя использовать рабочую камеру для хранения каких-либо предметов. Нельзя разогревать непищевые отходы в плотно закрытых контейнерах, так как это может привести к их взрыву. Все работы, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом, сопровождаемые демонтажем предохранительных элементов, защищающих от потока СВЧ энергии, должны производиться только специально подготовленным техническим персоналом. Данный аппарат относится к оборудованию группы 2, класса В. Данные установки предназначены к применению лицами, имеющими опыт и необходимые знания для работы с СВЧ установками, они должны пройти инструктаж по эксплуатации радиоволновых установок СВЧ нагрева и их применения.

Предложение по совершенствованию микроволновых технологий термообработки и обеззараживания сырья и технических средств, предназначенных для реализации в фермерских хозяйствах - оснащение современной дистанционной контрольно-измерительной техникой. Это предотвратило бы непреднамеренное излучение СВЧ-энергии при непрерывном режиме работы установки, что обеспечивало бы экологически чистое ее функционирование. Совокупность обоснованных научных положений открывает перспективы совершенствования микроволновых технологий и радиогерметичных установок с маломощными генераторами для термообработки сырья в непрерывном режиме, обеспечивающих снижение эксплуатационных затрат в условиях фермерских хозяйств.

Стратегическая программа исследований технологической платформы «СВЧ технологии» утверждена 17.12.2012 г. на заседании Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли РФ. В России технологии создания изделий СВЧ электроники отнесены к критичным технологиям. Это устройства, отличающиеся по назначению, физическому

принципу действия, конструкции. Для реализации требуемых электрических и эксплуатационных характеристик разрабатываются новые конструкции и технологии СВЧ электроники. Анализ разработок мировых производителей СВЧ устройств позволяет выявить основные тенденции и перспективы развития – это снижение габаритных размеров, расширение диапазона рабочих частот, повышение стабильности параметров в процессе эксплуатации и воздействия внешних факторов, контроль технологических параметров с обратной связью, разработка особой контрольно-измерительной аппаратуры на основе стандартных измерительных систем. В перспективе не просто разработать аналоги конкретных электронных компонентов СВЧ техники, а создать технологическую базу, позволяющую проектировать СВЧ устройства с заданными техническими и эксплуатационными характеристиками. В настоящее время в рамках Федеральных целевых программ реализуется ряд проектов, направленных на создание перспективных СВЧ устройств различного функционального назначения, в том числе для сельскохозяйственных технологических процессов.

Основными элементами СВЧ установки являются резонатор, магнетрон, волновод, блок питания, системы охлаждения и различные устройства обеспечения безопасности. При этом элементы микроконтроллера реализованы без обратной связи с параметрами технологического процесса и выполняют только функцию таймера, т.е. эффективное использование его ограничено из-за отсутствия обратной связи о текущем состоянии продукта, а это приводит к ухудшению его качества. К тому же параметры окружающей среды также требуют коррективы в режиме воздействия ЭМПСВЧ. Следовательно, для гарантированного качества обработанного продукта необходимо наличие *элементов обратной связи***,** реагирующих на косвенные изменения качества продукта (например, температура продукта, начало парообразования, влажность в камере, физико-химический состав продукта и т.п.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе системного анализа существующих технологий и СВЧ техники разработаны методологические основы создания радиогерметичной СВЧ установки непрерывно-поточного действия с маломощными магнетронами, реализующей технологию термообработки вторичного сырья животного происхождения для сохранения кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах.

2. Разработана модель функционирования многогенераторных СВЧ установок непрерывно-поточного действия с нетрадиционными резонаторами и запредельными волноводами, обеспечивающими термообработку предварительно измельченного вторичного сырья в процессе обезвоживания, имеющими рациональные конструкционно-технологические параметры, новизна технических решений которых доказана 23 патентами на изобретения. Проведена оценка соответствия каждого резонатора критериям функционирования установки, путем расчета наименьших отклонений от оптимальных значений.

3. Полученные аналитические зависимости для обоснования параметров электродинамической системы с нетрадиционными резонаторами, и математические выражения, описывающие динамику нагрева сырья при изменении электрофизических и физико-механических параметров в процессе воздействия ЭМПСВЧ,

позволяют согласовать собственную добротность (5000-9000) и объем резонатора (17-28 л) с напряженностью электрического поля (1,2-3,5 кВ/см) и скоростью нагрева сырья (0,6-0,8^{o}C/c).

4. Обоснованы параметры электродинамической системы с визуализацией распределения ЭМП в резонаторах в программе CST Microwave Studio в режиме переходного процесса с выявлением их эффективных исполнений, обеспечивающих высокую напряженность ЭП, высокую собственную добротность и соблюдение электромагнитной безопасности. Результаты вычисления и визуализации распределения ЭМП в сферическом, цилиндрическом, тороидальном, шнековом, биконическом, тетроконическом, коаксиальном и комбинированном

резонаторах позволили:

- *выявить* эффективные конфигурации резонаторов в соответствии с критериями проектирования;

- комплексно *оценить* основные параметры электродинамической системы «генератор-резонатор», а именно собственную добротность резонатора и напряженность электрического поля.

Максимальной собственной добротностью (8000-10000) обладает сферический резонатор, где напряженность ЭП с тремя магнетронами достигает 0,6-1,0 кВ/см; далее биконический резонатор (7098), где напряженность ЭП 0,6-3,5 кВ/см; собственная добротность цилиндрических резонаторов (перфорированных, щелевых) не превышает 6530, в них напряженность ЭП равна 0,6-1,6 кВ/см; в тетроконических и тороидальных резонаторах с собственной добротностью 4000-6000 можно возбудить ЭП напряженностью до 3,5 кВ/см; в изготовленном комбинированном резонаторе с собственной добротностью 9270 напряженность ЭП составляет 0,6-3,5 кВ/см.

5. Обоснован комплекс конструкционно-технологических параметров и режимов работы СВЧ установок и составлен алгоритм их согласования с учетом выявленных эмпирических зависимостей, регрессионных моделей и результатов исследований физико-механических, микробиологических и органолептических показателей, характеризующих кормовую ценность сырья. При соблюдении рациональной дозы воздействия ЭМПСВЧ, общее микробное число в белковом продукте снижается с 1,2 до 0,5 млн КОЕ/г; производительность установки достигает до 30-40 кг/ч при энергетических затратах на термообработку и обеззараживания предварительно измельченного вторичного сырья без обезвоживания 0,15-0,2 кВт·ч/кг, а при предварительном обезвоживании – 0,11-0,13 кВт·ч/кг.

Разработанная технология термообработки непищевого мясного сырья, созданная СВЧ установка с комбинированным резонатором обеспечивают повышение кормовой ценности белкового продукта на 5 баллов по сравнению с

традиционной технологией из максимально возможных 15 при соблюдении нормы электромагнитной безопасности, оцененной по значению плотности потока энергии, не превышающей 50 мкВт/см^2, при работе до 4 часов в сутки.

6. Апробированная в производственных условиях СВЧ установка 3-4 магнетронами малой мощности (700-800 Вт) с комбинированным резонатором, производительностью 30-40 кг/ч (в зависимости от вида вторичного сырья), имеющим кольцевую щель размером менее, чем четверть длины волны, образованной между соосно расположенными полусферой и цилиндром, обеспечивает подачу измельченного и обезвоженного (до 35-40 %) сырья в резонатор, его термообработку и обеззараживание при перемешивании, и дозированную выгрузку вареных частиц белкового продукта через шаровой кран.

Разработано техническое задание для создания СВЧ установки непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором и годовой экономический эффект от ее применения для термообработки и обеззараживания непищевого мясного сырья по сравнению с экструдером ЭК-40 составляет 288 тыс. руб. за счет снижения эксплуатационных затрат.

Рекомендации производству

Эксплуатацию СВЧ установки следует осуществлять в соответствии СанПин 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях», где рекомендовано, что в диапазоне СВЧ (300-300000 МГц) за рабочий день уровень плотности излучения не должен превышать 10 мкВт/см^2 на расстоянии 50 см от установки.

Перспективы дальнейшей разработки

Совокупность обоснованных научных положений открывает перспективы совершенствования технологий и установок непрерывно-поточного действия с маломощными генераторами для термообработки сырья, обеспечивающих снижение эксплуатационных затрат. В дальнейшем следует разрабатывать автоматизированную систему управления СВЧ установкой с оснащением дистанционной контрольно-измерительной аппаратурой; расширить электротехнологические процессы на агропредприятиях для энергосбережения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Азаров Б.М. и др. Технологическое оборудование пищевых производств / Б.М. Азаров. – М.: Агропромиздат, 1988. – 463 с.
2. Акимов, М.Н. Основы электромагнитной безопасности / М.Н. Акимов, С.М. Аполлонский. – СПб.: Лань, 2017. – 200 с.
3. Алтухов, И.В. Анализ способов сушки пищевых продуктов / И.В. Алтухов, В.Д. Очиров // Вестник Иркутской ГСХА. – Иркутск, 2009. – № 36. – С. 16-21.
4. Алексеенко, Я.В. Методы шепчущей галереи конического резонатора / Я.В. Алексеенко, А.М. Монахов, И.В. Рожанский // Техническая физика, 2009, Т. 79, вып. 11, – С. 72-76
5. Алексейчик, Л.В. К расчету и применению диэлектрических резонаторов в устройствах СВЧ / Л.В. Алексейчик, В.М. Геворкян, Ю.А. Кузнецов и др.// Радиотехника и электроника. − 1977. – Т.22, № 3. – С. 512-520.
6. Антипов, С.Т. Машины и аппараты пищевых производств / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков. – М.: Высшая школа, 2001, т.1, 2. – 1384 с.
7. Ангелюк, В.П. Математическое моделирование приготовления мясных рубленых кулинарных изделий / В.П. Ангелюк, И.В. Злобина // Научное обозрение. – 2013. – № 5. – С. 91-94.
8. Антипов, С.Т. Влияние значений напряженности электромагнитного поля на процесс диэлектрической сушки семян кориандра / С.Т. Антипов, Е.А. Ширшов, Д.А. Казарцев // Хранение и переработка сельхозсырья, 2002, № 9. – С. 50-51.
9. Антипова, Л.В. Биотехнологические аспекты рационального использования вторичного сырья мясной промышленности. – М.: Агро НИИТЭ-ИММП // Мясная промышленность: информационный обзор, 1991. – 36 с.
10. Антипова, Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л.В. Антипова, И.А. Глотова И.А., И.А. Рогов. – М.: Колос, 2001. – 376 с.
11. Анфиногентов, В.И. Об одной задаче теории СВЧ нагрева диэлектриков / В.И. Анфиногентов, Т.К. Гараев, Г.А. Морозов // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2002. – № 3. – С. 36-38.
12. Анфиногентов, В.И. Математическое моделирование СВЧ нагрева диэлектриков: дис. докт. техн. н-к. − Казань, КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2006. – 305 с.
13. Анфиногентов, В.И. Моделирование СВЧ нагрева диэлектрика движущимся излучателем / В.И. Анфиногентов, Т.К. Гараев, Г.А. Морозов // Электронное приборостроение. Научно-практический сборник. – 2003. – № 1(29). – С. 114-117.
14. Аполлонский, С.М. Электромагнитная безопасность технических средств и человека / С.М. Аполлонский. Т.1. Формирование внешней электромагнит-

ной среды: Монография. СПб.: СЗТУ, 2011. – 223 с.
15. Аполлонский, С.М. Электромагнитная безопасность технических средств и человека / С.М. Аполлонский. Т.3. Воздействие внешней электромагнитной среды на человека и средства защиты: Монография. СПб.: СЗТУ, 2011. – 286 с.
16. Архангельский, Ю.С. Камеры лучевого типа сверхвысокочастотных электротехнических установок / Ю.С. Архангельский, К.Н. Огурцов, Е.М. Гришина. – Саратов: Полиграфия Поволжья, 2010. – 229 с.
17. Архангельский, Ю.С. Многочастотные установки СВЧ диэлектрического нагрева / Ю.С. Архангельский, Е.М. Гришина // Вопросы электротехнологии. – 2014. – № 2. – С. 59-63.
18. Архангельский, Ю.С. Сверхвысокочастотные нагревательные установки для интенсификации технологических процессов / Ю.С. Архангельский, Н.И. Девяткин. – Саратов: СГТУ, 1983. – 140 с.
19. Архангельский, Ю.С. Расчет устройств СВЧ сушки диэлектриков в поле бегущей волны / Ю.С. Архангельский, Н.К. Сатаров // Вопросы электронной техники. – Саратов: СГТУ, 1973. − С. 73-81.
20. Архангельский, Ю.С. Сверхвысокочастотная электротехнология / Ю.С. Архангельский // Вестник СГТУ. – Саратов, 2011. – Вып. 3. – С. 5…15.
21. Архангельский, Ю.С. СВЧ электротермические установки лучевого типа / Ю. С. Архангельский, С.В. Тригорлый. – Саратов: СГТУ, 2000. – 122 с.
22. Архангельский, Ю.С. Справочная книга по СВЧ-электротермии: справочник / Ю.С. Архангельский – Саратов: Научная книга, 2011. – 560 с.
23. Артамонов, С.А. Разработка технологии структурированных полуфабрикатов на основе мяса кур механической обвалки / С.А. Артамонов – М.: 2005. – 200 с.
24. А.С. №1608833 СССР, МКИ3 H05B 6/64. СВЧ устройство для термической обработки материалов / И.Ф. Бородин, А.А. Юдин, Б.Т. Тureханов. Опубл. 23.11.90. Бюл. № 43. − 4 с.
25. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Ч. 2, 3 / Г.И. Атабеков, С.Д. Купалян, А.Б. Тимофеев и др. – М.-Л.: Энергия, 1966. − 276 с.
26. Атаназевич, В.И. Сушка пищевых продуктов / В.И. Атаназевич / Справочное пособие. – М.: ДеЛи, 2000. − 296 с.
27. Афанасьев, А. М. Математическое моделирование взаимодействия СВЧ излучения с влагосодержащими слоистыми средами / А. М. Афанасьев, В. В. Подгорный др. // Изв. вузов. Электромеханика, 2001, № 2. – С. 54-57.
28. Баскаков, С.И. Электродинамика и распространение радиоволн / С.И. Баскаков. – М.: Высшая школа, 1992. – 416 с.
29. Бессарабов, Б.Ф. Птицеводство и технология производства яиц и мяса птиц

/ Б.Ф. Бессарабов, Э.И. Бондарев, Т.А. Столяр – СПб.: Лань, 2005. – 352 с.

30. Белов, А.А. Разработка радиоволновых установок для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова // Вестник НГИЭИ. – Н. Новгород: ГБОУ ВО НГИЭУ. 2016, № 10 (65). – С. 7-15.
31. Белов, А.А. Совершенствование технологии и сверхвысокочастотных установок для повышения кормовой ценности фуражного зерна: дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: 05.20.02. – Мичуринск: Мичуринский ГАУ, 2017. – 350 с.
32. Белова, М.В. Разработка сверхвысокочастотных установок для термообработки сельскохозяйственного сырья: дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: 05.20.02. – М.: ВИЭСХ. 2016. – 350 с.
33. Беляева, М.А. Многокритериальная оптимизация процессов тепловой обработки мясных полуфабрикатов при ИК-энергоподводе: дис. … докт. техн. наук: 05.18.12, 05.13.01 . – М.: 2009. – 531 с.
34. Белов, Ю.Г. Цилиндрический резонатор со вставкой из поглощающего диэлектрика / Ю.Г. Белов, И.В. Долгов // Известие вузов. Радиоэлектроника, 1994. Т.37, № 2. – С.31-36.
35. Белоцерковский, Г.Б. Основы радиотехники и антенны / Г.Б. Белоцерковский. – М.: Советске радио, 1979, ч.1. Основы радиотехники. – 368 с.
36. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники: Электромагнитное поле / Л.А. Бессонов. Учебник. – М.: Высшая школа, 1978. – 231 с.
37. Билько, М.И. Измерение мощности на СВЧ / М.И. Билько, А.К., Томашевский. − М.: Радио и связь, 1986. −168 с.
38. Башилов, А.М. Электроимпульсные технологии в сельском хозяйстве / Башилов, А.М. Топорков В.Н., Королев В.А. // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 2 (46). − С. 50-55.
39. Бородин, И.Ф. Анализ использования СВЧ-энергии в агропромышленном комплексе / И.Ф. Бородин // Использование СВЧ-энергии в сельскохозяйственном производстве. Сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ, 1989. − С. 5-13.
40. Бородин И.Ф., Недилько Н.М. Автоматизация технологических процессов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 368 с.
41. Бородин, И.Ф. Использование СВЧ-энергии в с.-х. производстве / И.Ф. Бородин, В.И. Тарушкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1987, № 9. – С. 28-37.
42. Бородин, И.Ф. Энергосберегающие наноэлектротехнологии в животноводстве / И.Ф. Бородин / Труды 4-й международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве», Ч.1. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2004. – 44-53 с.

43. Вайнштейн, Л.А. Электромагнитные волны / Л.А. Вайнштейн. – М.: Радио и связь, 1988. – 440 с.
44. Валге, А.М. Обработка экспериментальных данных и моделирование динамических систем при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства / А.М. Валге. – Санкт-Петербург: 2002. – 176 с.
45. Взятышев, В.Ф. Объемные СВЧ резонаторы: принципы, конструкции и свойства, перспективы и проблемы / В.Ф. Взятышев, М.Е. Ильченко // Межведомственный сборник. – М.: МЭИ, 1983, № 19. – С. 5-19.
46. Витевский, В.Б. Электромагнитные волны в технике связи / В.Б. Витевский, Э.А. Павловская. – М.: Радио и связь, 2005. – С. 206-226.
47. Воскобойник, М.Ф. Техника и приборы СВЧ / М.Ф. Воскобойник, А.И. Черников: Учебник. − М.: Радио и связь, 1982. – 208 с.
48. Воробьев, В.В. Научно-практические основы создания эффективных технологий производства высококачественных продуктов из гидробионтов с использованием электромагнитного поля СВЧ: дис. док. техн. наук. – М., 2005. – 398 с.
49. Васильев, А.Н. Совершенствование технологии сушки зерна в плотном слое с использованием электротехнологий, АСУ и моделирования процесса / А.Н. Васильев, Д.А. Будников Н.Н. Грачева. – М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. – 176 с.
50. Вендин, С.В. Обработка семян электромагнитным полем: автореферат дис. ...доктора технических наук: 05.20.02 / Вендин Сергей Владимирович; – М.: Московский государственный агроинженерный университет, 1994. – 36 с.
51. Гинзбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов. / А.С. Гинзбург. − М.: Пищевая промышленность, 1976. − 247 с.
52. Гинзбург, А.С. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов / А.С. Гинзбург, И.М. Савина. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 280 с.
53. Гинзбург, А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов / А.С. Гинзбург. – М.: Пищевая промышленность,1973. – 528 с.
54. Гинзбург, А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности / А.С. Гинзбург. – М.: Агропромиздат, 1985. − 336 с.
55. Гинзбург, А.С. Сушка пищевых продуктов / А.С. Гинзбург. – М.: Пищепромиздат, 1990. – 300 с.
56. Гинзбург, А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов / А.С. Гинзбург и др. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 288 с.
57. Григорьев, А.Д. Резонаторы и резонаторные замедляющие системы СВЧ / А.Д. Григорьев. – М.: Радио и связь, 1984. − 247 с.

58. Григорьев, А.Д. Электродинамика и микроволновая техника: учебник / А.Д. Григорьев. – СПб.: Лань, 2007. – 704 с.
59. Григорьева, Т.М. Механизированная СВЧ установка для варки измельченных птичьих потрохов / Т.М. Григорьева // Вестник Казанского ГАУ – Казань: КГАУ, 2011, № 2. – С. 97-99.
60. Глушаков, С.В. Математическое моделирование. MathCad 2000. Matlab 5.3 / С.В. Глушаков, И.А. Жакин. – М.: Фолио, 2001. – 528 с.
61. Гуськов, Ю. В. Обоснование и разработка механизированной микроволновой яйцеварки: диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01. – Чебоксары, 2007. – 192 с.
62. Гуров, А.М., Автоматизация технологических процессов / А.М. Гуров, С.М. Починкин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 195 с.
63. Губиев, Ю.К. Научно практические основы теплотехнических процессов пищевых производств в электромагнитном поле СВЧ: дис. докт. техн. наук. − М.: МТИПП, 1990. – 189 с.
64. Гущин, В.В. Технология полуфабрикатов из мяса птицы / В.В. Гущин, Б.В. Кулишев, И.И. Маковеев, Н.С. Митрофанов. – М.: Колос, 2002. – 200 с.
65. Говорухин, В.В. Компьютер в математическом исследовании: учебный курс / В.В. Говорухин, В.В. Цибулин. – СПб.: Питер, 2001. – 624 с.
66. Даутов, О.Ш. Математические модели процессов микроволновой обработки продуктов сельскохозяйственного производства / О.Ш. Даутов, Л.Я. Замалетдинова, Г.А. Морозов // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева – Казань,1996, № 4. – С. 44-47.
67. Девятков, Н.Д. Формирование мощных импульсов при накоплении СВЧ энергии в резонаторе / Н.Д. Девятков, А.Н. Диденко, Л.Я. Замятина и др. // Радиотехника и электроника, 1980, Т.15, вып. 6. − С. 1227-1230.
68. Дрогайцева, О.В. Повышение уровня равномерности нагрева диэлектрических материалов в СВЧ-устройствах волноводного и резонаторного типов: дис. канд. техн. наук. – Саратов: СГТУ, 2011. – 207 с.
69. Дробахин, О.О. Резонансные свойства аксиально-симметричных микроволновых резонаторов с коническими элементами / О.О. Дробахин, П.И. Заболотный, Е.Н. Привалов // Радиофизика и радиоастрономия, 2009, Т.1, № 4, – С. 433-441.
70. Дробахин, О.О. Датчики перемещений на основе круглых цилиндрических СВЧ-резонаторов / П.И. Заболотный, Е.Н. Привалов // Техника и приборы СВЧ, 2008. – № 2. – С. 24-29.
71. Дунаева, Т.Ю. Технико-экономическое сравнение СВЧ-и тепловых сушилок зерна / Т.Ю. Дунаева, Ю.С. Архангельский // Радиотехника и

связь. – Саратов: СГТУ, 2008. – С. 274-278.

