

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»
(ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева)

На правах рукописи

ЕРШОВА ИРИНА ГЕОРГИЕВНА

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ
СВЧ-РАЗМОРАЖИВАТЕЛЕЙ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ**

Специальность 4.3.2 – Электротехнологии, электрооборудование и
энергоснабжение агропромышленного комплекса

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант –
д.т.н., доцент Просвирякова Марьяна Валентиновна

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. СОСТОЯНИЕ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ	16
1.1 Оценка состояния проблемы и анализ информационных источников использования современных технологий и технических средств	16
1.2 Анализ технических средств, предназначенных для дефростации и разогрева сырья животного происхождения	28
1.2.1 Базовые технические средства для дефростации и разогрева сырья животного происхождения	28
1.2.2 Инновационные технические средства для дефростации и разогрева молозива животных	32
1.3 Анализ электрофизических и теплофизических параметров сырья	38
1.4 Выводы по разделу, цель и задачи исследований	51
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХРЕЗОНАТОРНЫХ СВЧ-РАЗМОРАЖИВАТЕЛЕЙ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ	55
2.1 Обоснование параметров двухрезонаторного СВЧ-размораживателя для тепловой обработки сырья с учетом температуры фазового превращения	55
2.2 Исследование распределения волн на границе раздела между замороженным и жидким сыром	66
2.3 Дифференциальные уравнения массотеплопереноса в резонаторе в процессе дефростации и разогрева сырья	76
2.3.1 Моделирование диэлектрического нагрева сырья с учетом фазовых переходов	76
2.3.2 Динамика диэлектрического нагрева молозива с учетом изменения электрофизических параметров при воздействии ЭМП СВЧ	80
2.3.3 Динамика размораживания молозива и накопления готовой продукции в процессе диэлектрического нагрева	84
2.4 Определение собственной добротности коаксиального резонатора	86
2.5 Оценка равномерного распределения мощности излучения в СВЧ-размораживателе непрерывно-поточного действия с металлодиэлектрическим резонатором для дефростации и разогрева молозива животных	90
2.6 Исследование неравномерности эндогенного нагрева замороженного молозива в тарах, в виде эллипсоида вращения	97
2.7 Исследование напряженности электрического поля в конденсаторной части тороидальных резонаторов	100
2.8 Исследование электродинамических параметров СВЧ-размораживателя с состыкованными коническим и тороидальным резонаторами	105
2.9 Исследование электродинамических параметров СВЧ-размораживателя с коническими резонаторами	106
2.10 Исследование электродинамических параметров СВЧ-размораживателя с состыкованными полусферическими резонаторами	107

2.11 Исследование параметров СВЧ-размораживателя со сдвоенными коаксиальными резонаторами	111
2.12 Исследование параметров СВЧ-размораживателя с соосно состыкованными цилиндрическим и коаксиальным резонаторами	113
2.13 Результаты исследования электродинамических параметров резонаторов других конфигураций, предназначенных для дефростации и разогрева молозива животных	117
2.13.1 Моделирование трехмерных структур ЭМП в коаксиальном резонаторе с коническим основанием по программе CST Studio Suite	117
2.13.2 Моделирование трехмерных структур ЭМП в коаксиальном и коническом резонаторах	120
2.14 Сравнительный анализ электродинамических параметров резонаторов разного конструктивного исполнения при равном их объеме	127
2.15 Обоснование выбора эффективного конструктивного исполнения СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных	142
2.16 Обеспечение безопасности по электромагнитному фактору для персонала	147
2.17 Определение предельной энергии, накапливаемой в коаксиальном резонаторе на основном типе колебаний	151
2.18 Результаты оценки преимущества разработанной СВЧ технологии тепловой обработки сырья по сравнению с базовыми способами	154
2.19 Выводы по разделу	157
3. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЧ ТЕХНИКИ ДЛЯ РАЗМОРАЖИВАНИЯ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ	162
3.1 Методология разработки СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных	162
3.2 Используемое оборудование и контрольно-измерительная техника	172
3.3 Операционно-технологическая схема дефростации молозива животных	176
3.4 СВЧ-размораживатели непрерывно-поточного действия с тороидальными резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных	181
3.4.1 СВЧ-размораживатель молозива животных с квазистационарным тороидальным резонатором	181
3.4.2 СВЧ-размораживатель молозива животных с состыкованными тороидальными резонаторами	186
3.5 СВЧ-размораживатели непрерывно-поточного действия с коническими резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных	189
3.5.1 СВЧ-размораживатель молозива животных с коническими резонаторами	189
3.5.2 СВЧ-размораживатель молозива животных с состыкованными вершинами конических резонаторов	193
3.6 СВЧ-размораживатели непрерывно-поточного действия с комбинированными резонаторами для дефростации и разогрева молозива жи-	

ВОТНЫХ	196
3.6.1 СВЧ-размораживатель молозива животных с состыкованными коническим и тороидальным резонаторами	196
3.6.2 СВЧ-размораживатель молозива животных с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами	199
3.6.3 СВЧ-размораживатель молозива животных с металлодиэлектрическим резонатором	205
3.7 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с состыкованными тороидальными резонаторами с перекачиванием сырья с помощью насоса	210
3.8 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия со сдвоенными коаксиальными резонаторами	212
3.9 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами	216
3.10 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с соосно состыкованными цилиндрическим и коаксиальным резонаторами	219
3.11 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия со шнековым транспортером	224
3.12 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с тороидальным резонатором	225
3.13 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с соосно расположенными тороидальным и цилиндрическим резонаторами	227
3.14. Размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с СВЧ энергоподводом в коаксиальный резонатор	228
3.15 Сравнительный анализ энергетических затрат на дефростацию и разогрев молозива животных в СВЧ-размораживателях, реализующих процесс разными способами	230
3.16 Выводы по разделу	233
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕФРОСТАЦИИ И РАЗОГРЕВА МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭМП СВЧ	236
4.1 Результаты исследования процессов дефростации и разогрева молозива животных в лабораторном образце СВЧ-размораживателя	236
4.1.1 Особенности узлов лабораторного образца СВЧ-размораживателя молозива животных	236
4.1.2 Динамика эндогенного разогрева коровьего молозива	237
4.2 Обоснование режимов работы СВЧ-размораживателя молозива животных с двумя резонаторами	247
4.2.1 Разработанный и созданный образец СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных	247
4.2.2 Эффективные режимы дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе с коаксиальным и коническим резонаторами	252

4.2.2.1 Эффективные режимы <i>дефростации</i> молозива животных в СВЧ-размораживателе	252
4.2.2.2 Эффективные режимы <i>разогрева</i> молозива животных в СВЧ-размораживателе	256
4.2.3 Оценка органолептических показателей сырья опытного и контрольного образцов	261
4.3 Оценка электромагнитной безопасности при работе СВЧ-размораживателя с двумя резонаторами	263
4.3.1 Исследование электромагнитной безопасности при работе СВЧ-размораживателя с двумя резонаторами	263
4.3.2 Описание принципиальной электрической схемы управления СВЧ-размораживателем непрерывно-поточного действия с двумя резонаторами	267
4.3.3 Апробация СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных в производственных условиях	270
4.4 Биохимическая, физико-химическая, микробиологическая оценка молозива животных контрольного образца и образца после обработки электромагнитным полем сверхвысокой частоты	274
4.5 Выводы по разделу	285
5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ СВЧ-РАЗМОРАЖИВАТЕЛЯ МОЛОЗИВА ДЛЯ АГРОПРЕДПРИЯТИЯ	289
5.1 Экономическая эффективность применения СВЧ-размораживателя молозива непрерывно-поточного действия с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами	289
5.2 Выводы по разделу	302
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	304
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	308
ПРИЛОЖЕНИЯ	333
Приложение 1 – Акты МСХ	333
Приложение 2 – Акт апробации и внедрения технологии и СВЧ-размораживателя молозива животных	337
Приложение 3 – Акты об использовании результатов исследований в учебном процессе	355
Приложение 4 – Хронометраж изготовления СВЧ-размораживателя молозива животных	375
Приложение 5 – Протоколы оценки качества молозива животных	379
Приложение 6 – Патенты	401
Приложение 7 – Дипломы об участии в конкурсах и выставках	414
Приложение 8 – Результаты экспертизы конкурсной заявки РНФ	423
Приложение 9 – Результаты анализа диэлектрических параметров вязкого сырья животного происхождения	426
Приложение 10 – Определение предельной энергии в резонаторе	443
Приложение 11 – Моделирование трехмерных структур ЭМП в коаксиальном и коническом резонаторах СВЧ-размораживателя молозива животных с нагрузкой	445

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2030 г. предусматривает обеспечение стабильного роста производства с/х продукции. В соответствии с Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков с/х продукции, сырья и продовольствия на 2020 г. уровень самообеспеченности РФ по молоку и молокопродуктам составляет 84,4 %, необходимо увеличение до 90 %. Статистические данные показывают, что годовой объем молозива по России составляет 206,6 млн. л; а суточный объем замороженного сырья – 188,7 тыс. л.