72. Диденко, А.Н. СВЧ-энергетика: Теория и практика / А.Н. Диденко. – М.: Наука, 2003. – 446 с и техническая физика, 2001, Т.42, № 4. – С. 165-176.
73. Егоров, В.Н. Микроволновые диэлектрические резонаторы в физических измерениях: дис. доктора физико-математических наук: 01.04.01. – Иркутск: Иркутский ГТУ, 2014. – 367 с.
74. Ершова, И.Г. Установка для переработки жиросодержащего сырья с СВЧ энергоподводом / И.Г. Ершова, М.Г. Сорокина, М.В. Белова, Г.В. Новикова // Известия Оренбургского ГАУ, 2014, № 1 (45). – С. 54-56
75. Есипок, А.В. Дифракция электромагнитных волн: пособие / А.В. Есипок, И.Л. Гаврилова. – Гродно: ГрГУ, 2009. – 64 с. ISBN 978-985-515-214-0..
76. Жданкин, Г.В. Разработка радиоволновых установок для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой // Вестник НГИЭИ, – Княгинино: 2016, № 10 (65). – С. 7-15.
77. Жданкин, Г.В. Разработка сверхвысокочастотной установки с передвижными резонаторами / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, О.В. Михайлова, Г.С. Юнусов // Вестник НГИЭИ, – Княгинино: № 12 (67), 2016. – С. 35-40.
78. Жданкин, Г.В. Разработка сверхвысокочастотной установки для термообработки непищевых отходов убоя и переработки птиц и животных / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой // Научная жизнь. – М.: ЗАО «Алкор», 2016, № 11. – С. 10-14.
79. Жданкин, Г.В. Разработка и обоснование параметров установки с движущимися источниками сверхвысокочастотной энергии для термообработки сырья /, Г.В. Жданкин, А.А. Белов // Вестник НГИЭИ, 2017, № 7 (74). – С. 44-54.
80. Жданкин, Г.В. Обоснование параметров СВЧ установки с концентрическими сферами для термомеханического разрушения сырья / Г.В. Жданкин, А.А. Белов, Г.В. Новикова // Вестник НГИЭИ, 2017, № 4 (71). – С. 50-59.
81. Жданкин, Г.В. Совершенствование и обоснование параметров СВЧ установки с тороидальным резонатором и с ячеистым ротором для термообработки сырья / Г.В. Жданкин, А.А. Белов, Г.В. Новикова // Вестник НГИЭИ, 2017, № 3 (70). – С. 57-66.
82. Жданкин, Г.В. Разработка сверхвысокочастотной установки контейнерного типа для термообработки крови и жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, М.В. Белова, Г.В. Новикова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань: 2016, № 4 (42). – С. 74-78.
83. Жданкин Г.В. Разработка многомодульной сверхвысокочастотной установки для термообработки сырья животного происхождения / Г.В. Жданкин, Б.Г.

Зиганшин, М.В. Белова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань: 2016, № 4 (42). – С. 79-83.

84. Жданкин, Г.В. Разработка сверхвысокочастотной установки для термообработки непищевых боенских отходов / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова // Пермский аграрный Вестник – Пермь: ФГБОУ ВО «Пермский ГАУ». 2017, № 4(20) – С. 54-64.
85. Жданкин, Г.В. Разработка рабочих камер сверхвысокочастотных установок для термообработки непищевых отходов мясного производства / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, Б.Г. Зиганшин // Вестник Ижевской ГСХА. – Ижевск: ФГБОУ ВО «Ижевский ГСХА». 2017, № 1(50). – С. 61-69.
86. Жданкин, Г.В. Разработка и обоснование параметров установки для диэлектрического нагрева непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, Н.К. Кириллов // Вестник НГИЭИ № 2(69), 2017. – С. 61-71.
87. Жданкин, Г.В. Разработка и обоснование параметров многоярусной сверхвысокочастотной установки для термообработки влажного сырья в непрерывном режиме / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Б.Г. Зиганшин, Г.В. Новикова // Научная жизнь. – М.: ЗАО «Алкор», 2017, № 4. – С. 4-14.
88. Жданкин, Г.В. Разработка и обоснование параметров СВЧ установки со сферическим резонатором для термообработки боенских отходов // Г.В. Жданкин, Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ». 2017, № 2(44). – С. 90-98.
89. Жданкин, Г.В. Разработка и обоснование параметров центробежной установки для термообработки боенских отходов / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова // Вестник Казанского ГАУ. – Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ». 2017, № 2(44). – С. 75-85.
90. Жданкин, Г.В. Microwave installation with conical resonators for the heat treatment of inedible meat wastes (Микроволновые установки с коническими резонаторами для термообработки непищевых мясных отходов / Г.В. Жданкин, О.В. Михайлова, В.Г. Семенов // Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan (Series of geology and technical sciences) / Известия Национальной академии наук Республики Казахстан (серия геологии и технических наук). – Volume 2, Number 428. – 2018, P. 44-54.
91. Жданкин, Г.В. Разработка и обоснование параметров микроволновой установки для термообработки сырья в процессе измельчения / Г.В. Жданкин, П.В. Зайцев, Г.В. Новикова, В.Ф. Сторчевой // Научная жизнь. – М.: ЗАО «Алкор», 2017, №. 11. – С. 25-36.

92. Жданкин, Г.В. Методика проектирования СВЧ установки для термообработки непищевых отходов убоя животных / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова // Инновации в сельском хозяйстве. Теоретический и научно-практический журнал. – Москва: ФГБНУ ВИЭСХ, 1 (22) /2017. – С. 79-86.
93. Жданкин, Г.В. Разработка сверхвысокочастотной установки для варки отходов убоя птицы и животных / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, Е.И. Меженина, И.Г. Ершова // Вестник ВИЭСХ, выпуск №1 (26). – Москва: ФГБНУ ВИЭСХ, 2017– С. 99-106.
94. Жданкин, Г.В. Разработка аппарата для термообработки жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, Т.Н. Лаврентьева, А.С. Шойкин, Е.Л. Белов // XIX международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства». Мосоловские чтения. – Йошкар-Ола: ФГБОУ ВО «Марийский ГУ», 2017. – С**.** 257-259.
95. Жданкин, Г.В. Разработка центробежной установки для диэлектрического нагрева непищевого сырья мясного производства / Г.В. Новикова, Г.В. Жданов, М.В. Белова, О.В. Михайлова // XIX международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства». Мосоловские чтения. (16-17 марта 2017). – Йошкар-Ола: ФГБОУ ВО «Марийский ГУ», 2017. – С. 262-263.
96. Жданкин, Г.В. Разработка и обоснование параметров сверхвысокочастотной установки для термообработки отходов убоя животных / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, Б.И. Горбунов, И.В. Ершова // Всероссийская научно-практическая конференция «Наука, производство, образование: проблемы и перспективы». (7 апреля 2017). – Чебоксары: ФГБОУ ВО ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, 2017. – С. 51-57.
97. Жданкин, Г.В. Разработка многогенераторной сверхвысокочастотной установки для варки обезвоженных непищевых мясных отходов / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова // Международной научно-практической конференции «Инновационные направления развития энергетики АПК» – Ижевск: ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА», 2017. – С. 89-92.
98. Жданкин, Г.В. Микроволновые технологии и установки для термообработки непищевых отходов убоя животных / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, М.В. Белова // Международная научная конференция, посвященная 130-летию Н.И. Вавилова. – М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», 2017. – С. 150-153.
99. Жилинский, Ю.М. Электрическое освещение и облучение / Ю.М. Жилин-

ский. и др. – М.: Колос, 1982. – 272 с.
100. Железняк, А.Р. СВЧ устройства на основе волноводов сложного поперечного сечения для равномерного нагрева диэлектрических материалов: дис. канд. техн. наук: 05.12.07. – Саратов: СГТУ, 2002. – 249 с.
101. Журавлев, А.Н. Электротехнологические конвейерные СВЧ установки равномерного нагрева произвольных диэлектрических материалов: дис. канд. техн. наук: 05.09.10 / Журавлев А.Н.. – Саратов, 2004. – 235 с.
102. Заргано, Г.Ф. Волноводы сложных сечений / Г.Ф. Заргано, В.П. Ляпин и др. − М.: Радио и связь, 1986. – 124 с.
103. Завражный, А.И. Механизация приготовления и хранения кормов /А.И. Завражный, Д.И. Николаев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.
104. Зайко Ю.Н. Точные решения уравнений Максвелла-Эйнштейна. Известия Саратовского университета, сер. Физика, 2010, Т. 10. Вып. 1. − С. 50-58.
105. Злобина, И.В. Кинетика СВЧ нагрева композиций из органических материалов, В.И. Злобина, В.А. Коломейцев, Н.В. Бекренев // Научное обозрение. – 2014. – № 12. – С. 84-87.
106. Злобина, И.В. Повышение равномерности термической обработки композиций органических материалов СВЧ излучением / И.В. Злобина, В.А. Коломейцев, Н.В. Бекренев // Научное обозрение. – 2014. – № 12. – С. 80-83.
107. Злобина, И.В. Применение СВЧ излучения для термической обработки диэлектрических органических материалов с неоднородной структурой и составом / И.В. Злобина, В.А. Коломейцев // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2014. – Саратов: 2014. – С. 71-74.
108. Зуева Н.А. Установка для обработки кишечного сырья убойных животных с применением УЗ и СВЧ генераторов / Н.А. Зуева // Дис. канд. техн. наук: 05.20.02. – М.: ВИЭСХ, 2014, – 150 с.
109. Ивашов, В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности / В.И. Ивашов. – М.: Колос, 2001. – 552 с
110. Изюмова, Т.И. Волноводы, коаксиальные и полосковые линии / Т.И. Изюмова, В.Т. Смирнов. – М.: Энергия, 1975. – 112 с.
111. Ищенко, И.Ф. Открытые оптические резонаторы / И.Ф. Ищенко. – М.: Советское радио, 1980. – 154 с.
112. Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой технологии / Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев. – М: Колос, 1997. – 551с.
113. Кавецкий Г.Д., Королев А.В. Процессы и аппараты пищевых производств / Г.Д. Кавецкий, А.В. Королев. – М: Агропромиздат, 1991. – 432 с.
114. Кадыров, Д.И. Экструзионная переработка биологических отходов в корма / Д.И. Кадыров, А.Л. Гарзанов // Птицеводство, 2008, № 7. – С. 51-54.

115. Казаков, А.В. Применение дозированных потоков электромагнитных волн различных диапазонов в промышленном животноводстве и их физиологическая оценка: автореф. канд. биол. наук. − Нижний Новгород, НГСХА, 1996. − 20 с.
116. Клоков, Ю.В. О глубине проникновения ЭМПСВЧ в пищевые продукты / Ю.В. Клоков, А.М. Остапенко // Электронная обработка материалов, 1988. – № 5. – С. 65-68.
117. Козлова, Т.А. Исследование влияния СВЧ-волн на качестве деликатесных продуктов из говядины / Т.А. Козлова // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. -2012. - № 3 (3). – С. 20-27.
118. Коломейцев, В.А. Взаимодействие электромагнитных волн с поглощающими средами и специальные СВЧ системы равномерного нагрева: дис. докт. техн. наук. – Саратов: СГТУ, 1999. – 439 с.
119. Коломейцев, В.А. Микроволновые системы с равномерным объемным нагревом. Ч.1 / В.А. Коломейцев, В.В. Комаров. – Саратов: СГТУ, 1997. – 251 с.
120. Коломейцев, В.А. Экспериментальные исследования уровня неравномерности нагрева диэлектрических материалов и поглощенной мощности в СВЧ устройствах резонаторного типа / В.А. Коломейцев, Ю.А Кузьмин // Электромагнитные волны и электронные системы, 2003, Т. 18, № 12. – С. 25-31.
121. Коломейцев, В.А. Электродинамические и тепловые свойства СВЧ установок резонаторного типа с многощелевым возбуждением / В.А. Коломейцев, В.С. Ремнёв // Вестник Саратовского ГТУ, 2008, Т.2. № 1 (32). – С. 126.
122. Коломейцев В.А. Микроволновые установки с равномерным объемным нагревом. Часть 2 / В.А. Коломейцев, В.В. Комаров // Саратов: СГТУ, 2006. – 233 с.
123. Коломейцев, В.А. Электродинамические и тепловые свойства микроволновых печей при различных способах и системах возбуждения электромагнитного поля в рабочей камере / В. А. Коломейцев, Ю. А. Кузьмин, Д. Н. Никуйко, А. А. Захаров // Вопросы электротехнологии. – 2014, № 2(3). – С. 28-34.
124. Коломейцев В.А. Определение собственных электродинамических параметров прямоугольного резонатора с двухслойным диэлектрическим заполнением / В.А. Коломейцев, Д.А. Баринов, В.Н. Посадский, А.Э. Семёнов // Радиотехника. – 2014, № 10. – С. 41-45.
125. Коломейцев В.А. Создание СВЧ нагревательных установок с многощелевой системой возбуждения электромагнитного поля / В.А. Коломейцев, Д.Н. Козлов, А.Э. Семенов // Успехи современной радиоэлектроники. –

2008. № 9. – С. 69-75.

126. Коломейцев, В.А. Аналитическое решение внутренней краевой задачи электродинамики для рабочей камеры бытовых СВЧ печей при многощелевом способе возбуждения электромагнитного поля / В.А. Коломейцев и др. // Вопросы электротехнологии. – 2014, № 3(4). – С. 27-33.
127. Коломейцев В.А. Приближенный расчет критических длин волн волноводов сложной формы с частичным диэлектрическим заполнением / В.А. Коломейцев, В.В. Комаров и др. // Радиотехника, 1990, № 7. – С. 74-75.
128. Коломейцев В.А. Возбуждение электромагнитного поля в прямоугольном резонаторе, частично заполненном диэлектрическим материалом / В.А. Коломейцев, П.В. Ковряков, О.В. Дрогайцева, А.Э. Семёнов // Вестник Саратовского ГТУ. – Саратов, 2014, № 4 (77). – С. 47-55.
129. Копусов, В.Н. К вопросу создания многомагнетронного оборудования для современных технологий / В.Н. Копусов // СВЧ техника и телекоммуникационные технологии. – Севастополь: Вебер, 2001. – С. 652-653.
130. Крайнов, Ю.Е. Гранулирование отходов сырья в процессе диэлектрического нагрева / Ю.Е. Крайнов, А.Н. Коробков, М.В. Белова //Вестник Казанский ГАУ. – Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ», 2019, Т. 14. № 1(52). – С. 94-99.
131. Кураев, А.А. Электродинамика и распространение радиоволн / А.А. Кураев, Т.Л. Попкова. – Минск: Бестпринт, 2004. – 220 с.
132. Князев, Н.С. Исследование характеристик сферических резонаторных антенн малых электрических размеров. Автореферат по специальности 05.12.07. ФГБОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина». – Екатеринбург, 2012, 20 с.
133. Курочкин, А.А. Технологическое оборудование для переработки продукции животноводства / А.А. Курочкин и др. – М.: Колос, 2001. – 440 с.
134. Курушин, А.А. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio / А.А. Курушин., А.Н. Пластиков. – М.: МЭИ, 2011, – 155 с. [www.cst.com – сайт компании CST – разработчика программы Microwave Studio]. [http://www.eurointech.ru/].
135. Красюк, Н.П. Электродинамика и распространение радиоволн / Н.П. Красюк. Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1974. – 536 с.
136. Красикова, В.А. Рациональное использование продуктов убоя скота и птицы на пищевые цели и производство кормов. – М.: Агропромиздат, 1983. – 334 с.
137. Кретов, И.Т. Моделирование процесса вакуум-сублимационной сушки пищевых продуктов в поле СВЧ / И.Т Кретов, А.И Шашкин, С.В. Шахов и др. // Известия ВУЗа. Пищевая технология, 2003, № 5. – С. 65-68.

138. Лебедев, И.В. Техника и приборы СВЧ: Т1, под. ред. Н.Д. Девяткова. – М.: Высшая школа, 1970. – 102 с.
139. Логачева, Е.А. Проблемы внедрения СВЧ технологий в агропромышленное производство // Актуальные проблемы энергетики АПК / Е.А. Логачева, В.Г. Жданов. − Саратов: Саратовский ГАУ, 2010. – С. 202-204.
140. Лоик, Д.А. Исследование и разработка СВЧ устройств термообработки материалов в режиме бегущей волны: дис. канд. техн. наук: 05.12.07 / Д.А. Лоик. – М., 2009. – 171 с.
141. Лыков, А.В. Тепломассообмен / А.В. Лыков. Справочник. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
142. Лыков, М.В. Теория сушки / М.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 470 с.
143. Мамонтов, А.В. Разработка и исследование СВЧ устройств для термообработки диэлектрических материалов: дис. канд. техн. наук: 05.12.07 / А.В. Мамонтов. – М., 2005. – 159 с.
144. Математическое моделирование взаимодействия СВЧ излучения с влагосодержащими слоистыми средами // Изв. вузов «Электромеханика». – 2001. – № 2. – С. 54-57.
145. Машины и аппараты пищевых производств / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др. – М.: Высшая школа, 2001. – 703 с.
146. Малинов, Г.И. Повышение эффективности технологических линий утилизации отходов звероводства и птицеводства в сухие корма, путем оптимизации их состава и совершенствования технических средств.: автореф. дисс. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2003. – 45 с.
147. Мищенко, С.В. Проектирование радиоволновых (СВЧ) приборов неразрушающего контроля / С.В. Мищенко, Н.А. Малков. Учебное пособие. – Тамбов: Тамбовский ГТУ, 2003. – 128 с.
148. Некрутман, С.В. Тепловая обработка пищевых продуктов в электрическом поле сверхвысокой частоты / С.В. Некрутман. – М.: Пищевая промышленность, 1972. − 140 с.
149. Неганов, В.А. Электродинамика и распространение радиоволн. Учеб. пособие / В.А. Неганов, С.Б. Раевский. – М.: Радиотехника, 2007. – 200 с.
150. Никольский, В.В. Электродинамика и распространение радиоволн / В.В. Никольский, Т.И. Никольская. – М.: Наука, 1989. – 544 с.
151. Никуйко, Д.Н. Совершенствование методов расчёта и конструкций рабочих камер СВЧ устройств стационарного и конвейерного типов дис. канд. техн. наук. Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2015. – 150 с.
152. Новикова, Г.В. Разработка радиоволновых установок для переработки

мясокостных отходов / Г.В. Новикова, И.Г. Ершова, Д.В. Поручиков // Научное обозрение ЗАО «АЛКОР», 2016, № 18. – С. 56…60.

153. Новикова, Г.В. Анализ разработанных сверхвысокочастотных установок для термообработки сырья / Г.В. Новикова, Г.В. Жданкин, О.В. Михайлова, А.А. Белов // Вестник Казанского ГАУ. – Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ». 2016, № 4 (42). – С. 89-93.
154. Новикова, Г.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, №3 (29). – С. 46-49.
155. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1989. – 544 с.
156. Огурцов, К.Н. СВЧ рабочие камеры для высокотемпературного нагрева диэлектриков // Вопросы электротехнологии, 2013. № 1. – С. 40-45.
157. Орлов, В.В. Перспективы применения микроволновой обработки жидких пищевых продуктов / В.В. Орлов, А.С. Алферов // НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2006. – № 2 (2). – С. 54-60.
158. Основы проектирования и строительства перерабатывающих предприятий / Гордеев А.С., Завражнов А.И., Курочкин А.А., Хмыров В.Д., Шабурова Г.В. / под редакцией Завражнова А.И. – М.: Агроконсалт, 2002. – 492 с.
159. Оборудование и автоматизация перерабатывающих производств / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, А.С. Гордеев, А.И. Завражнов. – М.: Колос, 2007. – 591 с.
160. Патент № 2479164 РФ, МПК H05B6/64. Установка для СВЧ нагрева движущихся изделий круглого поперечного сечения / М.В. Белова, Г.В. Новикова, А.А. Белов, А.Н. Федорова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА (RU). – № 2011128530/07; заявл. 08.07.2011. Бюл. № 10 от 10.04.2013. – 8 с.
161. Патент № 2626156 РФ, МПК A 23 N17/00. Радиоволновые установки для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, И.Г. Ершова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133572; заявл. 15.08.2016. Бюл. № 21 от 21.07.2017. – 15 с.
162. Патент № 2629221 РФ, МПК A 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с резонатором, образованным между двумя сферами для термомеханического разрушения сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133535; заявл.15.08.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 15 с.
163. Патент № 2629220 РФ, МПК A 23 N17/00. Установка с движущимися источниками СВЧ энергии для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В.

Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133500; заявл.01.08.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 14 с.

164. Патент № 2629159 РФ, МПК А 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с тороидальным резонатором и с ячеистым ротором для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133524; заявл.15.08.2016. Бюл. № 24 от 24.08.2017. – 13 с.
165. Патент № 2629259 РФ, МПК А23К 1/10. Сверхвысокочастотная установка для варки отходов убоя птицы и животных / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016146640; заявл. 28.11.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 15 с.
166. Патент № 2650540 РФ, МПК А23К 1/10. Сверхвысокочастотная установка циклического действия для термообработки мясного сырья / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова, Д.В. Поручиков заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150295; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 11 от 16.04.2018. – 14 с.
167. Патент № 2636155 РФ, МПК А23К 1/10. Микроволновая технология извлечения жира из жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова, Б.И. Горбунов; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150318.; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 26 от 21.11.2017. – 14 с.
168. Патент № 2636156 РФ, МПК А23К 1/10. Устройство для дозирования вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры / Г.В. Жданкин, Е.Ю. Сергеева, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150297; заявл.20.12.2016. Бюл. № 33 от 21.11.2017. – 12 с.
169. Патент № 267751, РФ, МПК А23К 1/10. Сверхвысокочастотная установка со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова, Ф.С. Шойкин; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150317.; заявл. 20.12.2016. Бюл. № 18 от 21.06.18. – 13 с.
170. Патент 109540 РФ, F26B11/12. Барабанная микроволновая сушилка / С.Ю. Щербаков, А.В. Аксеновский, С.А. Жидков; заявитель и патентообладатель Мичуринский ГАУ, № 2010132044/06; заявл. 29.07.2010. Бюл. №1 от 20.10.2011, – 10 с.
171. Патент № 2581224 РФ, МПК. Центробежная установка для термообработки жиросодержащего сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / О.В. Михайлова, М.В. Белова, А.А. Белов, Г.В. Новикова, И.Г. Ершова; заявитель и патентообладатель МАДИ (RU). – № 2014150840/20 (081472); за-

явл. 17.12.2014. Бюл. № 11 от 20.04.2016. – 11 с.