На фермах КРС молозиво замораживают с последующей реализацией в размороженном виде. При этом возникают сложности, связанные с сохранением его кормовой ценности после дефростации в традиционных размораживателях. Из-за длительности процесса (1,5-2 ч.) кормовая ценность молозива животных снижается на 10-30 %, в том числе содержание иммуноглобулинов – в среднем на 8,3 %. Поэтому разработка научно-технических основ проектирования СВЧ-размораживателей, заменяющих традиционный способ дефростации и разогрева молозива в пластиковых бутылках в пароводяной смеси на микроволновую технологию для ускорения процесса, актуальна.

Молозиво представляет собой вязкое сырье в виде замороженной суспензии, при дефростации разделяется на две части в процессе фазового перехода (замороженную и жидкую). Характер изменения их диэлектрических параметров в отрицательном и положительном диапазоне температур, противоположный. Поэтому при температурном воздействии на такое сырье, жидкая фаза которого коагулируется при температуре выше 40 °С, следует применить другой способ дефростации, например, с использованием воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ), позволяющего, в зависимости от агрегатного состояния, управлять процессом путем использования двухрезонаторных СВЧ-размораживателей.

Научная инновационная идея состоит в том, что для снижения продолжительности дефростации и разогрева молозива животных и сохранения кормовой ценности эти процессы следуют реализовать в двух резонаторах при разных дозах воздействия ЭМП СВЧ. Это связано с тем, что фактор диэлектрических потерь сырья в диапазоне температур от -10 до 0 °С увеличивается, а в диапазоне от 0 до 39 °С уменьшается. Поэтому жидкое молозиво должно подвергаться для разогрева воздействию ЭМП СВЧ во втором резонаторе.

Научная проблема – длительный процесс дефростации и разогрева молозива животных, характеризующийся снижением кормовой ценности, для решения которой предусматривается развитие теоретических и методологических основ проектирования и создания двухрезонаторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения, позволяющих, при изменении агрегатного состояния молозива, провести отдельные процессы дефростации и разогрева, с соблюдением электромагнитной безопасности, при сниженных энергетических затратах.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в теорию электромагнитных полей и решение прикладных задач в области разработки СВЧ электротермических установок внесли ученые: Архангельский Ю.С., Богоявленский В.М., Бородин И.Ф., Вассерман А.Л., Васильев А.Н., Вендин С.В., Гинзбург А.С., Григорьев А.Д., Диденко А.Н., Дробахин О.О., Дрогайцева О.В., Кисунько Г.В., Коломейцев В.А., Лыков А.В., Нетушила А.В., Новикова Г.В., Пахомов А.И., Рогов И.А., Стребков Д.С., Стрекалов А.В., Сторчевой В.Ф., Титов Е.В., Цугленок Н.В., Jeppson M. R., Torres F., Wiking, L. и др.

Результаты систематизации технологий кормления животных, технологий обработки молочного сырья, отражены в научных работах: Афанасова Э.Э., Бозымова А.К., Богатова О.В., Горбатова А.В., Глизатулина В.Г., Ерохина А.И., Евдокимова И.А., Иванова Ю.Г., Ивашова В.И., Кирсанова В.В., Липатова Н.Н., Лисицына А.Б., Храмцова А.Г., Харитоновна В.Д., Шидловской В.П., Barillet F., Duchemin S.I., Galal S., Georgiev D., Gelasakis A.I., Milan P., Panayotov D., Sevov S. и др.

Анализ работ показывает, что не в полной мере решены задачи обеспечения равномерного эндогенного нагрева молозива в резонаторных системах стоячей и бегущей волны, поскольку процессы тепловой обработки характеризуются резким изменением электрофизических и теплофизических параметров сырья. Отсутствует единый эффективный метод расчета оптимальной геометрии объемных резонаторов, обеспечивающих дефростацию и разогрев молозива животных с учетом изменения агрегатного состояния при высокой концентрации и однородности электрического поля. Поэтому разработка методологических основ проектирования размораживателей молозива животных, позволяющих определить эффективные технологические параметры и конструктивные исполнения резонаторов, обеспечивающих равномерное распределение ЭМП в сырье разного агрегатного состояния, является *актуальной задачей*.

Целью работы является разработка научно-технических основ конструктивно-технологического проектирования и создания радиогерметичных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с резонаторами, обеспечивающими отдельные процессы дефростации и разогрева молозива животных с изменяющимся агрегатным состоянием для сохранения его кормовой ценности при сниженных энергетических затратах.