172. Патент № 2600697 РФ, МПК. Сверхвысокочастотная установка для плавления жира / И.М. Селиванов, М.В. Белова, А.А. Белов, И.Г. Ершова, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель АНОВО «АТУ» (RU). – № 2015117451; заявл. 28.04.2015. Бюл.№ 30 от 03.10.2016. − 12 с.
173. Патент № 2505355 РФ, МПК C11B1/12. Сверхвысокочастотная установка для выделения расплавленного жира из жиросодержащего сырья / М.В. Белова, А.А. Белов, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, И.Г. Ершова; заявитель и патентообладатель АНОВО «АТУ» (RU). – № 2015138179/13(058546); заявл. 2.08.2015. Бюл.№ 35 от 20.12.2016. − 10 с.
174. Попов, В.М. Фазочастотный метод анализа периодических частотных зависимостей / В.М. Попов, С.Ю. Панферов, Л.А. Саплин // АПК России.2020.Т.27. № 1.- С. 124-129.
175. Пименов, Ю.В. Техническая электродинамика / Ю.В. Пименов, В.И. Вольман, А.Д. Муравцов. Учебное пособие. – М.: Радио и связь, 2000. – 536 с.
176. Плаксин, Ю.М. Процессы и аппараты пищевых производств / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. − М.: Колос, 2008. – 760 с.
177. Пономарев, К.К. Составление дифференциальных уравнений / К.К. Пономарев. – Минск: Высшая школа, 1973. – 558 с.
178. Применение СВЧ волн в промышленности / под ред. А.И. Маркова. – М.: Машиностроение, 2005. – 268 с.
179. Применение электрической энергии в сельскохозяйственном производстве. Справочник. Под редакцией акад. ВАСХНИЛ П.Н. Листова. – М.: Колос, 1974. – 623 с.
180. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве. Справочник. Под редакцией П.А. Рубцова. – М.: Колос, 1971. – 528 с.
181. Патент № 2713096 РФ, МПК G01R 29/08. Мобильный аппаратно-программный комплекс для автоматизированного контроля и оценки состояния электромагнитной обстановки / А. А. Сошников, Е. В. Титов, И. Е. Мигалев; заявитель и патентообладатель: АлтГТУ. – № 2018122578; заявл. 20.06.2018; опубл. 03.02.2020, Бюл. № 4.
182. Пчельников, Ю.Н. Перспективы применения ЭМ нагрева для обработки сельхозяйственного сырья и пищевых продуктов / Ю.Н. Пчельников, А.А. Елизаров // Электронная техника, 1993. – Вып.: 5, 6. – С. 47-52.
183. Пчельников, Ю.Н. Электроника сверхвысоких частот / Ю.Н. Пчельников, В.Т. Свиридов. – М.: Радио и связь, 1981. – 96 с.
184. Потапова, Т.А. Исследование и разработка СВЧ устройств для формирования равномерного температурного поля диэлектрических материалов: ав-

тореф. дис. канд. техн. наук: 05.12.07, 2006. – 23 с.
185. Пытьев, Ю.П. Методы математического моделирования измерительно-вычислительных систем / Ю.П. Пытьев, ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 400 с.
186. Рахманкулов, Д.Л. Особенности микроволновых установок для нагрева пищевых продуктов / Д.Л. Рахманкулов, С.Ю. Шавшукова, И.Н. Вихарева // Башкирский химический журнал: НИИ малотоннажных химических продуктов и реактивов Уфимского государственного нефтяного технического университета, 2008. Том 15, № 1. – С. 57-61.
187. Рахманкулов, Д.Л. Применение микроволнового излучения в пищевой отрасли / Д.Л. Рахманкулов, С.Ю. Шавшукова, И.Н. Вихарева // Башкирский химический журнал. – 2008. – т. 15, № 1. – С. 73-75.
188. Расчеты и задачи по процессам и аппаратам пищевых производств. / Под ред. С.М. Гребенюка. – М.: Агропромиздат, 1989. – 312 с.
189. Рогов, И.А. Влияние режимов СВЧ термообработки на микроорганизмы / И.А. Рогов, С.П. Некрутман // Мясная индустрия, 1982. – № 4. – С. 35.
190. Рогов, И.А. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов: учебное пособие / И.А. Рогов, С.В. Некрутман. – М.: Агропромиздат, 1986. – 351 с.
191. Рогов, И.А. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов / под ред. И.А. Рогова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 288 с.
192. Рогов, И.А. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов / И.А. Рогов, С.В. Некрутман, Г.В. Лысов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 197 с.
193. Рощин П.М. Механизация ветеринарно-санитарных работ. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 224 с.
194. Русин, Ф.С. Расчет цилиндрического резонатора, частично заполненного диэлектриком / Ф.С. Русин, Б.А. Гайгеров // Измерительная техника, 1985. – № 5. – С. 15-16.
195. Рыбаков, В.С. Повышение равномерности нагрева диэлектриков в СВЧ – установках резонаторного типа с распределенными системами возбуждениями: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.09.10 / Рыбаков Вадим Сергеевич. – М., 2008. – 18 с.
196. Салимов, И. И. Исследование процесса термообработки диэлектрических материалов в СВЧ-установках с распределенным возбуждением электромагнитного поля. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Саратов: СГТУ, 2007. – 202 с.
197. Салимов, И.И. Основные условия обеспечения равномерности нагрева в микроволновых установках конвейерного типа на основе квазистационар-

ных волноводов / И.И. Салимов, В.А. Коломейцев // Радиотехника и связь. – Саратов: СГТУ, 2005. – С. 277-282.

198. Салахов, Т.Р. Процесс взаимодействия электромагнитных волн с термопараметрическими материалами в волноводных и резонаторных структурах / Т.Р. Салахов // Диссертация канд. техн. н-к. – Саратов: СГТУ, 2006. – 200 с.
199. Симовьян, С.В. Определение условий равномерного СВЧ нагрева продуктов с учетом теплопотерь / С.В. Симовьян, В.А. Потапов // Известия вузов. Пищевая технология, 1983, № 6. − С. 63-67.
200. Семёнов, А.Э. СВЧ нагревательные устройства резонаторного типа с регулируемым подводом электромагнитной мощности: диссертация канд. техн. наук. – Саратов: СГТУ. 2008. –181 с.
201. Слаповская, Ю.П. Улучшение параметров сверхвысокочастотных устройств с протяженными кольцевыми резонаторами. Автореферат дис. канд. техн. наук. – Саратов: СГТУ, 2010. – 20 с.
202. Снежков, Н.И. Технология первичной переработки продуктов животноводства / Н.И. Снежков, В.Н Смирнова и др. – М.: МСХА, 1998. – 112 с.
203. Стабников, В.Н. Процессы и аппараты пищевых производств / В.Н. Стабников и др. – М.: Агропромиздат,1985. – 503с.
204. Стребков, Д.С. Нанотехнологии в сельском хозяйстве / Д.С. Стребков // Техника в сельском хозяйстве, 2008, № 4. – С. 3-5.
205. Стрекалов, А.В. Электромагнитные поля и волны / А.В. Стрекалов, Ю.А. Стрекалов. – М.: РИОР: ИНФРА-М, 2014. – 375 с.
206. Тареев, Б.М. Физика диэлектрических материалов / Б.М. Тареев. – М.: Энергоиздат, 1981. – 319 с.
207. Тригорлый, С.В. Численное моделирование и оптимизация процессов сверхвысокочастотной обработки диэлектриков / С.В. Тригорлый // Прикладная механика и техническая физика. – 2000. – Т. 41. - № 1. – С. 112-119.
208. Уездный, Н.Т. СВЧ установка для термообработки крови убойных животных: диссертация канд. тех. наук. – М.: ВИЭСХ, 2013. – 150 с.
209. Ушакова, Н.Ф. Опыт применения СВЧ энергии при производстве пищевых продуктов / Н.Ф. Ушакова, Т.С. Копылова, В.В. Касаткин, А.Г. Кудряшова // Пищевая промышленность, 2013, № 10. – С. 30-32.
210. Филиппов, Р.П. Оптимизация устройств обработки продуктов СВЧ энергией / Р.П. Филиппов // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1984, № 4. – С. 50-52.
211. Харламов С.В. Конструирование технологических машин пищевых производств / С.В. Харламов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 224 с.
212. Хазин, Д.А. Переработка и использование отходов убоя животных на кор-

мовые цели. – М.: Колос, 1990. – 179 с.

213. Хлопов, Ю.Н. Основы использования магнетронов / Ю.Н. Хлопов. − М.: Советское радио, 1967. – 95 с.
214. Хамидуллин, А.Ф. Повышение уровня равномерности нагрева диэлектрических материалов и КПД электротехнологических СВЧ устройств волноводного и резонаторного типов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.10 / Хамидуллин А.Ф. – Саратов: СГТУ, 2013. – 20 с.
215. Цыганков А.В. Электротехнологические СВЧ установки равномерного нагрева диэлектрических материалов на волноводах сложных сечений: диссертация канд. техн. наук. – Саратов: СГТУ, 2003. – 206 с.
216. Черникова, Е.В. Новая технология переработки отходов птицеводства / Е.В. Черникова, А.Е. Шумилов // Журнал для специалистов птицеводческих и животноводческих хозяйств. 2002, № 1. – Екатеринбург. – С. 36-37.
217. Численное моделирование и оптимизация процессов СВЧ обработки диэлектриков // Прикладная механика и техническая физика. 2000. Т.41. – № 1. – С 112…119.
218. Шамин, Е.А. Разработка сверхвысокочастотной установки с цилиндрическими резонаторами для сушки пушно-мехового сырья в непрерывном режиме // Е.А. Шамин, Б.Г. Зиганшин, Г.В. Новикова // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: ГБОУ ВО НГИЭУ, 2017, № 9 (76). – С. 57-64.
219. Шакин, К.В. СВЧ устройства равномерного нагрева диэлектрических материалов на основе квазистационарных волн ведущих структур: дис. .. канд. техн. наук: 05.12.07. – Саратов: СГТУ, 2004. – 231 с.
220. Шпилько, В.И. Экономическая эффективность механизации сельскохозяйственная производства / В.И. Шпилько, В.И. Драйцев и др. – М.: Россельхозакадемия, 2001. – 345 с.
221. Makimoto M., Yamashita S. Microwave resonators for wireless communication. Theory, design and application. – Berlin.: Springer. – Verlag, 2001. – 162 p. (Микроволновые резонаторы для беспроводной связи. Теория, дизайн и применение).
222. Harrington, R.F. Time–harmonic electromagnetic fields. – New York: Wiley, 2001. – 480 p. (Гармонические по времени электромагнитные поля).
223. Weber H. Mehr Sicherheit und Stabiliant. Innovative Verfahern und iher Einsatzomoglichkeiten in der Praxis // Fleischwirtschaft. 2002. – Jg. 82, N 5. – P. 57-62. – Hem. – Bibliogr.: P.62. (Оценка эффективности современных технологий производства пищевых продуктов в рамках проблемы безопасности и стабильного качества пищи).
224. Kaleta A. Mathematical model for determination of thermal conductivity in plant materials // Ann.Warsaw Agr.-Warsaw, 2001. – N 41. – P. 65-68. (Разработка математической модели теплопроводности растительных материалов с целью процессов

сушки, хранения, пастеризации, бланширования и заморозки с.-х. продукции, Польша).

225. A novel, efficient and rebiable methond for thermal process design and optimization.Pt. 1:Theory/Eva Balsa-Canto, Antonio A. Alonso, Julio R. Banga // J.Food Engge. – 2002. – Vol.52, N 3. – P. 227-234. (Эффективное методы для термического процесса проектирования и оптимизации).

247 Estel, L. Microwave assisted blow molding of polyethylene-terephthalate (PET) bottles / L. Estel, Ph. Lebaudy, A. Ledoux, C. Bonnet, M. Delmotte // Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications. – 2004. − № 11. – P. 33.

248 Gunaratne, R.D. Microwave and conventional mechanical & thermal analysis of the reactions in epoxy vinyl ester resins / R.D. Gunaratne, R.J. Day // Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications. – 2004. − № 11. – P. 39.

249 Mehdizadeh, M. Microwave / RF methods for detection and drying of residual waterin polymers / M. Mehdizadeh // Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications. – 2004. - № 11. – P. 32.

250 Sterzer, F. Microwave Medical Devices / F. Sterzer // IEEE Microwave Journal magazine. – 2002. - № 1. – P. 65-70.

251 СВЧ установка для варки некондиционных яиц [электронный ресурс]. – Режим доступа: studydoc.ru›doc/2751450/ispol._zovanie-….(дата обращения 12.08.2020).

252 Вакуумный котел. [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.findpatent.ru/patent/244/2448471.html (дата обращения 10.09.2020).

253 Микроволновая сушильная установка МСУ-1,5.[электронный ресурс]. – Режим доступа: apkrb.info›sites…files…mnogofunkcionalnayasvch.pdf (дата обращения 20.09.2020).

254 Корма из отходов [электронный ресурс]. – Режим доступа: studref.com›othody myasnoy promyshlennosti (дата обращения 12.09.2020).

255 Экструдер кормов [электронный ресурс]. – Режим доступа: agroserver.ru›Торговая площадка›kormovoy-ekstruder-ek-40 (дата обращения 11.09.2020).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 – Справка о внедрении результатов диссертационного исследования

Министерство
сельского хозяйства
и продовольственных ресурсов
Нижегородской области

ЗАМЕСТИТЕЛЬ МИНИСТРА

Адрес места нахождения: Кремль, корп. 2
г. Нижний Новгород, 603082
Почтовый адрес: Кремль, корп. 14
г. Нижний Новгород, 603082
тел. 439-11-51, факс 439-13-91
e-mail: minapk@minapk.nnov.ru

06.04.2021 № Исх-302-158636/21

на № _____ от _____

СПРАВКА
о внедрении результатов диссертационного исследования
Жданкина Георгия Валерьевича на тему
«Техника сверхвысокочастотного нагрева вторичного сырья агропредприятий для повышения кормовой ценности»

Настоящей справкой подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Жданкина Г.В. на тему «Техника сверхвысокочастотного нагрева вторичного сырья агропредприятий для повышения кормовой ценности» ***имеют практическую значимость***

Практическую значимость представляют:

- методологические основы создания сверхвысокочастотной (2450 МГц) установки, реализующей технологию термообработки вторичного сырья агропредприятий для повышение кормовой ценности;
- комплекс конструкционно-технологических параметров и режимы работы сверхвысокочастотных установок, обоснованных с учетом результатов исследований физико-механических, микробиологических и органолептических показателей, характеризующих кормовую ценность сырья;
- разработанные пространственные модели многогенераторных сверхвысокочастотных установок с маломощными магнетронами с воздушным охлаждением для термообработки вторичного сельскохозяйственного сырья, технические решения которых защищены 22 патентами РФ;
- созданная, апробированная в производственных условиях многогенераторная сверхвысокочастотная установка непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором, обеспечивающим электромагнитную безопасность, высокую напряженность электрического поля, достаточную для обеззараживания сырья в процессе термообработки измельченных и обезвоженных непищевых

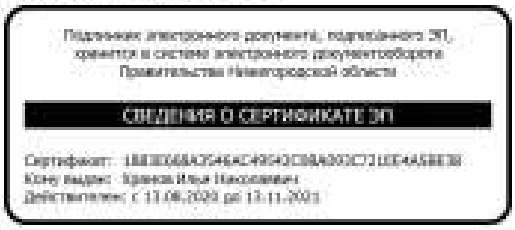
отходов убоя животных и птиц. Результаты исследований доведены до стадии практического применения.

Рисунок – Опытный образец сверхвысокочастотной установки непрерывно-поточного действия для термообработки непищевых отходов животного происхождения в фермерских хозяйствах

Технические характеристики сверхвысокочастотной установки

Производительность, кг/ч	30-40
Потребляемая мощность СВЧ установки, кВт	6,08
Потребляемая мощность СВЧ установки без измельчителя, кВт	4,28
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,24
Мощность перемешивающего диска, кВт	0,32
Мощность измельчителя, кВт	1,8
Мощность центрифуги, кВт	0,32
Потребляемая мощность трех СВЧ генераторов, кВт	3,4
Удельные энергетические затраты без измельчения, кВт·ч/кг	0,15-0,2
Габаритные размеры, м	0,8x0,8x1,5

Инновационные технологии и сверхвысокочастотные установки непрерывно-поточного действия с эффективными конструкционными исполнениями рабочих камер могут быть использованы с целью термообработки непищевых отходов животного происхождения для повышения рентабельности переработки продукции животноводства в фермерских хозяйствах.



И.Н. Храмов

ПРИЛОЖЕНИЯ 2 -
Акты об использования результатов исследования в учебном процессе

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
**«НИЖЕГОРОДСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**
(ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА)

Гагарина пр., д. 97, г. Нижний Новгород, 603107
тел. 8 (831) 214-33-49, 8 (831) 214-33-48
E-mail: ngsha-kancel-1@bk.ru, http://www.nnsaa.ru
ОКПО 00493267,ОГРН 1025203560799
ИНН/КПП 5261002795/526101001

7.04.2021 № 01-19/263-ис
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Врио ректора
ФГБОУ ВО Нижегородская
ГСХА, доктор социологических наук

_____ **Н.Ю. Бармин**
_____ 2021 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе материалов диссертационной работы **Жданкина Георгия Валерьевича** на тему «ТЕХНИКА СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРЕВА ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ АГРОПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОРМОВОЙ ЦЕННОСТИ»

Комиссия в составе:

Председатель – Басонов Орест Антипович, проректор по научной и инновационной работе, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

члены комиссии:

Пасин Александр Валентинович – декан инженерного факультета, доктор технических наук, профессор,

Горбунов Борис Иванович – заведующий кафедрой «Механизация животноводства и электрификация сельского хозяйства», доктор технических наук, профессор,

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Техника сверхвысокочастотного нагрева вторичного сырья агропредприятий для повышения кормовой ценности», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве,

использованы в учебном процессе при чтении лекций, проведении лабораторно-практических занятий у бакалавров и магистров по направлению подготовки «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» по дисциплинам «Процессы и аппараты», «Техника и технологии в сельском хозяйстве», «Электрические машины».

Для выполнения домашних заданий, курсовых и квалификационных работ, а также магистерских диссертаций в библиотеке академии имеются в наличии:

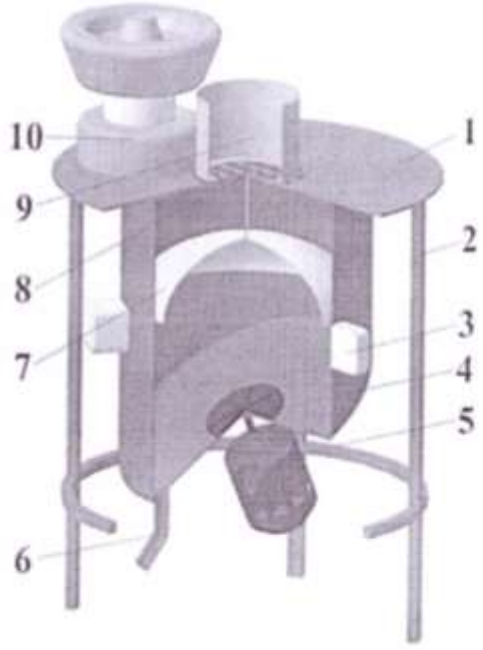
Для выполнения домашних заданий, курсовых и квалификационных работ, а также магистерских диссертаций в библиотеке вуза имеются в наличии:

- ***монография*** – Жданкин Г.В. Техника СВЧ нагрева вторичного сырья агропредприятий для повышения кормовой ценности / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова // Монография. Княгинино: ГБОУ ВО НГИЭУ, 2021. 297 с.
- ***учебное пособие*** – Жданкин, Г.В. Основы патентоведения и научно-технические разработки для реализации микроволновой технологии в переработке сырья АПК: / Г.В. Жданкин, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова. Г.В. Новикова, В.Ф. Сторчевой // учебное пособие. Княгинино: ГБОУ ВО НГИЭУ, 2021. 526 с. ISBN 978-5-907246-86-7.
- ***патенты***, подтверждающие новизну конструкционных исполнений разработанных установок с такие объемными резонаторами как: сферические (2626156, 2629221, 2636155, 2667751, 2660906); цилиндрические открытые, щелевые, винтовые, многоярусные (2629259, 2671712, 2671714, 2636156, 2661372, 2636156); шнековый (2679203); квазистационарные тороидальные (2629220, 2629159, 2703940, 2703944); коаксиальный (2671710); конические (2690482, 2710154), биконический (2729151), тетроконический (2694179); комбинированный (2729153).
- ***доступ к публикациям в изданиях, определенных ВАК РФ*** (27 наименований), в том числе:

1. Жданкин, Г.В. Microwave installation with conical resonators for the heat treatment of inedible meat wastes (Микроволновые установки с коническими резонаторами для термообработки непищевых мясных отходов) / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, В.Г. Семенов // Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan (Series of geology and technical sciences) (Известия Национальной академии наук Республики Казахстан). Volume 2, Number 428. 2018, P. 44-54. (Журнал принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии **Web of Science).**
2. Жданкин, Г.В. Installation for complex influence of electrophysical factors on raw materials (Установка для комплексного воздействия электрофизических факторов на сырье) / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, М.В. Белова, В.Г. Семенов // Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan (Series of geology and technical sciences) (Известия Национальной академии наук Республики Казахстан). Volume, Number. 4(436). 2019, P.54-61. Журнал принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии **Web of Science.**
3. Жданкин, Г.В. Justification of parameters of the microwave installation with mobile resonators for heat treatment of non-food eggs (Обоснование параметров микроволновой установки с передвижными резонаторами для термообработки непищевых яиц) / О.И. Орлова, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова, В.Г. Семенов // Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan (Series of geology and technical sciences) (Известия Национальной академии наук Республики Казахстан). Volume, Number 5. 2019. P 53-59. Журнал принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии **Web of Science.**
4. Жданкин Г.В. Development of ultra-high-frequency installation of container type for heat treatment of blood and fat-containing raw materials. (Разработка сверхвысокочастотной установки контейнерного типа для термообработки крови и жиросодержащего сырья) / Белова М.В., Жданкин Г.В., Новикова Г.В //American Journal of Agriculture and Forestry, a peer-reviewed scientific journal dedicated to promoting the advancement of

science and technology. С. 95-105. Американский журнал сельского и лесного хозяйства, рецензируемый научный журнал, посвященный содействию развитию науки и техники. ISSN печатной версии: 2330-8583. **Web of Science.**
5. Zhdankin, G.V. Survey on UHF Device Operating Modes for Thermal Treatment and Disinfection of Nonfood Animal-Origin Raw Materials (Исследование режимов работы СВЧ-устройств для термической обработки и обеззараживания непищевого сырья животного происхождения) / G.V. Zhdankin, V.F. Storchevoy, G.V. Novikova, P.M. Umanskya. ISSN 1068-3674, Russian Agricultural Sciences, 2020, Vol. 46, No. 1, pp. 94–99. Allerton Press, Inc., 2020. Russian Text The Author(s), 2019, published in Rossiiskaya Sel'skokhozyaistvennaya Nauka, 2019, No. 6, pp. 65–69. (Российские сельскохозяйственные науки, 2020, Т. 46, № 1, с. 94-99. © Allerton Press, Inc., 2020. Русский текст опубликован в «Российские сельскохозяйственные наука», 2019, № 6, с. 65-69. **Scopus.**

Соискатель разработал микроволновую технологию и изготовил опытный образец сверхвысокочастотной установки непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором для термообработки непищевых отходов животного происхождения. Установка состоит из измельчающего и центрифугирующего устройств 10, комбинированного резонатора 7 с маломощными магнетронами 3 с воздушным охлаждением, экранирующего корпуса 1. Верхняя часть комбинированного резонатора представлена полусферой 7, центральная часть – образующей цилиндра, а нижняя часть – наклонным конусом. На дне резонатора расположен диск 4 и выгрузной патрубок. Измельченное сырье влажностью до 65 % попадает в центрифугу, далее твердая фракция падает на поверхность полусферы, свободно подвешенной с центральной точки 8.



Диаметр направляющей трубы меньше, чем диаметр полусферы. Между ними имеется кольцевой зазор, через который твердая фракция сырья, при колебании полусферы, соскальзывает с его поверхности и падает в комбинированный резонатор. Регулированием высоты подвеса полусферы можно изме-

нить объем резонатора. Зазор, предназначенный для загрузки сырья в резонаторную камеру, не превышает четверти длины волны. Магнетроны установлены со сдвигом на 120 градусов с наружной стороны боковой поверхности резонатора. Твердая фракция мягких непищевых отходов подвергается в резонаторе воздействию электромагнитного поля сверхвысокой частоты (2450 МГц), варится, обеззараживается и выгружается через патрубок с шаровым краном.

Использование представленных в диссертации результатов научных исследований, патентов на изобретения и монографии позволит освоить инновационные технологии в области применения электромагнитных излучений в процессах переработки сельскохозяйственной продукции, и изготовить лабораторные стенды для изучения основных разделов обязательных дисциплин, входящих в вариативную часть учебного плана.

Председатель комиссии: _____ О.А. Басонов
bassonov.64@mail.ru
Члены комиссии:
pasin_av@mail.ru _____ А.В. Пасин

mg_ngsha@rambler.ru _____ Б.И. Горбунов

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Казанский ГАУ)

УТВЕРЖДАЮ:
Ректор ФГБОУ ВО Казанский ГАУ,
доктор экономических наук,
профессор, академик АН РТ
Д.И. Файзрахманов
«04» июня 2018 г.

АКТ
об использовании (внедрении) результатов
научно-исследовательской работы в учебном процессе

Мы, директор Института механизации и технического сервиса, доктор технических наук, доцент Яхин Сергей Мирбатович и зав. кафедрой машин и оборудования в агробизнесе, доктор технических наук, профессор, профессор РАН Зиганшин Булат Гусманович, составили настоящий акт о том, что результаты научных исследований по теме: «***Разработка технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения и СВЧ установок для повышения кормовой ценности***», кандидата экономических наук, доцента ***Жданкина Георгия Валерьевича,*** проректора по учебно-методической работе ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия» используются в учебном процессе со студентами по специальности «Механизация переработки сельскохозяйственной продукции» и по направлению «Агроинженерия».

Материалы используются при чтении лекций, проведении лабораторно-практических занятий по дисциплинам: «Механизация и автоматизация технологических процессов животноводства», «Электрооборудование и средства автоматизации».

Для выполнения домашних заданий, курсовых и квалификационных работ в библиотеке университета имеется в наличии монография – Жданкин, Г.В. СВЧ установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения // Монография. – Н. Новгород: ФГБОУ ВО НГСХА, 2018. – 200 с.

Новизна конструкционных исполнений разработанных и изготовленных сверхвысокочастотных установок, предназначенных для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме, защищена патентами РФ на изобретения:

1) № 2626156 РФ, МПК A 23 N17/00. Радиоволновые установки для термообработки сырья / Г.В. Жданкин, А.А. Белов, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133572; заявл. 15.08.2016. Бюл. № 21 от 2107.2017. – 12 с.

2) № 2629221 РФ, МПК A 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с резонатором, образованным между двумя сферами для термомеханического разрушения сырья / Г.В. Жданкин, А.А. Белов, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентооб-

ладатель НГСХА (RU). – № 2016133535; заявл.15.08.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 13 с.
3) № 2629221 РФ, МПК А 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с резонатором, образованным между двумя сферами для термомеханического разрушения сырья / Г.В. Жданкин, А.А. Белов, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133535; заявл.15.08.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 11 с.
4) № 2629221 РФ, МПК А 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с резонатором, образованным между двумя сферами для термомеханического разрушения сырья / Г.В. Жданкин, А.А. Белов, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133535; заявл.15.08.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 14 с.
5) № 2629259 РФ, МПК А23К 1/10. Сверхвысокочастотная установка для варки отходов убоя птицы и животных / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016146640; заявл. 28.11.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 10 с.
6) № 2636155 РФ, МПК А23К 1/10. Микроволновая технология извлечения жира из жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова, Б.И. Горбунов; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150318.; заявл.27.09.2016. Бюл. № 26 от 21.11 20017. – 15 с.
7) № 2636156 РФ, МПК А23К 1/10. Устройство для дозирования вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры / Г.В. Жданкин, Е.Ю. Сергеева, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150297; заявл. 20.12.2016. Бюл. № 29 от 21.11 2017. – 15 с.

Использование представленных результатов научных исследований, патентов на изобретения и монографии позволит освоить инновационные технологии и технические средства с источниками электромагнитных излучений сантиметрового диапазона, предназначенные для переработки сельскохозяйственной продукции.

Директор Института механизации и технического сервиса,
доктор технических наук, доцент

Сергей Мирбатович Яхин

Зав. кафедрой машин и оборудования в агробизнесе,
доктор технических наук, профессор, профессор РАН

Булат Гусманович Зиганшин

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Д.Н. ПРЯНИШНИКОВА»
(ФГБОУ ВО ПЕРМСКИЙ ГАТУ)
ул. Петропавловская, д. 23, г. Пермь, ГСП-165, 614990
Тел./факс (342) 217 96 17 **E-mail:** gd@parmail.ru
ОКПО 00493445, **ОГРН** 1025900524451
ИНН/КПП 5902290794/590201001

_____ № _____
На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. ректора
_____ Л.Е. Красильникова
«___» _____ 2018 г.

АКТ
об использовании (внедрении) результатов научно-исследовательской работы в учебном процессе

Настоящий акт удостоверяет, что результаты научных исследований кандидата экономических наук, доцента ***Жданкина Георгия Валерьевича,*** первого проректора, проректора по учебно-методической работе ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия» на тему: «***Разработка технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения и СВЧ установок для повышения кормовой ценности»,*** представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве, ***использованы в учебном процессе*** при чтении лекций, проведении лабораторно-практических занятий у бакалавров и магистров по направлению подготовки «Агроинженерия», по дисциплинам: «Машины и оборудование в животноводстве», «Механизация животноводческих ферм», «Механизация сельскохозяйственного производства», «Механизация хранения и переработки сельскохозяйственной продукции».

В материалах научной работы описаны микроволновые технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения и многогенераторные сверхвысокочастотные (СВЧ) установки с маломощными магнетронами, обеспечивающие электромагнитную безопасность при непрерывном режиме работы. Рассмотрено распространение электромагнитных волн сантиметрового диапазона в нетрадиционных сферических, тороидальных, коаксиальных цилиндрических, биконических и комбинированных резонаторах. Приведены результаты вычисления электродинамических параметров СВЧ установок с нетрадиционными резонаторами (в прикладном программном обеспечении CST Microwave Studio), обеспечивающими реализацию основных критериев, предъявляемых к технологическому процессу переработки вторичного сырья в фермерских хозяйствах. Приведены эффективные конструкционно-технологические

параметры и режимы работы СВЧ установок, их технические характеристики и конструкционные особенности. Представлены результаты оценки технико-экономических показателей применения СВЧ установок.

Для выполнения курсовых и квалификационных работ, а также магистерских и аспирантских диссертационных работ имеются *патенты*, подтверждающие новизну конструкционных исполнений разработанных и изготовленных сверхвысокочастотных установок, предназначенных для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме.

1. Патент № 2626156 РФ, МПК А23 N17/00. Радиоволновые установки для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, И.Г. Ершова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133572; заявл. 15.08.2016. Бюл. № 21 от 21.07.2017. – 14 с.

2. Патент № 2629221 РФ, МПК А 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с резонатором, образованным между двумя сферами для термомеханического разрушения сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133535; заявл.15.08.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 13 с.

3. Патент № 2629220 РФ, МПК А 23 N17/00. Установка с движущимися источниками СВЧ энергии для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133500; заявл. 01.08.16. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 15 с.

4. Патент № 2629159 РФ, МПК А 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с тороидальным резонатором и с ячеистым ротором для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133524; заявл.15.08.2016. Бюл. № 24 от 24.08.2017. – 14 с.

5. Патент № 2629259 РФ, МПК А23К 1/10. Сверхвысокочастотная установка для варки отходов убоя птицы и животных / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016146640; заявл. 28.11.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 15 с.

6. Патент № 2636155 РФ, МПК А23К 1/10. Микроволновая технология извлечения жира из жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова, Б.И. Горбунов; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150318.; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 26 от 21.11. 20017. – 15 с.

7. Патент № 2636156 РФ, МПК А22В5/04. Устройство для дозирования вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры / Г.В. Жданкин, Е.Ю. Сергеева, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150297; заявл. 20.12.2016. Бюл. № 33 от 21.11. 2017. – 12 с.

8. Патент № 2671712 РФ, МПК А23К 1/10. Сверхвысокочастотная установка для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017118884; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 14 с.

9. Патент № 2650540 РФ, МПК А22С17/00. Сверхвысокочастотная установка циклического действия для термообработки мясного сырья / Г.В. Жданкин, В.Ф., А.Г. Самоделкин, Д.В. Поручиков, Г.В. Новикова, М.В. Белова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150295; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 11 от 16.04.2018. – 16 с.

10. Патент № 2667751 РФ, МПК С11В3/04. Сверхвысокочастотная установка со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г.

Самоделкин, Г.В. Новикова, А.С. Шойкин; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150317; заявл. 20.12.2016. Бюл. № 18 от 21.06.18. – 15 с.

11. Патент № 2661372 РФ, МПК A23N17/00. Многоярусная сверхвысокочастотная установка для термообработки влажного сырья в непрерывном режиме / Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ (RU). – № 2017113036; заявл. 14.04.2017. Бюл. № 20 от 16.07.2018. – 15 с.

12. Патент № 2660906 РФ, МПК A22C17/00. Сверхвысокочастотная установка со сферическим резонатором для термообработки сырья животного происхождения в непрерывном режиме / Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ (RU). – № 2017113450; заявл. 18.04.2017. Бюл. № 20 от 11.07.2018. – 11 с.

13. Патент № 2671714 РФ, МПК A22C17/00. Сверхвысокочастотная установка с ячеистым барабаном для термообработки непищевых отходов убоя животных / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова, М.В. Белова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017118881; заявл. 30.05.2017. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 15 с.

14. Патент № 2671710 РФ, МПК A22C17/00. Микроволновая установка для термообработки сырья в процессе измельчения / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, П.В. Зайцев, Е.Ю. Сергеева заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017118717, заявл. 20.02.2017. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 14 с.

15. Патент № 2671699 РФ, МПК BO2C13/04. Сверхвысокочастотная установка с передвижными полусферами для термомеханического разрушения сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133571; заявл.15.08.2016. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 15 с.

Использование представленных в диссертации результатов научных исследований, патентов на изобретения и статьи в журналах из перечня ВАК РФ позволит освоить инновационные технологии в области применения электромагнитных излучений в процессах переработки сельскохозяйственной продукции, и изготовить лабораторные стенды для изучения основных разделов обязательных дисциплин, входящих в вариативную часть учебного плана.

И.о. проректора
по учебной работе — Красильникова Людмила Егоровна
8(342) 212-53-94
prorector_ur@pgsha.ru

И.о. заведующего кафедрой
сельскохозяйственных машин
и оборудования, профессор, д.т.н. — Галкин Василий Дмитриевич

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева»

УТВЕРЖДАЮ:
И.о. проректора по науке и инновационному развитию, д.э.н., профессор С.В. Голубев
«20» декабря 2019 г.

АКТ
об использовании (внедрении) результатов научно-исследовательской работы в учебном процессе

Настоящий акт удостоверяет, что результаты научных исследований кандидата экономических наук, доцента ***Жданкина Георгия Валерьевича*** на тему: «***Разработка технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения и СВЧ установок для повышения кормовой ценности***», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве,

использованы в учебном процессе при чтении лекций, проведении лабораторно-практических занятий у бакалавров и магистров по направлению подготовки «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» по дисциплинам «Электрооборудование», «Проблемы электротехнологии», «Современные проблемы науки и производства в агроинженерии».

В материалах научной работы описаны микроволновые технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения и многогенераторные СВЧ установки с маломощными магнетронами, обеспечивающие электромагнитную безопасность при непрерывном режиме работы. Рассмотрено распространение электромагнитных волн сантиметрового диапазона в нетрадиционных сферических, тороидальных, коаксиальных цилиндрических, биконических и комбинированных резонаторах. Приведены результаты вычисления электродинамических параметров СВЧ установок с нетрадиционными резонаторами (в прикладном программном обеспечении CST Microwave Studio), обеспечивающими реализацию основных критериев, предъявляемых к технологическому процессу переработки вторичного сырья в фермерских хозяйствах. Приведены эффективные конструкционно-технологические параметры и режимы работы СВЧ установок, их технические характеристики и конструкционные особенности. Представлены результаты оценки технико-экономических показателей применения СВЧ установок.

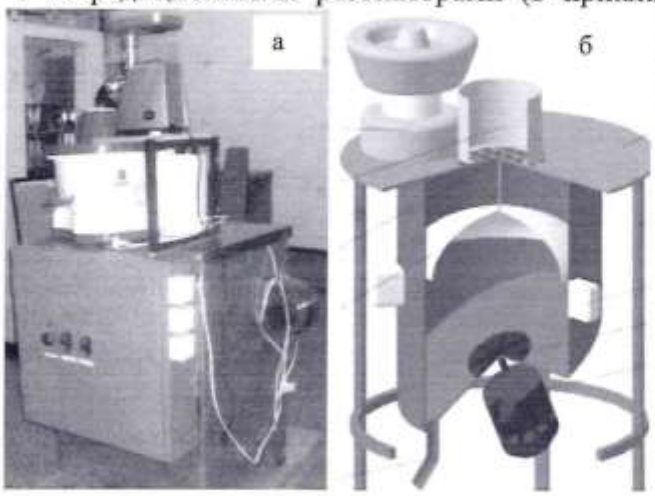


Рисунок – СВЧ установка для измельчения и обезвоживания непищевых мясных отходов, термообработки и обеззараживания твердой фракции сырья
(а – образец, б – пространственное изображение)

Установка состоит из измельчающего и центрифугирующего устройств, комбинированного резонатора в экранирующем корпусе с тремя источниками СВЧ энергии. Верхняя часть резонатора представлена полусферой, центральная часть – образующей цилиндра, а нижняя часть – наклонным конусом. На дне резонатора расположен диск и выгрузной патрубок с шаровым вентилем. Измельченное сырье влажностью до 65 % попадает в центрифугу, далее твердая фракция падает на поверхность полусферы, свободно подвешенной с центральной точки, а оттуда соскальзывает, и через кольцевой зазор падает в комбинированный резонатор.

Для выполнения домашних заданий, курсовых и квалификационных работ, а также магистерских диссертаций в библиотеке университета имеются в наличии *публикации в изданиях, определенных ВАК РФ и патенты*, подтверждающие новизну конструкционных исполнений разработанных и изготовленных сверхвысокочастотных установок, предназначенных для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме.

1. Патент № 2626156 РФ, МПК A23 N17/00. Радиоволновые установки для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133572; заявл. 15.08.2016. Бюл. № 21 от 21.07.2017. – 14 с.
2. Патент № 2629221 РФ, МПК A 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с резонатором, образованным между двумя сферами для термомеханического разрушения сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133535; заявл.15.08.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 13 с.
3. Патент № 2629220 РФ, МПК A 23 N17/00. Установка с движущимися источниками СВЧ энергии для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133500; заявл. 01.08.16. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 15 с.
4. Патент № 2629159 РФ, МПК A 23 N17/00. СВЧ установка с тороидальным резонатором и с ячеистым ротором для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133524; заявл.15.08.2016. Бюл. № 24 от 24.08.2017. – 14 с.
5. Патент № 2629259 РФ, МПК A23K 1/10. Сверхвысокочастотная установка для варки отходов убоя птицы и животных / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016146640; заявл. 28.11.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 15 с.
6. Патент № 2636155 РФ, МПК A23K 1/10. Микроволновая технология извлечения жира из жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова, Б.И. Горбунов; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150318.; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 26 от 21.11. 20017. – 15 с.
7. Патент № 2636156 РФ, МПК A22B5/04. Устройство для дозирования вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150297; заявл. 20.12.2016. Бюл. № 33 от 21.11. 2017. – 12 с.
8. Патент № 2671712 РФ, МПК A23K 1/10. Сверхвысокочастотная установка для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017118884; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 14 с.
9. Патент № 2650540 РФ, МПК A22C17/00. Сверхвысокочастотная установка циклического действия для термообработки мясного сырья / Г.В. Жданкин, В.Ф., А.Г. Самоделкин, Д.В. Поручиков, Г.В. Новикова, М.В. Белова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150295; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 11 от 16.04.2018. – 16 с.
10. Патент № 2667751 РФ, МПК C11B3/04. СВЧ установка со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150317; заявл. 20.12.2016. Бюл. № 18 от 21.06.18. – 15 с.
11. Патент № 2661372 РФ, МПК A23N17/00. Многоярусная СВЧ установка для термообработки влажного сырья в непрерывном режиме / Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ (RU). – № 2017113036; заявл. 14.04.2017. Бюл. № 20 от 16.07.2018. – 15 с.
12. Патент № 2660906 РФ, МПК A22C17/00. СВЧ установка со сферическим резонатором для термообработки сырья животного происхождения в непрерывном режиме / Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ (RU). – № 2017113450; заявл. 18.04.2017. Бюл. № 20 от 11.07.2018. – 11 с.
13. Патент № 2671714 РФ, МПК A22C17/00. СВЧ установка с ячеистым барабаном для термообработки не-

пищевых отходов убоя животных / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова, М.В. Белова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017118881; заявл. 30.05.2017. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 15 с.
14. Патент № 2671710 РФ, МПК А22С17/00. Микроволновая установка для термообработки сырья в процессе измельчения / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, П.В. Зайцев; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017118717, заявл. 20.02.2017. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 14 с.
15. Патент № 2671699 РФ, МПК В02С13/04. СВЧ установка с передвижными полусферами для термомеханического разрушения сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133571; заявл.15.08.2016. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 15 с
16. Патент № 20679203 РФ, МПК А23К 10/00. СВЧ установка для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017108866; заявл. 20.03.2017. Бюл. № 26 от 17.09.2018. – 14 с.

Использование представленных в диссертации результатов научных исследований, патентов на изобретения позволит освоить инновационные технологии в области применения электромагнитных излучений в процессах переработки сельскохозяйственной продукции.

И.о. директор института механики и энергетики имени В.П. Горячкина — Катаев Ю.В.

Зав. кафедрой Электропривода и электротехнологии, к.т.н., профессор — Кабдин Н.Е.

д. т. н., профессор кафедры Электропривода и электротехнологии — Сторчевой В. Ф.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Костромская государственная селькохозяйственная академия»
(ФГБОУ ВО Костромская ГСХА)

УТВЕРЖДАЮ:
Ректор ФГБОУ ВО Костромская ГСХА
к.э.н., доцент
Зудин Сергей Юрьевич

«__» декабря 2018 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе материалов диссертационной работы
Жданкина Георгия Валерьевича на тему
«РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМООБРАБОТКИ НЕПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ И СВЧ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОРМОВОЙ ЦЕННОСТИ»

председатель: **Волхонов Михаил Станиславович** – доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе;

члены комиссии:

Филончиков Александр Васильевич – начальник научно-исследовательской части, доктор технических наук, профессор;

Рожнов Александр Валентинович – декан электроэнергетического факультета, кандидат технических наук, доцент,

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Разработка технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения и СВЧ установок для повышения кормовой ценности», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве,

использованы в учебном процессе при чтении лекций, проведении лабораторно-практических занятий у бакалавров и магистров по направлению подготовки «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» по дисциплинам: «Технологии и технические средства в сельском хозяйстве», «Светотехника и электротехнология», «Специальные виды электротехнологий».

Соискатель разработал более 20 сверхвысокочастотных установок для термообработки непищевых отходов животного происхождения, изготовил несколько установок, в том числе установку с комбинированным резонатором (рис.). СВЧ установка позволяет обезвоживать сырье, обеззараживать и варить твердую фракцию для получения кормового продукта. Установка состоит из стола на котором расположены измельчающее и центрифугирующее устройства, комбинированный резонатора в экранирующем корпусе с тремя источниками СВЧ энергии. Верхняя часть резонатора представлена полусферой, центральная часть – образующей цилиндра, а нижняя часть – наклонным конусом. На дне резонатора расположен диск и выгрузной патрубок с шаровым вентилем.

Измельченное сырье влажностью до 65 % попадает в центрифугу, далее твердая фракция падает на поверхность полусферы, свободно подвешенной с центральной точки с помощью цепи на перекладину, установленную на направляющую трубу. Диаметр направляющей трубы меньше, чем диаметр полусферы, расположенной под направляющей трубой. Между ними имеется кольцевой зазор, через который твердая фракция сырья, при колебании полусферы, соскальзывает с его поверхности и падает в комбинированный резонатор. Зазор, предназначенный для загрузки сырья в резонаторную камеру и диаметр неферромагнитного патрубка с шаровым клапаном для

выгрузки продукта, не может превышать четверть длины волны. К боковой поверхности резонатора пристыкованы волноводы и направлены три излучателя от соответствующих магнетронов. Магнетроны с волноводами установлены со сдвигом на 120 градусов с наружной стороны боковой поверхности резонатора. Твердая фракция мягких непищевых отходов подвергается в резонаторе воздействию ЭМПСВЧ, варится, обеззараживается и выгружается через патрубок с шаровым краном.

Технические характеристики приведены в табл.

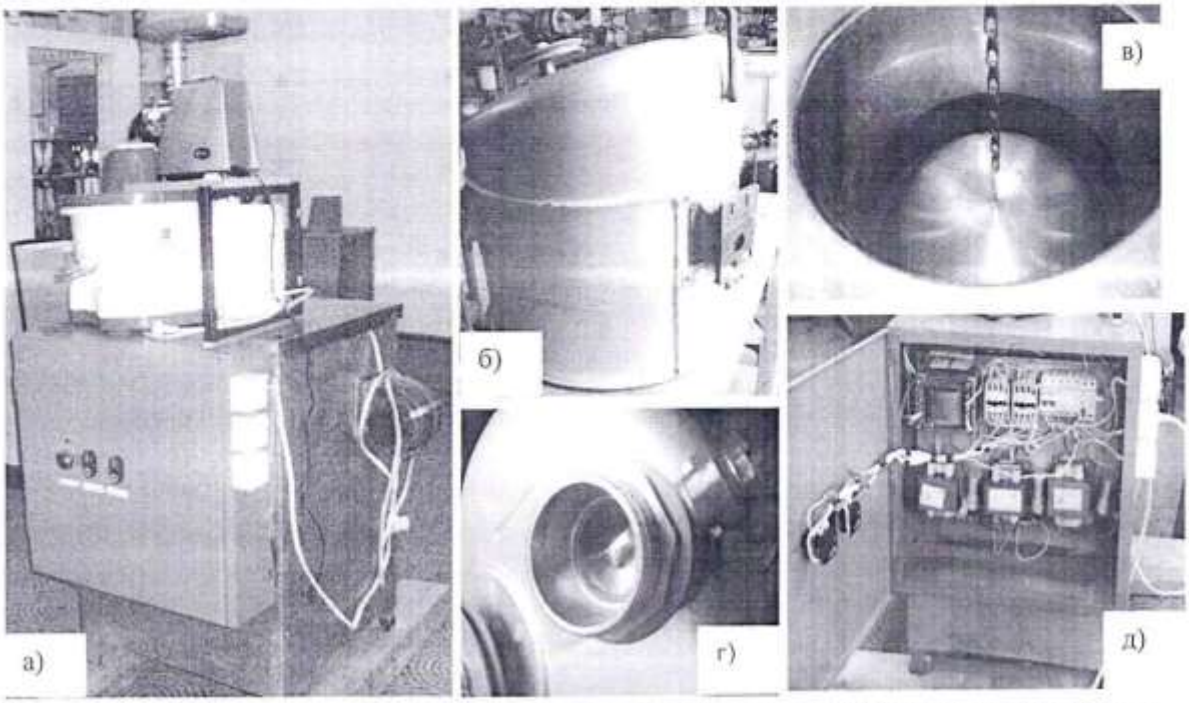


Рисунок – СВЧ установка с комбинированным резонатором: а) установка; б) резонатор с магнетроном и с шаровым краном; в) полусферическая часть резонатора на подвеске в приемным цилиндре; г) шаровой кран и шкиф; д) шкаф управления

Таблица – Технические характеристики СВЧ установки

Производительность, кг/ч	30-40
Потребляемая мощность СВЧ установки, кВт	6,08
Потребляемая мощность СВЧ установки без измельчителя, кВт	4,28
Мощность электродвигателя вентилятора , кВт	0,24
Мощность перемешивающего диска, кВт	0,32
Мощность измельчителя, кВт	1,8
Мощность центрифуги, кВт,	0,32
Потребляемая мощность трех СВЧ генераторов, кВт	3,4
Удельные энергетические затраты без измельчения, кВт·ч/кг	0,15-0,2
Габаритные размеры, м	0,8x0,8x1,5

Для самостоятельной работы, выполнения курсовых, а также выпускных квалификационных работ студентов в библиотеке академии имеется доступ к:

- рефератам патентов, подтверждающих новизну конструкционных исполнений разработанных сверхвысокочастотных установок, предназначенных для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме и основные научные работы.