Гипотеза исследования. При рациональной конфигурации двух состыкованных резонаторов и компоновке рабочих органов СВЧ-размораживателя, и обеспечении высокой напряженности ЭП и необходимой дозы воздействия ЭМП СВЧ на сырье разного агрегатного состояния, характеризующееся противоположным изменением фактора диэлектрических потерь в процессе тепловой обработки, ожидается снижение продолжительности дефростации и разогрева молозива с сохранением его кормовой ценности.

Объект исследования – технологические процессы, обеспечивающие дефростацию и разогрев молозива животных (коровьего и козьего) с сохранением кормовой ценности; образец двухрезонаторного СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения и защитными волноводами, обеспечивающими электромагнитную безопасность.

Предмет исследования – закономерности воздействия ЭМП СВЧ на сырье разного агрегатного состояния для определения эффективных режимов функционирования двухрезонаторных радиогерметичных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия, обеспечивающих сохранение кормовой ценности сырья.

Научную новизну представляют

- научно-методические основы конструктивно-технологического проектирования и разработки двухрезонаторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения, включающие методики выявления эффективных конструктивных исполнений состыкованных резонаторов, обеспечивающих электромагнитную безопасность при реализации отдельных процессов дефростации и разогрева молозива животных из-за изменения его агрегатного состояния, для сохранения его кормовой ценности;

- модель процесса функционирования многогенераторных СВЧ-размораживателей молозива животных с состыкованными нестандартными резонаторами, обеспечивающими отдельные процессы дефростации и разогрева сырья в непрерывном режиме при разных дозах воздействия ЭМП СВЧ в зависимости от агрегатного состояния;

- аналитические зависимости и результаты исследования ЭД параметров для обоснования технологического процесса дефростации и разогрева молозива воздействием ЭМП СВЧ с учетом фазового перехода и изменения глубины проникновения волны в сырье разного агрегатного состояния, зависящей от электрофизических параметров;

- аналитические зависимости, описывающие распределения температурного поля в сырье при разных агрегатных состояниях и распределение волн на границе раздела между замороженным и жидким сырьем, позволяющие определить коэффициент отражения волн, поглощаемую сырьем мощность при дефростации и разогреве, и КПД двухрезонаторного СВЧ-размораживателя;

- конструктивно-технологические схемы СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия со сдвоенными резонаторами и обоснованные кон-

фигурации нестандартных резонаторов путем оценки отклонения ЭД параметров системы «генератор-резонатор» от эффективных значений критериев проектирования;

– комплекс конструктивных параметров и эффективных режимов работы двухрезонаторных СВЧ-размораживателей обоснованных с учетом многокритериальных регрессионных моделей и результатов исследований органолептических, биохимических, физико-химических, микробиологических показателей молозива животных, характеризующих кормовую ценность;

– образец СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия с передвижными диэлектрическими контейнерами и шестью магнетронами воздушного охлаждения на состыкованных коаксиальном и коническом резонаторах, позволяющий реализовать дефростацию и разогрев молозива животных при разных дозах воздействия ЭМП СВЧ с соблюдением электромагнитной безопасности на животноводческой ферме.

Теоретическую и практическую значимость работы представляют:

– научно-методические основы конструктивно-технологического проектирования и разработки радиогерметичных многогенераторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с резонаторами, обеспечивающими отдельные процессы дефростации и разогрева сырья при изменении агрегатного состояния для сохранения его кормовой ценности;

– обоснованный технологический процесс дефростации и разогрева сырья воздействием ЭМП СВЧ с учетом фазового перехода и изменения глубины проникновения волны в сырье разного агрегатного состояния, зависящей от электрофизических параметров; аналитические зависимости, описывающие распределения температурного поля в сырье при разных агрегатных состояниях и распределение волн на границе раздела между замороженным и жидким сырьем, позволяющие определить коэффициент отражения волн, поглощаемую сырьем мощность при дефростации и разогреве, и КПД двухрезонаторного СВЧ-размораживателя;

– система методов исследований ЭД параметров и критериев оценки эффективного функционирования многогенераторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия со сдвоенными резонаторами для отдельной тепловой обработки сырья при разных дозах воздействия ЭМП СВЧ в зависимости от агрегатного состояния;

– конструктивно-технологические схемы СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия со сдвоенными резонаторами для отдельной тепловой обработки сырья в разных дозах в зависимости от агрегатного состояния, и обоснованные конфигурации резонаторов путем исследования их ЭД параметров, в том числе по программе CST Studio Suite, и оценки отклонения ЭД параметров от эффективных значений критериев проектирования;