1. Реферат патента № 2626156 РФ, МПК A23 N17/00. Радиоволновые установки для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, И.Г. Ершова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133572; заявл. 15.08.2016. Бюл. № 21 от 21.07.2017. – 14 с.
2. Реферат патента № 2629221 РФ, МПК A 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с резонатором, образованным между двумя сферами для термомеханического разрушения сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель

НГСХА (RU). – № 2016133535; заявл.15.08.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 13 с.
3. Реферат патента № 2629220 РФ, МПК А 23 N17/00. Установка с движущимися источниками СВЧ энергии для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133500; заявл. 01.08.16. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 15 с.
4. Реферат патента № 2629159 РФ, МПК А 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с тороидальным резонатором и с ячеистым ротором для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133524; заявл.15.08.2016. Бюл. № 24 от 24.08.2017. – 14 с.
5. Патент № 2629259 РФ, МПК А23К 1/10. Сверхвысокочастотная установка для варки отходов убоя птицы и животных / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016146640; заявл. 28.11.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 15 с.
6. Реферат патента № 2636155 РФ, МПК А23К 1/10. Микроволновая технология извлечения жира из жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова, Б.И. Горбунов; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150318.; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 26 от 21.11. 20017. – 15 с.
7. Реферат патента № 2636156 РФ, МПК А22В5/04. Устройство для дозирования вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры / Г.В. Жданкин, Е.Ю. Сергеева, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150297; заявл. 20.12.2016. Бюл. № 33 от 21.11. 2017. – 12 с.
8. Реферат патента № 2671712 РФ, МПК А23К 1/10. Сверхвысокочастотная установка для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017118884; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 14 с.
9. Реферат патента № 2650540 РФ, МПК А22С17/00. Сверхвысокочастотная установка циклического действия для термообработки мясного сырья / Г.В. Жданкин, В.Ф., А.Г. Самоделкин, Д.В. Поручиков, Г.В. Новикова, М.В. Белова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150295; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 11 от 16.04.2018. – 16 с.
10. Реферат патента № 2667751 РФ, МПК С11В3/04. Сверхвысокочастотная установка со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова, А.С. Шойкин; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150317; заявл. 20.12.2016. Бюл. № 18 от 21.06.18. – 15 с.
11. Реферат патента № 2661372 РФ, МПК А23N17/00. Многоярусная сверхвысокочастотная установка для термообработки влажного сырья в непрерывном режиме / Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ (RU). – № 2017113036; заявл. 14.04.2017. Бюл. № 20 от 16.07.2018. – 15 с.
12. Реферат патента № 2660906 РФ, МПК А22С17/00. Сверхвысокочастотная установка со сферическим резонатором для термообработки сырья животного происхождения в непрерывном режиме / Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ (RU). – № 2017113450; заявл. 18.04.2017. Бюл. № 20 от 11.07.2018. – 11 с.
13. Реферат патента № 2671714 РФ, МПК А22С17/00. Сверхвысокочастотная установка с ячеистым барабаном для термообработки непищевых отходов убоя животных / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова, М.В. Белова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017118881; заявл. 30.05.2017. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 15 с.
14. Реферат патента № 2671710 РФ, МПК А22С17/00. Микроволновая установка для термообработки сырья в процессе измельчения / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, П.В. Зайцев, Е.Ю. Сергеева заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017118717, заявл. 20.02.2017. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 14 с.
15. Реферат патента № 2671699 РФ, МПК ВО2С13/04. Сверхвысокочастотная установка с передвижными полусферами для термомеханического разрушения сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133571; заявл.15.08.2016. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 15 с.

Статьи, опубликованные в изданиях, определенных ВАК РФ:

1. Жданкин, Г.В. Разработка радиоволновых установок для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: 2016, № 10 (65). – С. 7-15.

2. Жданкин, Г.В. Разработка сверхвысокочастотной установки с передвижными резонаторами / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, О.В. Михайлова, Г.С. Юнусов // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: НГИЭУ № 12 (67), 2016. – С. 35-40.
3. Жданкин, Г.В. Совершенствование и обоснование параметров СВЧ установки с тороидальным резонатором и с ячеистым ротором для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова // Вестник НГИЭИ, 2017, № 3 (70). – С. 57-66.
4. Жданкин, Г.В. Обоснование параметров СВЧ установки с концентрическими сферами для термомеханического разрушения сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: НГИЭИ, 2017, № 4 (71). – С. 50-59.
5. Жданкин, Г.В. Разработка и обоснование параметров установки с движущимися источниками сверхвысокочастотной энергии для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: НГИЭИ, 2017, № 7 (74). – С. 44-54.
6. Жданкин, Г.В. Разработка сверхвысокочастотной установки для термообработки непищевых боенских отходов / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова // Пермский аграрный Вестник – Пермь: ФГБОУ ВО «Пермский ГАУ», 2017, № 4(20). – С. 54-64.
7. Жданкин, Г.В. Разработка и обоснование параметров установки для диэлектрического нагрева непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, Н.К. Кириллов // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: НГИЭИ, 2017, № 2(69). – С. 61-71.
8. Жданкин, Г.В. Разработка и обоснование параметров центробежной установки для термообработки боенских отходов / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова // Вестник Казанского ГАУ. – Казань: Казанский ГАУ, 2017, № 2(44). – С. 75-85.
9. Жданкин, Г.В. Разработка и обоснование параметров СВЧ установки со сферическим резонатором для термообработки боенских отходов // Г.В. Жданкин, Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова // Вестник Казанского ГАУ. – Казань: Казанский ГАУ, 2017, № 2(44). – С. 90-98.
10. Жданкин, Г.В. Радиоволновые установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения / Г.В. Жданкин, М.В. Белова, О.В. Михайлова, Г.В. Новикова // Известия Оренбургского ГАУ. – Оренбург: ФГБОУ ВО «Оренбургский ГАУ», 2018, № 4(72). – С. 198-202.
11. Жданкин, Г.В. Микроволновая установка для обезвоживания и термообработки непищевых отходов убоя животных / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова // Вестник Алтайского ГАУ. – Барнаул: Алтайский ГАУ, 2018, №74(6) – С. 121-125.
12. Жданкин, Г.В. Разработка технологии и СВЧ установки с коническими резонаторами для термообработки непищевых отходов животного происхождения / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: НИЭУ, 2018, № 10 (89). – С. 55-64.
13. Жданкин, Г.В. Разработка установки и микроволновой технологии термообработки непищевых отходов яиц / О.И. Орлова Г.В. Жданкин, М.В. Белова, О.В. Михайлова // Известия Оренбургского ГАУ. – Оренбург: Оренбургский ГАУ, 2018, № 74(6) – С. 121-124.
14. Жданкин, Г.В. Операционно-технологическая схема переработки мягких непищевых отходов животного происхождения / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, О.В. Михайлова // Инновации в сельском хозяйстве. – М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2018, № 4 (29) – С. 229-236.

Использование представленных результатов научных исследований, патентов на изобретения позволит освоить инновационные технологии в области применения электромагнитных излучений при изучении дисциплин, входящих в вариативную часть учебного плана.

Председатель комиссии:
Проректор по учебной работе,
доктор технических наук, профессор (vms72@mail.ru) М.С. Волхонов

Члены комиссии:
Начальник научно-исследовательской части,
доктор технических наук, профессор (van@ksaa.edu.ru) А.В. Филончиков

Декан электроэнергетического факультета,
кандидат технических наук, доцент (8-4942-419438, rogznov@mail.ru) А.В. Рожнов

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К-Маркса, дом. 38

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по учебной работе
С.В. Ильина
«__» _____ 2019 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе материалов диссертационной работы
Жданкина Георгия Валерьевича на тему
«Разработка технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения и СВЧ установок для повышения кормовой ценности»

Комиссия в составе:
декана технолого-экономического факультета, кандидата педагогических наук, доцента Федоровой Ираиды Алексеевны,
заведующего кафедрой машиноведения, кандидата технических наук, доцента Фадеева Ивана Васильевича;
доцента кафедры, кандидата технических наук, доцента Тончевой Нины Николаевны составили настоящий акт о том, что результаты научной работы соискателя по теме ***«Разработка технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения и СВЧ установок для повышения кормовой ценности»,*** выполненной под научным руководством доктора технических наук, профессора Новиковой Галины Владимировны и доктора технических наук Беловой Марьяны Валентиновны, использованы в учебном процессе при проведении занятий по дисциплине «Общая электротехника».

Соискатель разработал более 20 сверхвысокочастотных установок для термообработки диэлектрического сырья, изготовил несколько установок, в том числе сверхвысокочастотную установку с комбинированной резонаторной камерой, обеспечивающий измельчение, обезвоживание и термообработку сырья в непрерывном режиме с обеспечением электромагнитной безопасности (см. рис.).

Рис. – Сверхвысокочастотная установка для термообработки сырья

Для выполнения квалификационных работ в библиотеке университета имеются в наличии основные научные работы соискателя и научных руководителей, а также16 патентов на изобретения, подтверждающие новизну конструкционных исполнений разработанных сверхвысокочастотных установок, предназначенных для термообработки сырья в непрерывном режиме.

Использование представленных результатов научных исследований, патентов на изобретения позволит освоить инновационные микроволновые технологии для переработки сырья.

Список патентов и статей прилагаются.

Декан технолого-экономического факультета, к. пед. н., доцент И.А. Федорова
Заведующий кафедрой машиноведения, к.т.н., доцент И.В. Фадеев
К.т.н., доцент, доцент кафедры Н.Н. Тончева

Министерство образования и молодежной политики Чувашской Республики
Автономная некоммерческая профессиональная образовательная организация
«Академия технологии и управления»
429950, Чувашская Республика, г. Новочебоксарск, ул. Коммунистическая, 37

УТВЕРЖДАЮ:
Ректор АНПОО»
доктор биологических наук,
профессор Селиванов И.М.
«14» апреля 2019г.

АКТ
об использовании в учебном процессе материалов диссертационной работы
Жданкина Георгия Валерьевича на тему
«РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМООБРАБОТКИ НЕПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ И СВЧ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОРМОВОЙ ЦЕННОСТИ»

Комиссия в составе:
председатель – советник ректора Махоткина Наталья Ивановна, кандидат философских наук, доцент,
член комиссии – проректор по профессиональному образованию ***Сергеева Татьяна Николаевна составили настоящий акт о том***, что результаты научной работы «Разработка технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения и СВЧ установок для повышения кормовой ценности», выполненной под научным руководством докторов технических наук ***Новиковой Галины Владимировны и Беловой Марьяны Валентиновны***
использованы в учебном процессе при проведении занятий у студентов по специальности «Технология продукции общественного питания» (19 02 10).

Соискатель разработал более 20 сверхвысокочастотных установок для термообработки непищевых отходов животного происхождения, изготовил несколько установок, в том числе установку с комбинированным резонатором (рис.). СВЧ установка позволяет обезвоживать сырье, обеззараживать и варить твердую фракцию для получения кормового продукта.

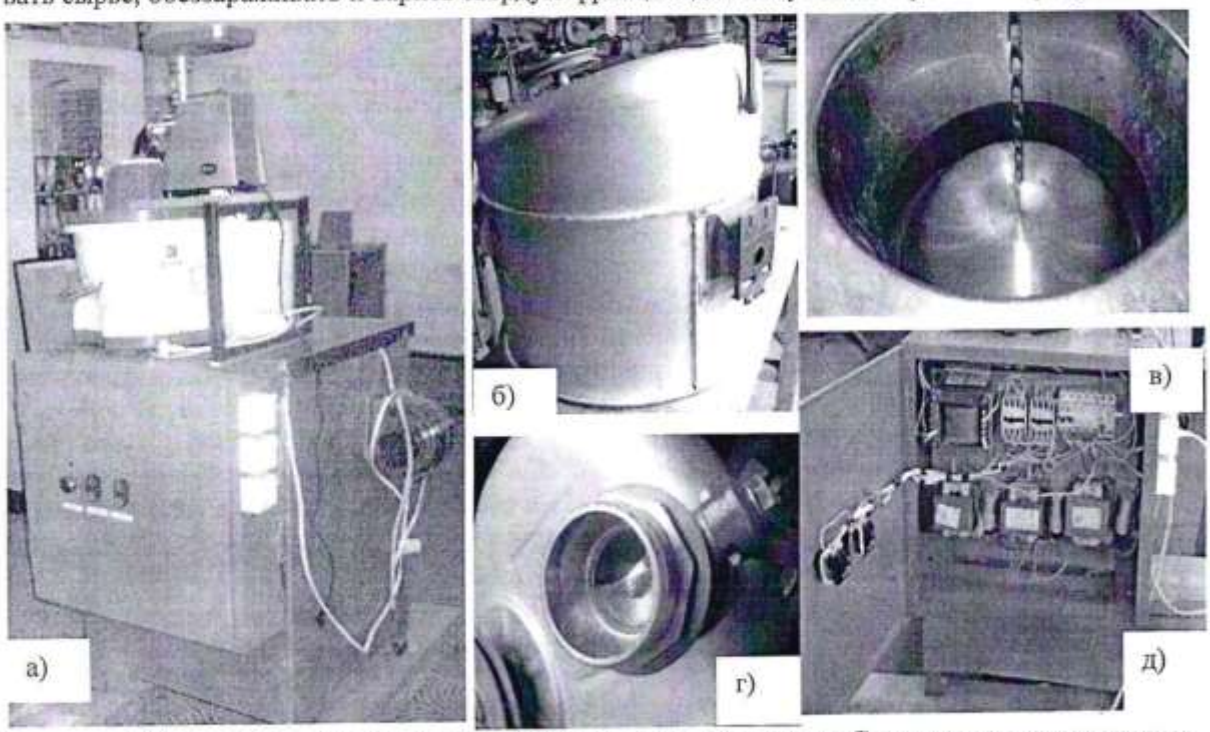


Рисунок – СВЧ установка с комбинированным резонатором: а) установка; б) резонатор с магнетроном и с шаровым краном; в) полусферическая часть резонатора на подвеске в приемным цилиндре; г) шаровой кран и шкиф; д) шкаф управления

Таблица – Технические характеристики СВЧ установки

Производительность, кг/ч	30-40
Потребляемая мощность СВЧ установки, кВт	6,08
Потребляемая мощность СВЧ установки без измельчителя, кВт	4,28
Мощность электродвигателя вентилятора , кВт	0,24
Мощность перемешивающего диска, кВт	0,32
Мощность измельчителя, кВт	1,8
Мощность центрифуги, кВт,	0,32
Потребляемая мощность трех СВЧ генераторов, кВт	3,4
Удельные энергетические затраты без измельчения, кВт·ч/кг	0,15-0,2
Габаритные размеры, м	0,8х0,8х1,5

Для выполнения квалификационных работ в библиотеке академии имеются в наличии:

- патенты, подтверждающие новизну конструкционных исполнений разработанных сверхвысокочастотных установок, предназначенных для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме и основные научные работы.

1. Патент № 2626156 РФ, МПК А23 N17/00. Радиоволновые установки для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, И.Г. Ершова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133572; заявл. 15.08.2016. Бюл. № 21 от 21.07.2017. – 14 с.
2. Патент № 2629221 РФ, МПК А 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с резонатором, образованным между двумя сферами для термомеханического разрушения сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133535; заявл.15.08.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 13 с.
3. Патент № 2629220 РФ, МПК А 23 N17/00. Установка с движущимися источниками СВЧ энергии для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133500; заявл. 01.08.16. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 15 с.
4. Патент № 2629159 РФ, МПК А 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с тороидальным резонатором и с ячеистым ротором для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133524; заявл.15.08.2016. Бюл. № 24 от 24.08.2017. – 14 с.
5. Патент № 2629259 РФ, МПК А23К 1/10. Сверхвысокочастотная установка для варки отходов убоя птицы и животных / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016146640; заявл. 28.11.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 15 с.
6. Патент № 2636155 РФ, МПК А23К 1/10. Микроволновая технология извлечения жира из жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова, Б.И. Горбунов; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150318.; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 26 от 21.11. 20017. – 15 с.
7. Патент № 2636156 РФ, МПК А22В5/04. Устройство для дозирования вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры / Г.В. Жданкин, Е.Ю. Сергеева, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150297; заявл. 20.12.2016. Бюл. № 33 от 21.11. 2017. – 12 с.
8. Патент № 2671712 РФ, МПК А23К 1/10. Сверхвысокочастотная установка для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017118884; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 14 с.
9. Патент № 2650540 РФ, МПК А22С17/00. Сверхвысокочастотная установка циклического действия для термообработки мясного сырья / Г.В. Жданкин, В.Ф., А.Г. Самоделкин, Д.В. Поручиков, Г.В. Новикова, М.В. Белова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150295; заявл. 27.09.2016. Бюл. № 11 от 16.04.2018. – 16 с.
10. Патент № 2667751 РФ, МПК С11В3/04. Сверхвысокочастотная установка со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова, А.С. Шойкин; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – №

2016150317; заявл. 20.12.2016. Бюл. № 18 от 21.06.18. – 15 с.
11. Патент № 2661372 РФ, МПК A23N17/00. Многоярусная сверхвысокочастотная установка для термообработки влажного сырья в непрерывном режиме / Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ (RU). – № 2017113036; заявл. 14.04.2017. Бюл. № 20 от 16.07.2018. – 15 с.
12. Патент № 2660906 РФ, МПК A22C17/00. Сверхвысокочастотная установка со сферическим резонатором для термообработки сырья животного происхождения в непрерывном режиме / Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ (RU). – № 2017113450; заявл. 18.04.2017. Бюл. № 20 от 11.07.2018. – 11 с.
13. Патент № 2671714 РФ, МПК A22C17/00. Сверхвысокочастотная установка с ячеистым барабаном для термообработки непищевых отходов убоя животных / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова, М.В. Белова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017118881; заявл. 30.05.2017. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 15 с.
14. Патент № 2671710 РФ, МПК A22C17/00. Микроволновая установка для термообработки сырья в процессе измельчения / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, П.В. Зайцев, Е.Ю. Сергеева заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2017118717, заявл. 20.02.2017. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 14 с.
15. Патент № 2671699 РФ, МПК BO2C13/04. Сверхвысокочастотная установка с передвижными полусферами для термомеханического разрушения сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133571; заявл.15.08.2016. Бюл. № 31 от 06.11.2018. – 15 с.
16.

Имеются более 20 статьей, опубликованные в изданиях, определенных ВАК РФ.

Использование представленных результатов научных исследований, патентов на изобретения позволит освоить инновационные микроволновые технологии в области технологии продукции общественного питания.

Председатель комиссии – советник ректора,
кандидат философских наук, доцент Н.И. Махоткина

Член комиссии – проректор по профессиональному образованию Т.Н. Сергеева

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно- экономический университет»
(ГБОУ ВО НГИЭУ)
Октябрьская ул., д. 22 а, г. Княгинино,
Нижегородская область, 606340.
30.01.2018 № 647/01-12

УТВЕРЖДАЮ
Ректор ГБОУ ВО НГИЭУ
к.э.н., профессор
_____ Шамин А. Е.
30 января 2018 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Жданкина Георгия Валерьевича на тему
«Разработка технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения и СВЧ установок для повышения кормовой ценности»

Комиссия в составе:

председатель Ганин Дмитрий Владимирович – кандидат экономических наук, доцент, проректор по научной работе и инновационному развитию;

члены комиссии: Мартьянычев Александр Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, директор инженерного института;
Осокин Владимир Леонидович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрификация и автоматизация»

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Разработка технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения и СВЧ установок для повышения кормовой ценности», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

использованы в учебном процессе при чтении лекций, проведении лабораторно-практических занятий у бакалавров и магистров по направлению подготовки «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» по дисциплинам «Электрооборудование», «Проблемы электротехнологии», «Современные проблемы науки и производства в агроинженерии».

Для проведения лабораторных работ разработаны методические указания и сверхвысокочастотная установка с комбинированным резонатором, представленным в виде полусферы, над образующей цилиндра, состыкованного с наклонным конусом (рис. 1). Кольцевой зазор между ними обеспечивает загрузку сырья в резонатор в непрерывном режиме, а шаровой кран обеспе-

чивает дозированную выгрузку продукта.

Рисунок 1. – Установка в учебно-научной лаборатории технологического и энергетического оборудования

Для выполнения домашних заданий, курсовых и квалификационных работ, а также магистерских диссертаций в библиотеке университета имеются в наличии:

- *монография* – Жданкин Г.В. СВЧ установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения // Монография. – Н. Новгород: ФГБОУ ВО НГСХА, 2018. – 200 с;

- *патенты*, подтверждающие новизну конструкционных исполнений разработанных и изготовленных сверхвысокочастотных установок, предназначенных для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме:

1. Патент № 2626156 РФ, МПК A 23 N17/00. Радиоволновые установки для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, И.Г. Ершова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133572; заявл. 15.08.2016. Бюл. № 21 от 2107.2017. – 14 с.
2. Патент № 2629221 РФ, МПК A 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с резонатором, образованным между двумя сферами для термомеханического разрушения сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133535; заявл.15.08.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 13 с.
3. Патент № 2629220 РФ, МПК A 23 N17/00. Установка с движущимися источниками СВЧ энергии для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133500; заявл.01.08.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 15 с.
4. Патент № 2629159 РФ, МПК A 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с тороидальным резонатором и с ячеистым ротором для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016133524; заявл.15.08.2016. Бюл. № 24 от 24.08.2017. – 14 с.
5. Патент № 2629259 РФ, МПК A23K 1/10. Сверхвысокочастотная установка для варки отходов убоя птицы и животных / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016146640; заявл. 28.11.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 15 с.
6. Патент № 2636155 РФ, МПК A23K 1/10. Микроволновая технология извлечения жира из жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова, Б.И. Горбунов; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150318.; заявл.27.09.2016. Бюл. № 26 от 21.11 20017. – 15 с.
7. Патент № 2636156 РФ, МПК A23K 1/10. Устройство для дозирования вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры / Г.В. Жданкин, Е.Ю. Сергеева, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016150297; заявл. 20.12.2016. Бюл. № 29 от 21.11 2017. – 12 с.

Использование представленных в диссертации результатов научных исследований, патентов на изобретения и монографии позволит освоить инновационные технологии в области применения электромагнитных излучений в процессах переработки сельскохозяйственной продукции, и изготовить лабораторные стенды для изучения основных разделов обязательных дисциплин, входящих в вариативную часть учебного плана.

Председатель комиссии: _____ Д. В. Ганин
(e-mail: ngiei135@mail.ru)

Члены комиссии: _____ А. В. Мартьянычев
(e-mail: mav59@list.ru)

_____ В. Л. Осокин
(e-mail: ocokinvl@mail.ru)

СОГЛАСОВАНО:

Первый проректор – проректор
по научной работе
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ
Богданов И.И.
« 1 » декабря 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ
Исайчев В.А.
« 1 » декабря 2020 г.

АКТ
об использовании в учебном процессе материалов диссертационной работы
ЖДАНКИНА ГЕОРГИЯ ВАЛЕРЬЕВИЧА на тему
«ТЕХНИКА СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРЕВА ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ АГРОПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОРМОВОЙ ЦЕННОСТИ»

Комиссия в составе:

председателя – Павлушина Андрея Александровича, декана инженерного факультета, доктора технических наук, профессора кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

членов комиссии:

- Курдюмова Владимира Ивановича, заведующего кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности», доктора технических наук, профессора;
- Хабаровой Виктории Валерьевны, кандидата технических наук, доцента кафедры «Математика и физика» - председателя методического совета инженерного факультета;
- Каняевой Ольги Михайловны, кандидата технических наук, доцента кафедры «Сервис и механика», заместителя декана инженерного факультета по учебной работе;

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы соискателя по специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве Жданкина Георгия Валерьевича на тему «Техника сверхвысокочастотного нагрева вторичного сырья агропредприятий для повышения кормовой ценности», внедрены в учебный процесс по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия и 35.03.06 «Агроинженерия».

Для выполнения домашних заданий, курсовых и квалификационных работ, а также магистерских диссертаций в библиотеке вуза имеются в наличии:

- ***монография*** – Жданкин Г.В. Техника СВЧ нагрева вторичного сырья агропредприятий для повышения кормовой ценности / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова // Монография. Княгинино: ГБОУ ВО НГИЭУ, 2021. 297 с.
- ***учебное пособие*** – Жданкин, Г.В. Основы патентоведения и научно-технические разработки для реализации микроволновой технологии в перера-

ботке сырья АПК: / Г.В. Жданкин, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова. Г.В. Новикова, В.Ф. Сторчевой // учебное пособие. Княгинино: ГБОУ ВО НГИЭУ, 2021. 526 с. ISBN 978-5-907246-86-7

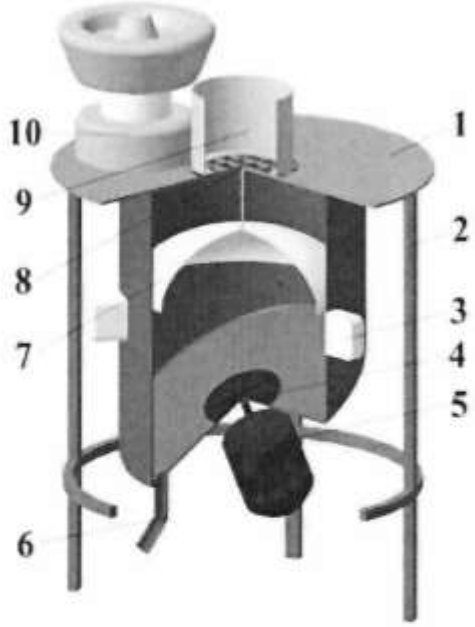
- ***патенты***, подтверждающие новизну конструкционных исполнений разработанных установок с такие объемными резонаторами как: сферические (2626156, 2629221, 2636155, 2667751, 2660906); цилиндрические открытые, щелевые, винтовые, многоярусные (2629259, 2671712, 2671714, 2636156, 2661372, 2636156); шнековый (2679203); квазистационарные тороидальные (2629220, 2629159, 2703940, 2703944); коаксиальный (2671710); конические (2690482, 2710154), биконический (2729151), тетроконический (2694179); комбинированный (2729153).

- ***доступ к публикациям в изданиях, определенных ВАК РФ*** (27 наименований), в том числе:

1. Жданкин, Г.В. Microwave installation with conical resonators for the heat treatment of inedible meat wastes (Микроволновые установки с коническими резонаторами для термообработки непищевых мясных отходов) / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, В.Г. Семенов // Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan (Series of geology and technical sciences) (Известия Национальной академии наук Республики Казахстан). Volume 2, Number 428. 2018, P. 44-54. (Журнал принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии **Web of Science).**
2. Жданкин, Г.В. Installation for complex influence of electrophysical factors on raw materials (Установка для комплексного воздействия электрофизических факторов на сырье) / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, М.В. Белова, В.Г. Семенов // Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan (Series of geology and technical sciences) (Известия Национальной академии наук Республики Казахстан). Volume, Number. 4(436). 2019, P.54-61. Журнал принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии **Web of Science.**
3. Жданкин, Г.В. Justification of parameters of the microwave installation with mobile resonators for heat treatment of non-food eggs (Обоснование параметров микроволновой установки с передвижными резонаторами для термообработки непищевых яиц) / О.И. Орлова, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова, В.Г. Семенов // Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan (Series of geology and technical sciences) (Известия Национальной академии наук Республики Казахстан). Volume, Number 5. 2019. P 53-59. Журнал принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии **Web of Science.**
4. Жданкин Г.В. Development of ultra-high-frequency installation of container type for heat treatment of blood and fat-containing raw materials. (Разработка сверхвысокочастотной установки контейнерного типа для термообработки крови и жиросодержащего сырья) / Белова М.В., Жданкин Г.В., Новикова Г.В //American Journal of Agriculture and Forestry, a peer-reviewed scientific journal dedicated to promoting the advancement of science and technology. С. 95-105. Американский журнал сельского и лесного хозяйства, рецензируемый научный журнал, посвященный содействию развитию науки и техники. ISSN печатной версии:

2330-8583. **Web of Science.**
5. Zhdankin, G.V. Survey on UHF Device Operating Modes for Thermal Treatment and Disinfection of Nonfood Animal-Origin Raw Materials (Исследование режимов работы СВЧ-устройств для термической обработки и обеззараживания непищевого сырья животного происхождения) / G.V. Zhdankin, V.F. Storchevoy, G.V. Novikova, P.M. Umanskya. ISSN 1068-3674, Russian Agricultural Sciences, 2020, Vol. 46, No. 1, pp. 94–99. Allerton Press, Inc., 2020. Russian Text The Author(s), 2019, published in Rossiiskaya Sel'skokhozyaistvennaya Nauka, 2019, No. 6, pp. 65–69. (Российские сельскохозяйственные науки, 2020, Т. 46, № 1, с. 94-99. © Allerton Press, Inc., 2020. Русский текст опубликован в «Российские сельскохозяйственные наука», 2019, № 6, с. 65-69. **Scopus.**

Соискатель разработал микроволновую технологию и изготовил опытный образец сверхвысокочастотной установки непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором для термообработки непищевых отходов животного происхождения. Установка состоит из измельчающего и центрифугирующего устройств 10, комбинированного резонатора 7 с маломощными магнетронами 3 с воздушным охлаждением, экранирующего корпуса 1. Верхняя часть комбинированного резонатора представлена полусферой 7, центральная часть – образующей цилиндра, а нижняя часть – наклонным конусом. На дне резонатора расположен диск 4 и выгрузной патрубок. Измельченное сырье влажностью до 65 % попадает в центрифугу, далее твердая фракция падает на поверхность полусферы, свободно подвешенной с центральной точки 8.



Диаметр направляющей трубы меньше, чем диаметр полусферы. Между ними имеется кольцевой зазор, через который твердая фракция сырья, при колебании полусферы, соскальзывает с его поверхности и падает в комбинированный резонатор. Регулированием высоты подвеса полусферы можно изменить объем резонатора. Зазор, предназначенный для загрузки сырья в резонаторную

камеру, не превышает четверти длины волны. Магнетроны установлены со сдвигом на 120 градусов с наружной стороны боковой поверхности резонатора. Твердая фракция мягких непищевых отходов подвергается в резонаторе воздействию электромагнитного поля сверхвысокой частоты (2450 МГц), варится, обеззараживается и выгружается через патрубок с шаровым краном.

Председатель комиссии:

Декан инженерного факультета,
доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры «Агротехнологии, машины
и безопасность жизнедеятельности»
andrejpavlu@yandex.ru

Павлушин А.А.

Члены комиссии:

Курдюмов В.И.

Хабарова В.В.

Каняева О.М.

Подпись Павлушина А.А. Курдюмова В.И. Хабаровой В.В. Каняевой О.М.
фио
заверяю:
Ученый секретарь Ученого совета
Н.Н.Аксенова
«1» 12 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке
ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ
_____ Канбанов Р.Ф.
_____ 2021

АКТ

об использовании в учебном процессе материалов диссертационной работы
ЖДАНКИНА ГЕОРГИЯ ВАЛЕРЬЕВИЧА
на тему
«ТЕХНИКА СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРЕВА ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ АГРОПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОРМОВОЙ ЦЕННОСТИ»

Комиссия в составе:
председатель - проректор по учебно-методической работе, ктн., доцент Поярков М.С.;
члены комиссии: заведующий кафедрой технологического и энергетического оборудования, д.т.н., профессор Мохнаткин В.Г., доцент кафедры технологического и энергетического оборудования, к.т.н., доцент Солонщиков П.Н., доцент кафедры технологического и энергетического оборудования, к.т.н., доцент Горбунов Р.М.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы соискателя по специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве Жданкина Георгия Валерьевича на тему «Техника сверхвысокочастотного нагрева вторичного сырья агропредприятий для повышения кормовой ценности», внедрены в учебный процесс по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия по программе «Технологии и технические средства в сельском хозяйстве» и 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Автомобили и технические системы в агробизнесе».

Для выполнения домашних заданий, курсовых и квалификационных работ, а также магистерских диссертаций в библиотеке вуза имеются в наличии:

- ***монография*** – Жданкин Г.В. Техника СВЧ нагрева вторичного сырья агропредприятий для повышения кормовой ценности / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова // Монография. Княгинино: ГБОУ ВО НГИЭУ, 2021. 297 с.

- ***учебное пособие*** – Жданкин, Г.В. Основы патентоведения и научно-технические разработки для реализации микроволновой технологии в переработке сырья АПК: / Г.В. Жданкин, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова.

Г.В. Новикова, В.Ф. Сторчевой // учебное пособие. Княгинино: ГБОУ ВО НГИЭУ, 2021. 526 с. ISBN 978-5-907246-86-7

- ***патенты***, подтверждающие новизну конструкционных исполнений разработанных установок с такие объемными резонаторами как: сферические (2626156, 2629221, 2636155, 2667751, 2660906); цилиндрические открытые, щелевые, винтовые, многоярусные (2629259, 2671712, 2671714, 2636156, 2661372, 2636156); шнековый (2679203); квазистационарные тороидальные (2629220, 2629159, 2703940, 2703944); коаксиальный (2671710); конические (2690482, 2710154), биконический (2729151), тетроконический (2694179); комбинированный (2729153).

- доступ к публикациям в изданиях, определенных ВАК РФ (27 наименований), в том числе:

1. Жданкин, Г.В. Microwave installation with conical resonators for the heat treatment of inedible meat wastes (Микроволновые установки с коническими резонаторами для термообработки непищевых мясных отходов) / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, В.Г. Семенов // Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan (Series of geology and technical sciences) (Известия Национальной академии наук Республики Казахстан). Volume 2, Number 428. 2018, P. 44-54. (Журнал принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии **Web of Science).**

2. Жданкин, Г.В. Installation for complex influence of electrophysical factors on raw materials (Установка для комплексного воздействия электрофизических факторов на сырье) / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, М.В. Белова, В.Г. Семенов // Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan (Series of geology and technical sciences) (Известия Национальной академии наук Республики Казахстан). Volume, Number. 4(436). 2019, P.54-61. Журнал принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии **Web of Science.**

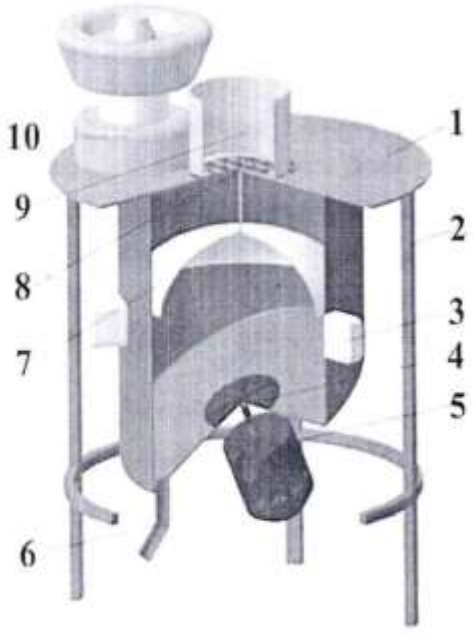
3. Жданкин, Г.В. Justification of parameters of the microwave installation with mobile resonators for heat treatment of non-food eggs (Обоснование параметров микроволновой установки с передвижными резонаторами для термообработки непищевых яиц) / О.И. Орлова, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, М.В. Белова, В.Г. Семенов // Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan (Series of geology and technical sciences) (Известия Национальной академии наук Республики Казахстан). Volume, Number 5. 2019. P 53-59. Журнал принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии **Web of Science.**

4. Жданкин Г.В. Development of ultra-high-frequency installation of container type for heat treatment of blood and fat-containing raw materials. (Разработка сверхвысокочастотной установки контейнерного типа для термообработки крови и жиросодержащего сырья) / Белова М.В., Жданкин Г.В., Новикова Г.В //American Journal of Agriculture and Forestry, a peer-reviewed scientific journal dedicated to promoting the advancement of science and technology. С. 95-105. Американский журнал сельского и лесного хозяйства, рецензируемый научный журнал, посвященный содействию развитию науки и техники. ISSN печатной

версии: 2330-8583. **Web of Science.**

5. Zhdankin, G.V. Survey on UHF Device Operating Modes for Thermal Treatment and Disinfection of Nonfood Animal-Origin Raw Materials (Исследование режимов работы СВЧ-устройств для термической обработки и обеззараживания непищевого сырья животного происхождения) / G.V. Zhdankin, V.F. Storchevoy, G.V. Novikova, P.M. Umanskya. ISSN 1068-3674, Russian Agricultural Sciences, 2020, Vol. 46, No. 1, pp. 94–99. Allerton Press, Inc., 2020. Russian Text The Author(s), 2019, published in Rossiiskaya Sel'skokhozyaistvennaya Nauka, 2019, No. 6, pp. 65–69. (Российские сельскохозяйственные науки, 2020, Т. 46, № 1, с. 94-99. © Allerton Press, Inc., 2020. Русский текст опубликован в «Российские сельскохозяйственные наука», 2019, № 6, с. 65-69. **Scopus.**

Соискатель разработал микроволновую технологию и изготовил опытный образец сверхвысокочастотной установки непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором для термообработки непищевых отходов животного происхождения. Установка состоит из измельчающего и центрифугирующего устройств 10, комбинированного резонатора 7 с маломощными магнетронами 3 с воздушным охлаждением, экранирующего корпуса 1. Верхняя часть комбинированного резонатора представлена полусферой 7, центральная часть – образующей цилиндра, а нижняя часть – наклонным конусом. На дне резонатора расположен диск 4 и выгрузной патрубок. Измельченное сырье влажностью до 65 % попадает в центрифугу, далее твердая фракция падает на поверхность полусферы, свободно подвешенной с центральной точки 8.



Диаметр направляющей трубы меньше, чем диаметр полусферы. Между ними имеется кольцевой зазор, через который твердая фракция сырья, при колебании полусферы, соскальзывает с его поверхности и падает в

комбинированный резонатор. Регулированием высоты подвеса полусферы можно изменить объем резонатора. Зазор, предназначенный для загрузки сырья в резонаторную камеру, не превышает четверти длины волны. Магнетроны установлены со сдвигом на 120 градусов с наружной стороны боковой поверхности резонатора. Твердая фракция мягких непищевых отходов подвергается в резонаторе воздействию электромагнитного поля сверхвысокой частоты (2450 МГц), варится, обеззараживается и выгружается через патрубок с шаровым краном.

Председатель комиссии:

Проректор по учебно-методической работе, к.т.н., доцент М.С.Поярков

Члены комиссии:

Заведующий кафедрой технологического и энергетического оборудования, д.т.н., профессор В.Г.Мохнаткин

Доцент кафедры технологического и энергетического оборудования, к.т.н., доцент П.Н.Солонщиков

Доцент кафедры технологического и энергетического оборудования, к.т.н., доцент Р.М.Горбунов

УДОСТОВЕРЯЮ ПОДПИСЬ
Поярков М.С., Мохнаткина В.Г.,
Солонщикова П.Н., Горбунова Р.М.
Ученый секретарь ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ
25.03.2021

Общество с ограниченной ответственностью
«Ардатовский пищекомбинат»
607130 Нижегородская область р.п. Ардатов ул. Ленина дом № 40
телефон (83179) 5-05-54 факс (83179) 5-05-54, e-mail: ardhleb@rambler.ru

№ от 25.03.2021 г.

АКТ

О ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ НЕПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ, разработанной Жданкиным Георгием Валерьевичем

Настоящий акт составлен о том, что в цехе по переработке продукции животноводства проведены испытания микроволновой технологии и многогенераторной сверхвысокочастотной установки непрерывно-поточного действия с комбинированным резонатором для термообработки непищевых отходов животного происхождения.

Установка состоит из измельчающего и центрифугирующего устройств, комбинированного резонатора с маломощными магнетронами с воздушным охлаждением, экранирующего корпуса. Верхняя часть комбинированного резонатора представлена полусферой, центральная часть – образующей цилиндра, а нижняя часть – наклонным конусом. На дне резонатора расположен диск и выгрузной патрубок. Измельченное сырье влажностью до 65 % попадает в центрифугу, далее твердая фракция падает на поверхность полусферы, свободно подвешенной с центральной точки. Диаметр направляющей трубы меньше, чем диаметр полусферы. Между ними имеется кольцевой зазор, через который твердая фракция сырья, при колебании полусферы, соскальзывает с его поверхности и падает в комбинированный резонатор. Регулированием высоты подвеса полусферы можно изменить объем резонатора. Зазор, предназначенный для загрузки сырья в резонаторную камеру, не превышает четверти длины волны, следовательно, электромагнитная безопасность соблюдается. Магнетроны установлены со сдвигом на 120 градусов с наружной стороны боковой поверхности резонатора. Твердая фракция мягких непищевых отходов подвергается в резонаторе воздействию электромагнитного поля сверхвысокой

частоты (2450 МГц), варится, обеззараживается и выгружается через патрубок с шаровым краном.

Техническая характеристика установки

Производительность, кг/ч	30-40
Потребляемая мощность СВЧ установки, кВт	6,08
Потребляемая мощность СВЧ установки без измельчителя, кВт	4,28
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,24
Мощность перемешивающего диска, кВт	0,32
Мощность измельчителя, кВт	1,8
Мощность центрифуги, кВт	0,32
Потребляемая мощность трех СВЧ генераторов, кВт	3,4
Удельные энергетические затраты без измельчения, кВт·ч/кг	0,15-0,2
Габаритные размеры, м	0,8x0,8x1,5

Сырьем служило измельченные непищевые мясные отходы. Вареная продукция имеет выраженный привкус, без посторонних привкусов и запахов. Консистенция – зернистая, цвет однородный по всей массе.

Электромагнитная безопасность контролировали с помощью измерителя электромагнитных излучений ПЗ-33 М. Исследования мощности потока сверхвысокочастотных излучений в зависимости от расстояния до установки показывают, что превышения не происходит (50 мкВт/см^2). Это значит, персонал может работать вблизи СВЧ установки до 4 часов в день. Установка разборная, легко подвергается санитарной обработке.

Испытания подтвердили эффективность и целесообразность использования техники сверхвысокочастотного нагрева вторичного сырья животного происхождения для повышения кормовой ценности продукта. Установка непрерывно-поточного действия обеспечивает электромагнитную безопасность, она позволяет измельчать, обезвоживать, провести термообработку и обеззараживание при низких эксплуатационных затратах.

Директор Козлова И. В.

Инженер Осяев И.К.

Разработчик Жданкин Г. В.

УТВЕРЖДАЮ
АО «Линдовская»
Технический директор
Маслов С.А.

Акт апробирования
результатов научно- исследовательской работы
в производственных условиях

1. Наименование и новизна научно-технического достижения:

1.1.*Технология термообработки и обеззараживания* непищевых отходов убоя птиц и переработки продукции птицеводства с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМПСВЧ).

1.2.*Сверхвысокочастотная установка* для термообработки и обеззараживания сырья предназначена для отделения жидкой фракции от измельченных непищевых отходов убоя птиц и животных, термообработки и обеззараживания твердой фракции. Установка состоит из монтажного стола, на котором расположены измельчающие и сепарирующие устройства, а под столом, в экранирующем корпусе комбинированный резонатор с тремя источниками СВЧ энергии. Верхняя часть резонатора представлена полусферой, центральная часть – образующей цилиндра, а нижняя часть – наклонным конусом. Причем, на дне резонатора, расположен перемешивающий механизм и имеется выгрузной патрубок с шаровым вентилем. Измельченное сырье влажностью до 65 % попадает в центрифугу, далее твердая фракция падает на поверхность полусферического экрана, свободно подвешенного с центральной точки с помощью цепи на перекладину, установленной на направляющую трубу. Диаметр направляющей трубы меньше, чем диаметр полусферического экрана, расположенного под трубой. Между ними имеется кольцевой зазор, через который твердая фракция сырья, при колебании полусферического экрана, соскальзывает с его поверхности и падает в комбинированный резонатор. Зазор, предназначенный для загрузки сырья в резонаторную камеру, не может превышать четверть длины волны. В этом зазоре образуется стоячая электромагнитная волна, которая имеет нулевое амплитудное значение, поэтому волна наружу не распространяется. К боковой поверхности резонатора пристыкованы три излучателя от соответствующих магнетронов. Магнетроны с волноводами установлены со сдвигом на 120 градусов с наружной стороны боковой поверхности резонатора. Твердая фракция мягких непищевых отходов подвергается в резонаторе воздействию ЭМПСВЧ, варится, обеззараживается и выгружается через патрубок с шаровым краном.

2. Организация-разработчик

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», соискатель и руководитель научной школы.

3. Место апробирования

Нижегородская область, АО «Линдовское»

Адрес: 606495, Россия, Нижегородская область, с. Линда, ул. Северная, д. 39.

4. Вид научно-исследовательской работы

Хозяйственная проверка разработанной технологии термообработки и обеззараживания непищевых отходов убоя птиц и переработки мясной продукции птицеводства воздействием электромагнитного поля сверхвысокой частоты, а также апробирование опытного образца установки для реализации предложенной технологии.

В цехе убоя птиц апробирована сверхвысокочастотная установка для термообработки и обеззараживания сырья, производительностью 35 кг/ч.

Таблица 1 – Технические характеристики СВЧ установки

Производительность, кг/ч	30-40
Потребляемая мощность СВЧ установки, кВт	6,08
Потребляемая мощность СВЧ установки без измельчителя, кВт	4,28
Мощность электродвигателя вентилятора , кВт	0,24
Мощность перемешивающего диска, кВт	0,32
Мощность измельчителя, кВт	1,8
Мощность центрифуги, кВт,	0,32
Потребляемая мощность трех СВЧ генераторов, кВт	3,4
Удельные энергетические затраты без измельчения, кВт·ч/кг	0,15-0,2
Частота электромагнитного поля, МГц	2450
Напряженность электрического поля, кВ/см	1-1,5
Габаритные размеры, м	0,8x0,8x1,5
Стоимость установки, тыс. руб	60 тыс.

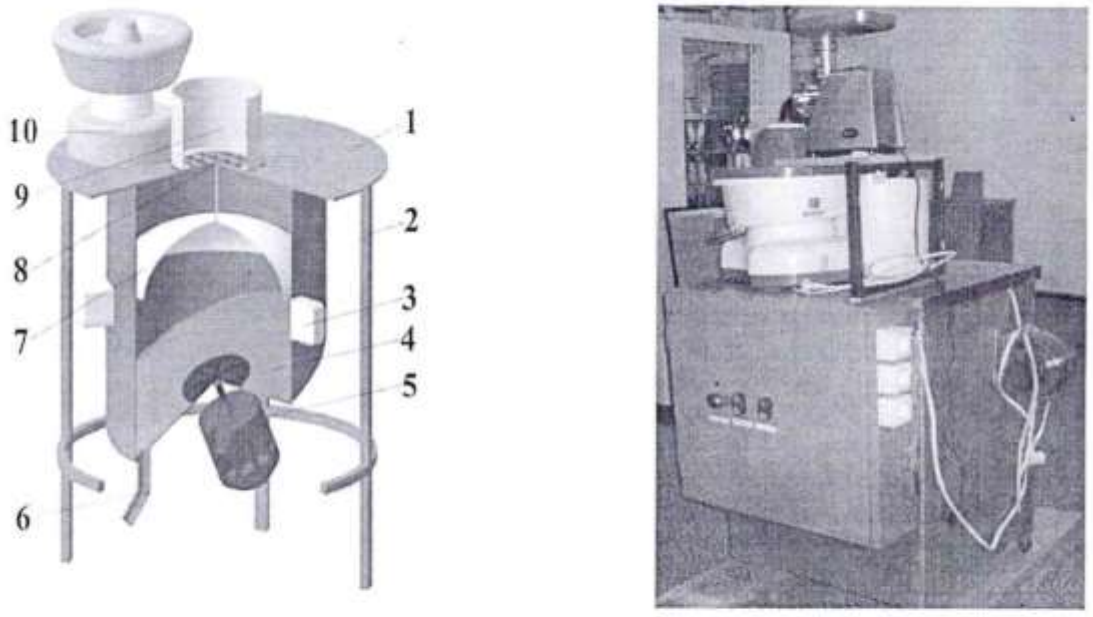


Рисунок – СВЧ установка с комбинированным резонатором с тремя источниками энергии и центрифугой: а) пространственное изображение; б) образец установки; 1 – стол; 2 – монтажный каркас; 3 – магнетроны; 4 – диск; 5 – электродвигатель; 6 – шаровой кран; 7 – полусферическая часть комбинированного резонатора; 8 – съемная перекладина на направляющей трубе; 9 – приемная емкость для твердой фракции; 10 – центрифуга

5. Экономический эффект от применения установки в сравнении с базовым вариантом

Годовой экономический эффект от применения СВЧ установки с комбинированным резонатором для термообработки и обеззараживания непищевого мясного сырья по сравнению с экструдером ЭК-40 составляет 288 тыс. руб. за счет снижения эксплуатационных затрат, при объеме выработанной продукции 84 тонн, повышение рентабельности – на 42%, срок окупаемости два месяца. С учетом повышения энергетических затрат до 0,24-0,26 кВт·ч/кг при экструдировании смеси измельченных отходов животного происхождения с растительным наполнителем, можно считать что экономический эффект выше.

6. Заключение по результатам апробации

Апробирование технологии термообработки и обеззараживания измельченных обезвоженных непищевых отходов убоя птиц и переработки мясной продукции птицеводства и сверхвысокочастотной установки с комбинированным резонатором показали, что электрические и механические рабочие органы работают в эффективном режиме, надежно. Энергетические затраты на обезвоживания измельченного сырья, термообработку и обеззараживания твердой фракции составляет 0,15-0,2 кВт·ч/кг.

Оценка пищевой ценности белкового продукта по органолептическим показателям удовлетворяют требованиям, предъявляемым продуктам из непищевых мясных отходов, подвергших термообработке.

Новизна технических решений разработок по модернизации рабочих органов сверхвысокочастотных установок для термообработки непищевых отходов животного происхождения подтверждена 13 патентами РФ на изобретения.

Преимущества данной установки: радиогерметичность; универсальность и многофункциональность (измельчение, обезвоживание, термообработка и обеззараживание); непрерывность технологического процесса, высокий КПД, снижение эксплуатационных затрат; возможность круглогодичной эксплуатации; низкая стоимость.

Предполагаемый целевой рынок: сельское хозяйство и пищевая промышленность.

Технология и установка для термообработки сырья отвечают требованиям технического задания, и соответствует рабочей конструкторской документации, техническим требованиям по технико-эксплуатационным, энергетическим, технологическим и качественным показателям.

Установка прошла производственное испытание и рекомендуется к внедрению *потенциальным потребителям*: фермерские хозяйства; агрофирмы; опытные хозяйства; животноводческие и птицеводческие хозяйства; предприятия по переработке продукции животноводства и производству белкового корма.

7. Представители организаций

Предоставители АО «Линдовское»:

25.03.2021

технический директор
Маслов С.А.

Исполнители:
Научный консультант

доктор технических наук, профессор
Сторчевой Владимир Федорович

Соискатель

кандидат экономических наук, доцент
Жданкин Георгий Валерьевич

25.03.21
Дата

Приложение 4 – Техническое задание на разработку установки

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«НГИЭИ-ЭНЕРГО»
606340, Нижегородская обл.,
г. Княгинино, ул. Октябрьская, д.22а,
тел.: 8-915-956-90-45, факс: 4-14-81
ОКПО 25690906, ОГРН 1135222000583
ИНН/КПП 5217484740/521701001
05.04.2021 № 7
На №_____

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

НА РАЗРАБОТКУ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ УСТАНОВКИ НЕПРЕРЫВНО-ПОТОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМООБРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ КОРМОВОЙ ЦЕННОСТИ

г. Княгинино

1. Наименование и область применения

1.1 Наименование. **Сверхвысокочастотной установки непрерывно-поточного действия и технологии термообработки вторичного сырья животного происхождения для сохранения кормовой ценности**

1.2 Область применения. Мясокомбинаты, цеха по переработке продукции животноводства, фермерские хозяйства.

2. Основание для разработки. Разработки ведутся в соответствии с планами НИР ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», номер государственной регистрации 121021800049-6 (2015-2021 гг.).

3. Цель и задача разработки

Цель работы – сохранение кормовой ценности вторичного сырья животного происхождения путем разработки технологии и сверхвысокочастотной техники для термообработки при сниженных эксплуатационных затратах.

Основные задачи:

– разработать микроволновую технологию и опытный образец сверхвысокочастотной установки непрерывно-поточного действия для термообработки и обеззараживания вторичного сырья животного происхождения;

- выявить эффективные конструкционные исполнения объемных резонаторов, обеспечивающих электромагнитную безопасность;

- обосновать конструкционно-технологические параметры и режимы работы установок.

Экономический эффект достигается за счет снижения эксплуатационных затрат на термообработку сырья и сохранения кормовой ценности продукта.

4. Источники разработки

4.1 ГОСТ 18157-88, Группа Н00, Межгосударственный стандарт продукты убоя скота.

4.2 ТР ТС 024/2011 «Технический регламент на масложировую продукцию» Объектом технического регулирования настоящего технического регламента является пищевая и непищевая масложировая продукция.

4.3 Разработанные 3D модели и технологические схемы многогенераторных сверхвысокочастотных установок непрерывно-поточного действия с маломощными магнетронами с воздушным охлаждением.

4.4 Патенты на изобретения РФ, описывающие установки с новыми конструкционными исполнениями рабочих камер в виде:

сферических резонаторов (№ 2626156, 2629221, 2636155, 2667751, 2660906); цилиндрических резонаторов (№ 2629259, 2671712, 2671714, 2636156, 2661372, 2636156); шнекового резонатора (№ 2679203); квазистационарных тороидальных резонаторов (№ 2629220, 2629159, 2703940, 2703944); коаксиальных резонаторов (№ 2671710); конических резонаторов (№ 2690482, 2710154), биконического резонатора (№ 2729151), тетроконического резонатора (№ 2694179); комбинированного резонатора (№2729153).

5. Технические требования

5.1 Узлы СВЧ установок и требования к конструктивному исполнению объемных резонаторов

5.1.1 Установка должна содержать:

- генераторные блоки с регуляторами мощности;
- измельчитель сырья;
- центрифугу для обезвоживания сырья;
- объемный резонатор, конструкционное исполнение которого обеспечивает, термообработку измельченного и обезвоженного сырья в непрерывном режиме;
- запредельные волноводы;
- перемешивающий механизм;
- шкаф управления с автоматическими выключателями, электронными блоками генераторов, блоками управления измельчителем, центрифугой, приводом перемешивающего механизма, вентилятором для охлаждения магнетронов;

датчик уровня сырья, систему сигнализации, предохранительные устройства.

5.1.2 Электронный блок для сбора и отображения массива данных в виде графиков и таблиц.

5.1.3 Датчики температуры для контроля технологического процесса термообработки непищевых отходов и температуры готовой продукции, смонтированные на входе запредельного волновода, и на выходе готовой продукции.

5.1.4 Резонатор и экранирующий корпус - из неферромагнитного материала (алюминия, толщиной не менее 2 мм).

5.1.5 Установка должна иметь малые габаритные размеры.

5.2 Технические требования к оборудованию

5.2.1 Технологическое оборудование должно соответствовать требованиям действующих нормативных актов по охране труда.

5.2.2 Оборудование должно быть безопасным при монтаже (демонтаже), эксплуатации, ремонте, транспортировании и хранении, при использовании отдельно или в составе технологических комплексов и систем.

5.2.3 Оборудование должно укомплектовываться эксплуатационной документацией, которая должна устанавливать требования (правила), которые исключали бы создание опасных ситуаций при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации оборудования, а также содержать требования, определяющие необходимость использования не входящих в конструкцию средств и методов защиты работающего.

5.2.4 Оборудование должно отвечать требованиям безопасности в течение всего периода эксплуатации при условии выполнения потребителем требований, установленных в эксплуатационной документации.

5.2.5 Оборудование в процессе эксплуатации не должно загрязнять окружающую природную среду радиоволнами, выбросами вредных веществ и вредных микроорганизмов в количествах выше допустимых значений, установленных государственными стандартами и санитарными нормами.

5.2.6 Размещение оборудования в производственных помещениях и на рабочих местах не должно представлять опасности для персонала по мощности потока электромагнитных излучений сантиметрового диапазона (ПДУ 10 мкВт/см^2).
5.2.7 К работе на оборудовании допускаются работники, прошедшие специальное обучение и проверку знаний в установленном порядке.
5.2.8 Включение и контролирование за работой оборудования должны производиться только лицом, за которым оно закреплено.
5.2.9 Контрольно-измерительные приборы, установленные непосредственно на оборудовании, должны быть удобны для наблюдения и обслуживания и иметь надписи, определяющие их назначение.

5.3 Требования надежности

Безотказность, ремонтопригодность в соответствии с ГОСТ 26291-84, ГОСТ Р27-002-2009.

5.4 Требования к технологическому и метрологическому обеспечению разработки, производства и эксплуатации. На разных этапах жизненного цикла установки его метрологическое обеспечение имеет ряд задач:
- исследование параметров и характеристик установки для определения требований к объему, качеству и номенклатуре измерений и контроля;
- выбор средств измерений и контроля из числа серийно выпускаемых;
- поверка применяемых средств измерений; - совершенствование методик измерений и контроля технологических параметров.

5.5 Требования безопасности и влияния на окружающую среду

5.5.1 Сверхвысокочастотная установка должна соответствовать ГОСТ 19348-82 «Изделия электротехнические сельскохозяйственного назначения», а также «Правилам устройства электроустановок», «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок». ГОСТ Р МЭК 60519-1-2005 «Безопасность электротермического оборудования»; ГОСТ Р 54372-2011 МЭК 60519-6:2002, Ч.: «Технические условия по безопасности промышленного сверхвысокочастотного нагревательного оборудования».
5.5.2 Конструкция СВЧ установки должна отвечать требованиям норм технологического проектирования ОНТП-1-77; ГОСТ 12.2.042-91 «Машины и технологическое оборудование для животноводства и кормопроизводства. Общие требования безопасности».
5.5.3 Корпус установки должен иметь устройство защитного заземления для защиты поражения обслуживающего персонала от электрического напряжения при повреждении.
5.5.4 Установка должна обеспечивать надежность, простоту, безотказность и удобство обслуживания, эксплуатации, ремонта и замены элементов и узлов.
5.5.5 Собирать и разбирать СВЧ установку только при выключенном автоматическом выключателе.

5.6 Эстетические и эргономические требования. Внешний вид СВЧ установки должен соответствовать современным требованиям технической эстетики.

5.7 Требования к патентной чистоте. СВЧ установка должна обладать патентной чистотой в отношении России (см. п. 4.4). На комплектующие изделия, входящие в состав установки, эти требования не распространяются.

5.8 Требования к составным частям, исходным и конструктивным материалам. Составные части и детали установки не должны оказывать отрицательного воздействия на качественные характеристики продукта. Детали, соприкасающиеся с сырьем, должны быть выполнены из материалов, разрешенных нормативными данными, стойкими к воздействию моющих растворов.

5.9 Условия эксплуатации, требования к техническому обслуживанию и ремонту.

5.9.1 Условия эксплуатации установки:

– температура окружающего воздуха (группа В4 по ГОСТ 12997 – обогреваемые или охлаждаемые помещения) +0°…+25°С.

– относительная влажность воздуха (группа В4 по ГОСТ 12997 – обогреваемые или охлаждаемые помещения) 20-65% без конденсации влаги.

– атмосферное давление (группа Р1 по ГОСТ 12997) 84 -106,4 кПа;

– устойчивость к механическим воздействиям (группа N1 по ГОСТ 12997) - места, поврежденные вибрациям от работающих механизмов.

5.9.2 Электронные блоки должны быть изготовлены в металлическом корпусе, со степенью защиты не ниже IP 40.

5.9.3 Промывка и дезинфекция узлов установки должны производиться по действующим «Санитарным правилам по уходу за СВЧ установками».

5.10 Требования к маркировке и упаковке. Маркировка СВЧ установки должна соответствовать конструкторской документации предприятия-изготовителя и ГОСТ 26828-86. Должна сохраняться в течение всего срока службы установки.

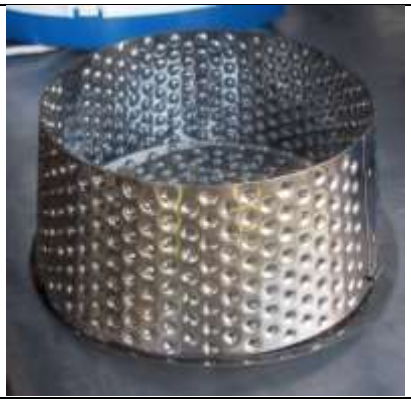
5.11 Требования к хранению и транспортированию. Хранить установку в сухом помещении при температуре не ниже 5°С и не выше 40°С.

Генеральный директор ООО «НГИЭИ-ЭНЕРГО» Осокин В.Л.

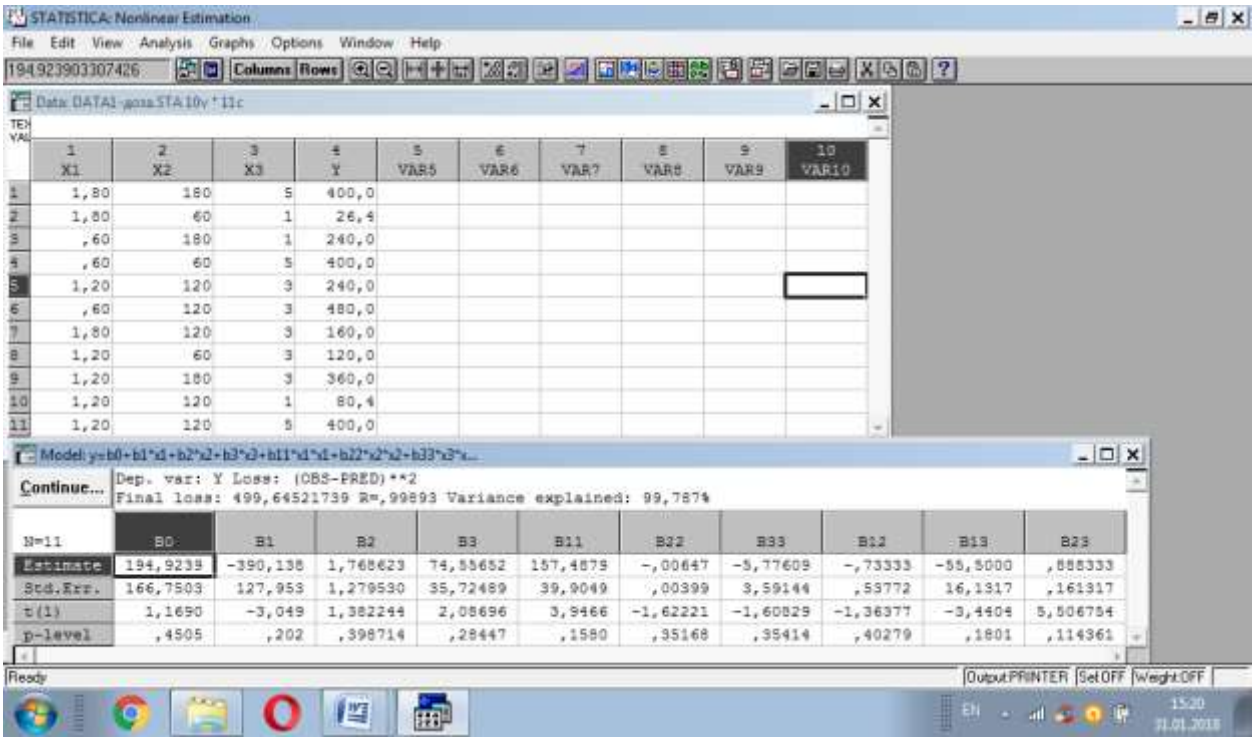
04.2021г

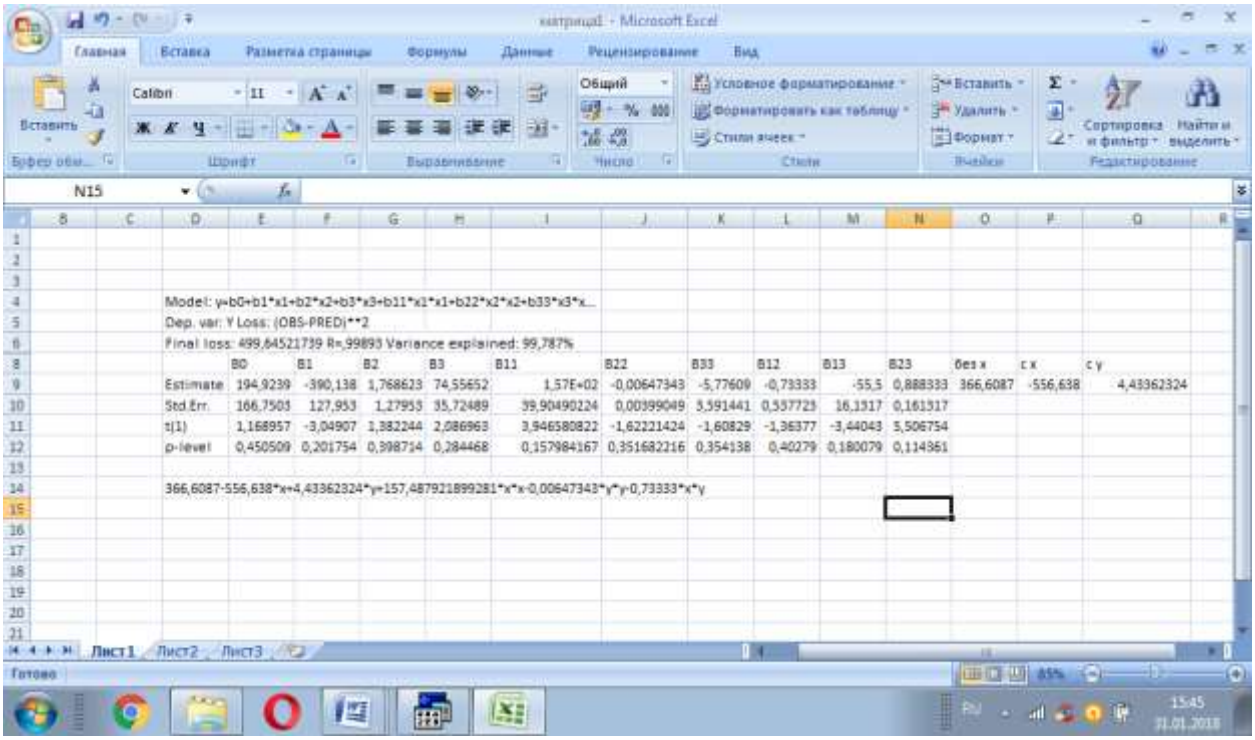
Приложение 5 - Узлы установки

3
2
1

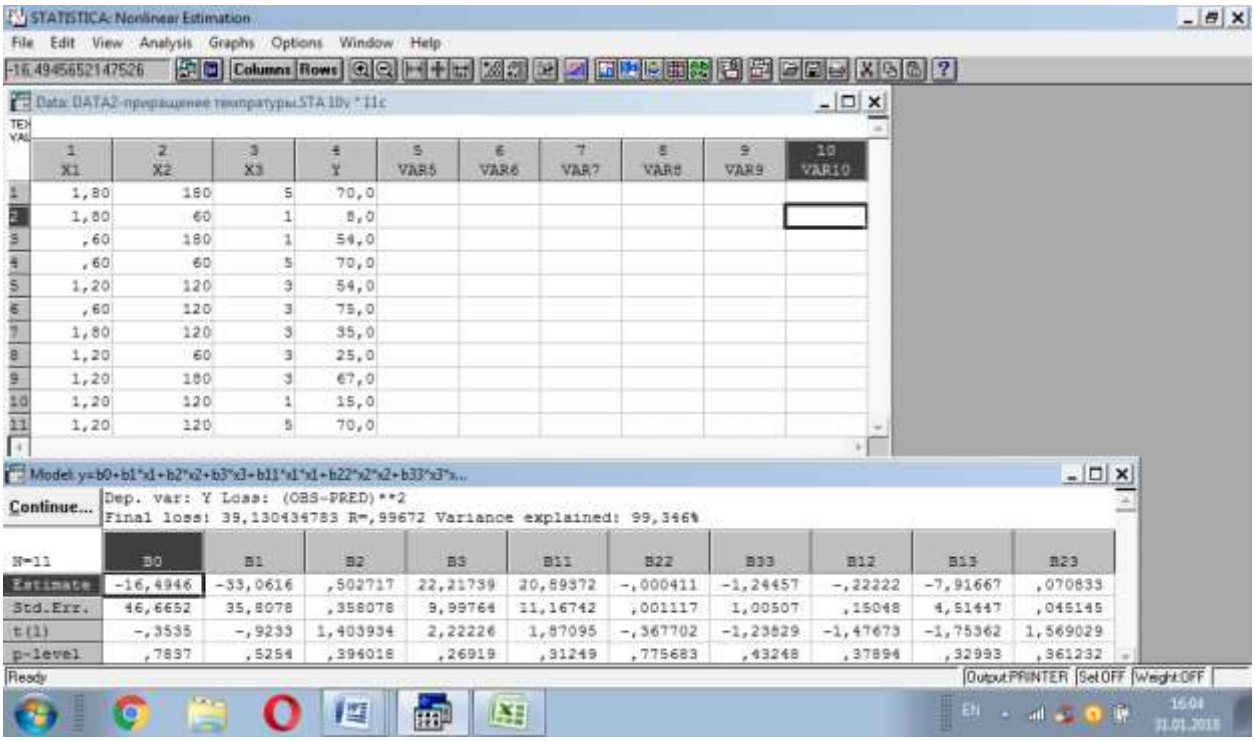
	

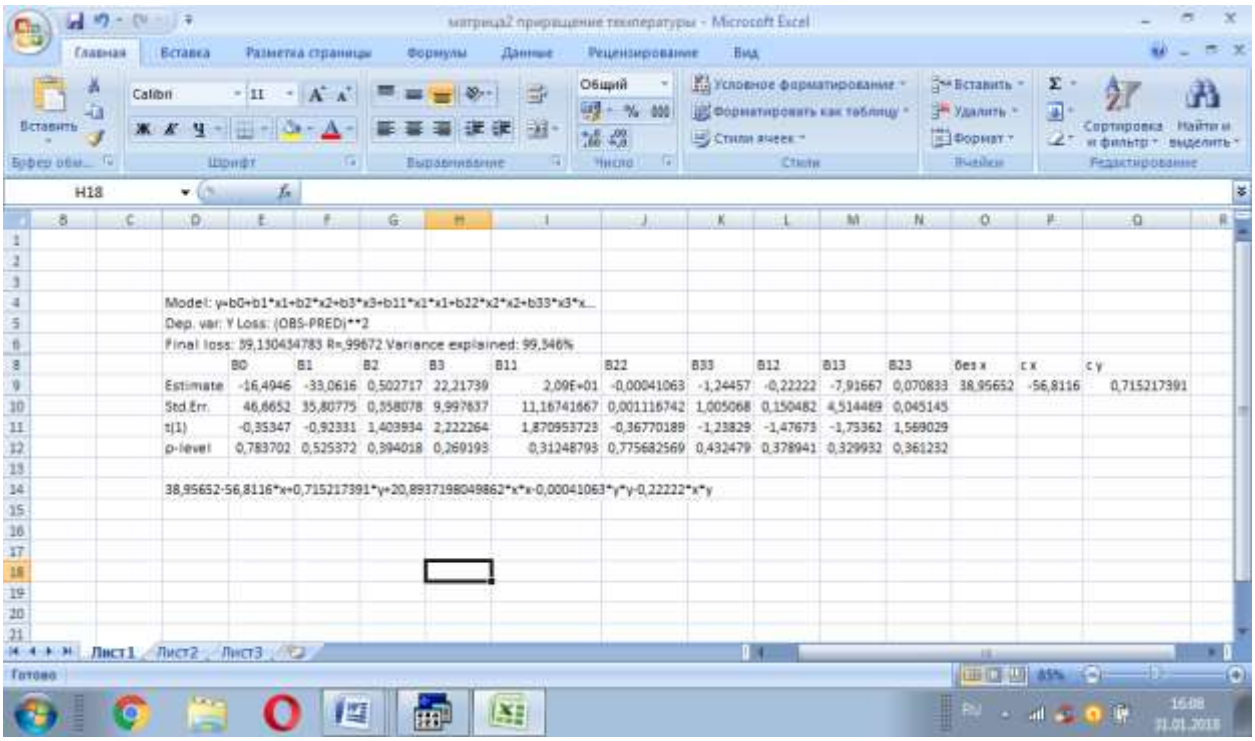
Приложение 6 - Регрессионные модели



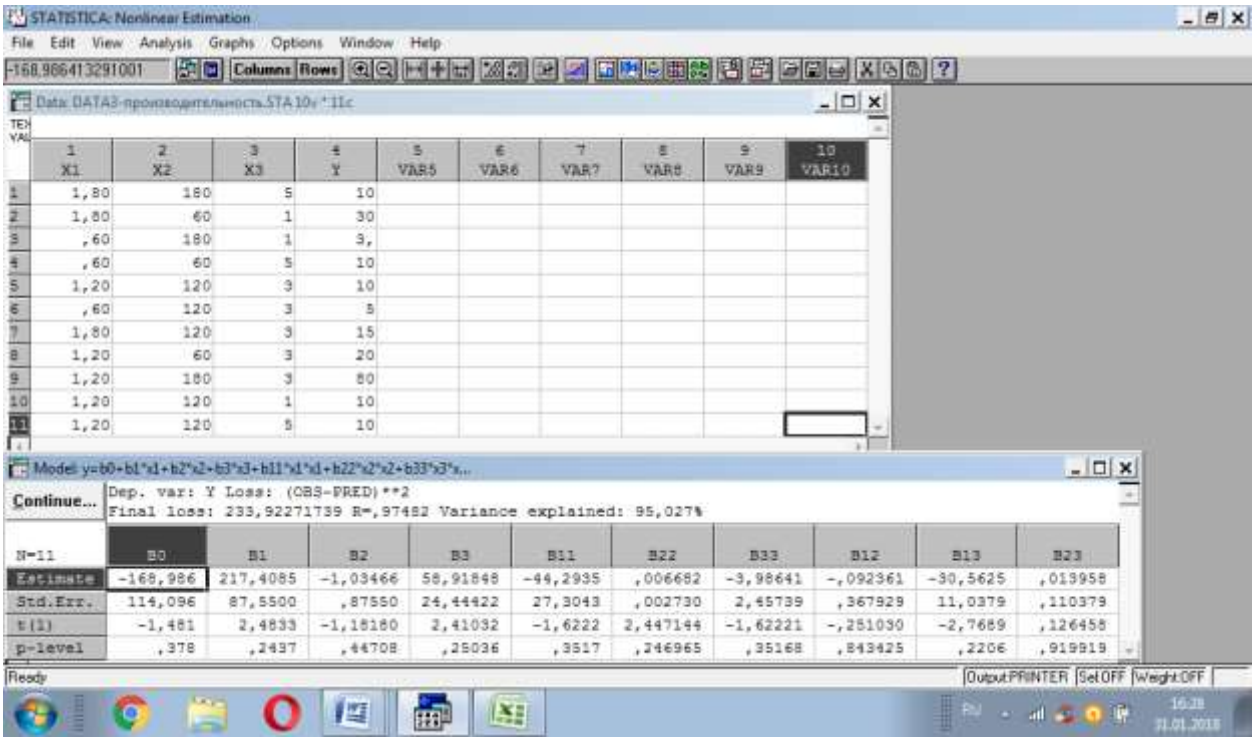


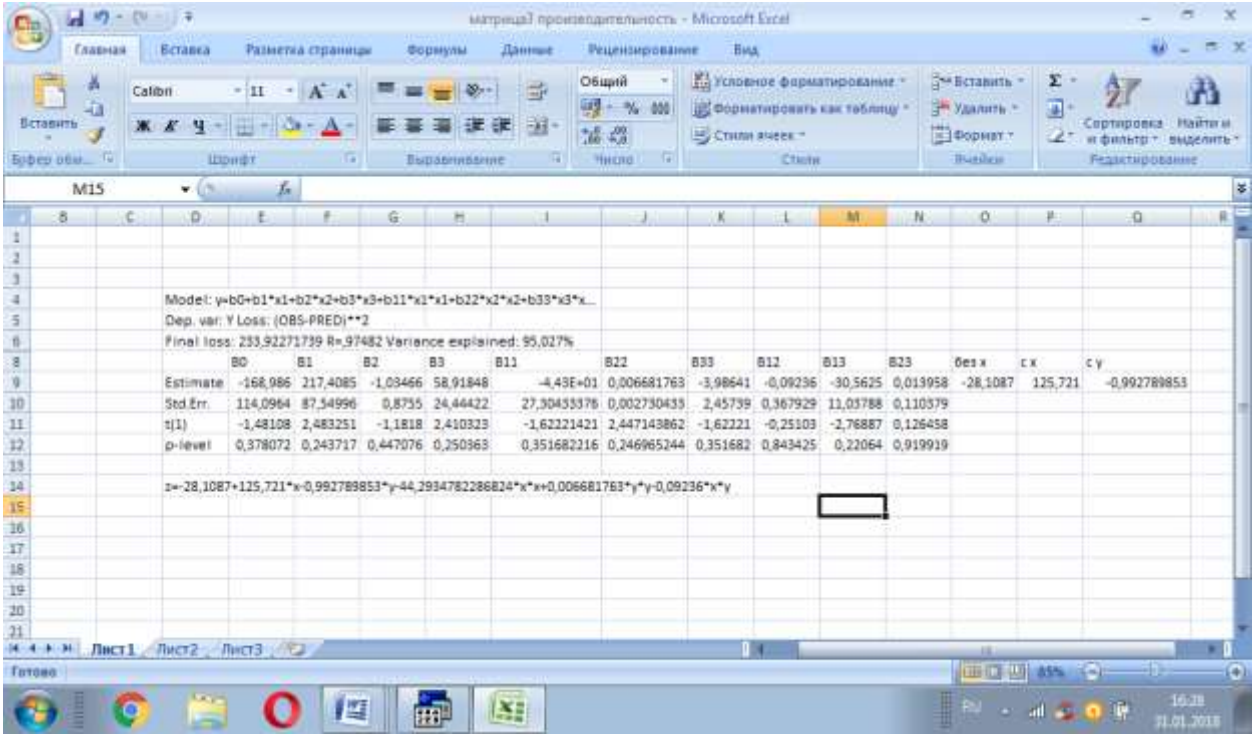
Доза воздействия ЭМПСВЧ



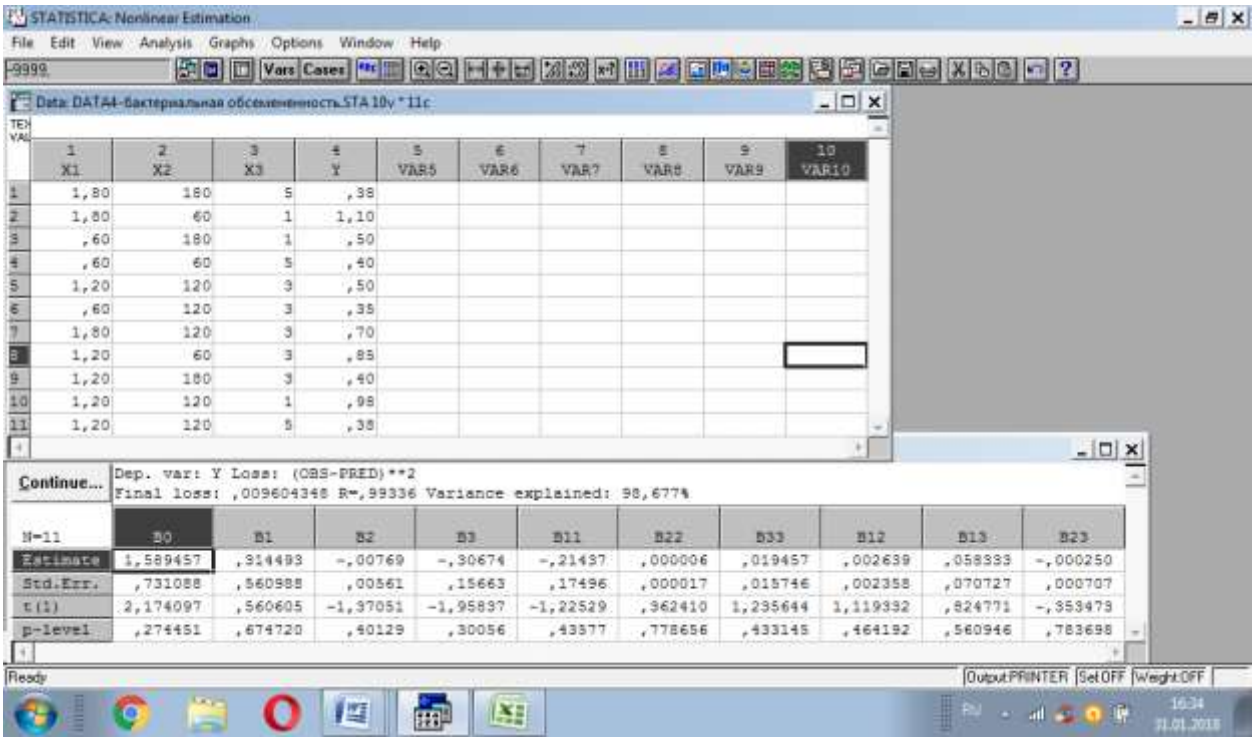


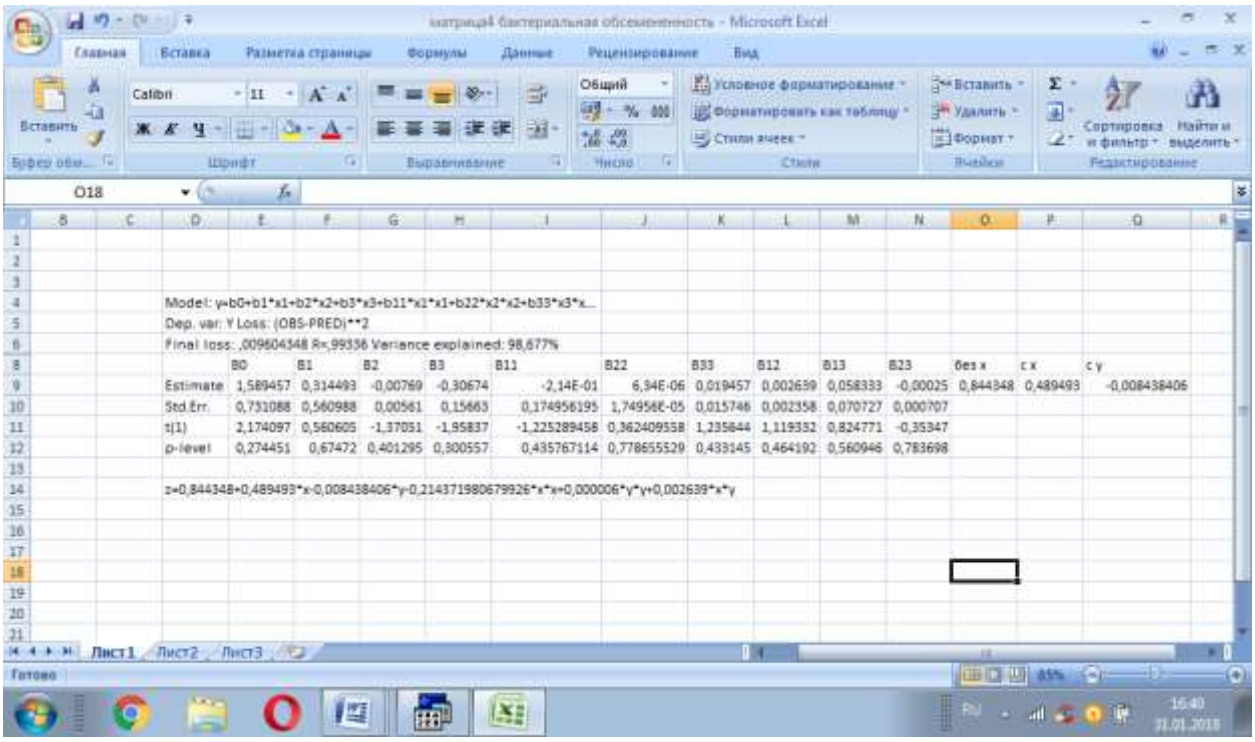
Приращение температуры сырья





Производительность установки





Бактериальная обсемененность продукта

Российская Федерация
Комитет ветеринарии Нижегородской области
Государственное бюджетное учреждение
Нижегородской области
"Государственное ветеринарное
управление Княгининского
муниципального района"
606340, г. Княгинино, ул. Новостаринская, 85
Тел. (8-831-66) 4-14-96, 4-13-00

29 апреля 2021 г. № _____

На № _____

Протокол

оценки микробиологических и органолептических показателей продукта, полученного из непищевых отходов переработки птиц после термообработки в СВЧ установке

В ГБУ НО «Государственное ветеринарное управление Княгининского района» Нижегородской области проведены исследования физико-химических микробиологических и органолептических показателей вареного корма в соответствии с гигиеническими требованиями безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01.

Сырьем для производства вареного корма служила смесь из измельчённых отходов переработки птицы. Измельченное сырье с начальной влажностью 65 % обезвоживали до 35 % с помощью центрифуги. Проводили в процессе перемешивания термообработку до температуры 100-105 °С в сверхвысокочастотной установке с комбинированным резонатором, где напряженность электрического поля составляла 1,5 кВ/см. Вареная при удельных энергетических затратах 0,15 кВт·ч/кг кормовая масса имела влажность 25%.

Проведены исследования изменения бактериальной обсемененности (КМАФАнМ) сырья с 1,2 млн. до 0,5 млн. КОЕ/г.

По органолептическим показателям продукт оценен на 14-15 баллов из 15 возможных, что соответствует требованиям нормативно-технической документации обработанного корма животного происхождения.

Вывод. Варка в электромагнитном поле сверхвысокой частоты вторичного сырья животного происхождения оказывает минимальное воздействие на качество белка, что увеличивает переваримость протеина. При этом аминокислоты не разрушаются, крахмал желатинизируется, что увеличивает степень его усвояемости. Жиры равномерно распределяются по объему продукта, перева-

риваемость пищевых волокон возрастает. Высокая напряженность ЭП в резонаторе обеспечивает снижение патогенной микрофлоры, что увеличивает срок годности продукта. Происходит повышение кормовой ценности на 15-20% по сравнению с базовым образцом продукта, вареного в автоклаве. Продукт соответствует ГОСТ 29299-92 Мясо и мясные продукты.

Начальник ГБУ НО «Госветуправление
Княгининского района» П.Э. Меграбян

Приложение 8 – Патенты на изобретения

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2629259

Сверхвысокочастотная установка для варки отходов убоя птицы и животных

Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)

Авторы: Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU)

Заявка № 2016146640
Приоритет изобретения 28 ноября 2016 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 28 августа 2017 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 28 ноября 2036 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2626156

Радиоволновые установки для термообработки сырья

Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)

Авторы: Белов Александр Анатольевич (RU), Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU)

Заявка № 2016133572
Приоритет изобретения 15 августа 2016 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 21 июля 2017 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 15 августа 2036 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2629159

Сверхвысокочастотная установка с тороидальным резонатором и с вечевым ротором для термообработки сырья

Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)

Авторы: Белов Александр Анатольевич (RU), Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU)

Заявка № 2016133524
Приоритет изобретения 15 августа 2016 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 24 августа 2017 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 15 августа 2036 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2636155

Микроволновая технология извлечения жира из жиросодержащего сырья

Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)

Авторы: Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Самоделкин Александр Геннадьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Белова Марьяна Валентиновна (RU), Горбунов Борис Иванович (RU)

Заявка № 2016150318
Приоритет изобретения 20 декабря 2016 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 21 ноября 2017 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 20 декабря 2036 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2629220

Установка с движущимися источниками СВЧ энергии для термообработки сырья

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *Белов Александр Анатольевич (RU), Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU)*

Заявка № 2016133500
Приоритет изобретения 15 августа 2016 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 28 августа 2017 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 15 августа 2036 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2629221

Сверхвысокочастотная установка с резонатором, образованным между двумя сферами для термомеханического разрушения сырья

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия", (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *Белов Александр Анатольевич (RU), Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU)*

Заявка № 2016133535
Приоритет изобретения 15 августа 2016 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 28 августа 2017 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 15 августа 2036 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2661372

МНОГОЯРУСНАЯ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ВЛАЖНОГО СЫРЬЯ В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ) (RU)*

Авторы: *Заиганшин Булат Гуслиевич (RU), Белова Марьяна Валентиновна (RU), Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU), Дмитриев Андрей Владимирович (RU)*

Заявка № 2017113036
Приоритет изобретения 14 апреля 2017 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 16 июля 2018 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 14 апреля 2037 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2650540

Сверхвысокочастотная установка циклического действия для термообработки мясного сырья

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Самоделкин Александр Геннадьевич (RU), Поручиков Дмитрий Витальевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Белова Марьяна Валентиновна (RU)*

Заявка № 2016150295
Приоритет изобретения 20 декабря 2016 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 16 апреля 2018 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 20 декабря 2036 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2671699

Сверхвысокочастотная установка с передвижными полусферами для термомеханического разрушения сырья

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *Белов Александр Анатольевич (RU), Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU)*

Заявка № 2016133571

Приоритет изобретения 15 августа 2016 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 06 ноября 2018 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 15 августа 2036 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2667751

Сверхвысокочастотная установка со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Самодедкин Александр Геннадьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Шойкин Александр Сергеевич (RU)*

Заявка № 2016150317

Приоритет изобретения 20 декабря 2016 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 24 сентября 2018 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 20 декабря 2036 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2671712

Сверхвысокочастотная установка для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Створчой Владимир Федорович (RU), Новикова Галина Владимировна (RU)*

Заявка № 2017118804

Приоритет изобретения 30 мая 2017 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 06 ноября 2018 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 30 мая 2037 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2636156

Устройство для дозирования вязкой жидкости в передвижные рабочие камеры

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Сергеева Елена Юрьевна (RU), Новикова Галина Владимировна (RU)*

Заявка № 2016150297

Приоритет изобретения 20 декабря 2016 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 21 ноября 2017 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 20 декабря 2036 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2671710

Микроволновая установка для термообработки сырья в процессе измельчения

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Зайцев Петр Владимирович (RU), Сергеева Елена Юрьевна (RU)*

Заявка № 2017118717
Приоритет изобретения: 29 мая 2017 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации: 06 ноября 2018 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает: 29 мая 2037 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2671714

Сверхвысокочастотная установка с вчеистыми барабанами для термообработки непищевых отходов убои животных

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия", (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Створчой Владимир Федорович (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Белова Марьяна Валентиновна (RU)*

Заявка № 2017118881
Приоритет изобретения: 30 мая 2017 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации: 06 ноября 2018 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает: 30 мая 2037 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2690482

СВЧ установка с коническим резонатором для термообработки непищевых отходов животного происхождения

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Казаков Александр Валентинович (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Белова Марьяна Валентиновна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU)*

Заявка № 2018125005
Приоритет изобретения: 09 июля 2018 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации: 03 июля 2019 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает: 09 июля 2038 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2694179

Многомодульная центробежная сверхвысокочастотная установка для термообработки сырья животного происхождения и отделения жидкой фракции

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия", (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2017108665
Приоритет изобретения: 15 марта 2017 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации: 09 июля 2019 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает: 15 марта 2037 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2699753

СВЧ установка с тороидальным резонатором для термообработки отходов яиц

Патентообладатель: *Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (НГИЭУ) (RU)*

Авторы: *Орлова Ольга Ивановна (RU), Шамин Евгений Анатольевич (RU), Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU), Белова Марьяна Валентиновна (RU), Новикова Галина Владимировна (RU)*

Заявка № 2018136712

Приоритет изобретения 17 октября 2018 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 09 сентября 2019 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 17 октября 2038 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2660906

СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНАЯ УСТАНОВКА СО СФЕРИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ СЫРЬЯ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Казанский ГАУ) (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2017113450

Приоритет изобретения 18 апреля 2017 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 11 июля 2018 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 18 апреля 2037 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2703944

Установка для гранулирования обезвоженных непищевых отходов убоя животных в электромагнитном поле сверхвысокой частоты

Патентообладатель: *Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (НГИЭУ) (RU)*

Авторы: *Шамин Евгений Анатольевич (RU), Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Крайнов Юрий Евгеньевич (RU), Белова Марьяна Валентиновна (RU), Новикова Галина Владимировна (RU)*

Заявка № 2018101624

Приоритет изобретения 16 января 2018 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 22 октября 2019 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 16 января 2038 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2703940

Установка для гранулирования измельченных отходов животного и растительного происхождения в процессе диэлектрического нагрева

Патентообладатель: *Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (НГИЭУ) (RU)*

Авторы: *Крайнов Юрий Евгеньевич (RU), Шамин Евгений Анатольевич (RU), Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU)*

Заявка № 2018113197

Приоритет изобретения 11 апреля 2018 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 22 октября 2019 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 11 апреля 2038 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2729151

Сверхвысокочастотная установка с биконическим резонатором в шнеком для варки отходов убоя животных

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Белова Марьяна Валентиновна (RU), Миссайлова Ольга Валентиновна (RU), Лаврентьева Татьяна Николаевна (RU)*

Заявка № 2018112186

Приоритет изобретения 04 апреля 2018 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 04 августа 2020 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 04 апреля 2038 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2729153

Микроволновая установка с коническими резонаторами для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия", (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)*

Авторы: *Жданкин Георгий Валерьевич (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Белова Марьяна Валентиновна (RU), Миссайлова Ольга Валентиновна (RU)*

Заявка № 2018112382

Приоритет изобретения 05 апреля 2018 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 04 августа 2020 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 05 апреля 2038 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Приложение 9
Дипломы, грамоты и благодарственные письма

Результаты диссертационных исследований были отмечены *дипломами и сертификатами*:

ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ 2017

АГРОРУСЬ 2017

ЗОЛОТАЯЯ ОСЕНЬ 2018

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ
РОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

GOLDEN AUTUMN
RUSSIAN AGRICULTURAL EXHIBITION

ДИПЛОМ

награждается бронзовой медалью

ФГБОУ ВО НИЖЕГОРОДСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ, г. Нижний Новгород

За разработку СВЧ установок и технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения

10-13 октября 2018

МИНИСТР СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.Н. ПАТРУШЕВ

Москва ВДНХ