– комплекс конструктивных параметров и режимов работы двухрезонаторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения с учетом регрессионных моделей и результатов исследований органолептических, биохимических, физико-химических, микробиологических показателей молозива животных, характеризующих кормовую ценность;

– разработанный, созданный и апробированный в производственных условиях многогенераторный СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия, содержащий коаксиальный резонатор с передвижными диэлектрическими контейнерами, состыкованный с коническим резонатором, и заградительные волноводы;

– результаты оценки эффективности экранирующего корпуса и заградительных волноводов путем исследования мощности потока излучений СВЧ-размораживателем и регрессионного анализа многофакторных моделей; технико-экономические показатели эффективности внедрения двухрезонаторного СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива на ферме КРС.

Методология и методы исследования. Методология разработки и создания многогенераторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия со сдвоенными резонаторами для дефростации и разогрева сырья с изменяющимся

агрегатным состоянием предусматривает поэтапную оптимизацию конструктивного исполнения резонаторов через их ЭД параметры и путем анализа математических моделей, описывающих распределение ЭМП в них. В исследованиях пользовались в программе CST Microwave Studio 2018 трехмерным моделированием объемных резонаторов, выполненных с помощью программы SolidWorks, Компас 3D V20; многокритериальной оценкой регрессионных моделей с учетом органолептических, биохимических, физико-химических, микробиологических показателей молозива животных, характеризующих кормовую ценность; современными техническими средствами и измерительными приборами. Статистическую обработку опытных данных проводили, пользуясь пакетом программ MS Office, включая Excel, Mathcad 14, STATGRAPHICS Plus для Windows.

Положения, выносимые на защиту:

1. Технологические и технические решения по разработке радиогерметичных многогенераторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с резонаторами, обеспечивающими отдельные процессы дефростации и разогрева сырья с изменяющимся агрегатным состоянием для сохранения его кормовой ценности;

блок-схема модели реализации теоретических и экспериментальных исследований процессов дефростации и разогрева сырья с изменяющимся агрегатным состоянием в процессе фазового перехода, жидкая фаза которого коагулируется.

2. Математические модели, описывающие процессы дефростации и разогрева сырья воздействием ЭМП СВЧ с учетом фазового перехода и изменения глубины проникновения волны в сырье разного агрегатного состояния, зависящей от электрофизических параметров. Аналитические зависимости, описывающие распределение температурного поля в сырье при разных агрегатных состояниях и распределение волн на границе раздела между замороженным и жидким сырьем, позволяющие определить коэффициент отражения волн, поглощаемую сырьем мощность при дефростации и разогреве, и КПД двухрезона-

торного СВЧ-размораживателя. Результаты исследования динамики дефростации и разогрева коровьего молозива животных при разных напряженностях ЭП.

3. Методы исследований ЭД параметров с учетом критериев оценки эффективного функционирования многогенераторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия со сдвоенными резонаторами для отдельной тепловой обработки сырья при разных дозах воздействия ЭМП СВЧ в зависимости от агрегатного состояния.

4. Конструктивно-технологические схемы СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия со сдвоенными резонаторами для отдельной тепловой обработки сырья в разных дозах в зависимости от агрегатного состояния, и обоснованные конфигурации резонаторов путем исследования их ЭД параметров, в том числе по программе CST Microwave Studio, и оценки отклонения ЭД параметров от эффективных значений критериев проектирования.

5. Комплекс конструктивных параметров и режимов работы двухрезонаторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения с учетом регрессионных моделей и результатов исследований органолептических, биохимических, физико-химических, микробиологических показателей молозива животных, характеризующих кормовую ценность.

6. Разработанный, созданный и апробированный в производственных условиях многогенераторный СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия, содержащий коаксиальный резонатор с передвижными диэлектрическими контейнерами, состыкованный с коническим резонатором, и запределенные волноводы. Метод оценки эффективности экранирующего корпуса и запределенных волноводов путем исследования мощности потока излучений СВЧ-размораживателя и регрессионного анализа многофакторных моделей, и оценка технико-экономических характеристик предлагаемой технологии и двухрезонаторного СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива на ферме КРС.

Степень достоверности и обоснованности результатов обеспечивается использованием научных методов исследования, сопоставлением результатов

экспериментальных и теоретических исследований на основе известных методов решений, актами апробации в производственных условиях технологии и двухрезонаторного СВЧ-размораживателя; результатами исследования кормовой ценности молозива; публикацией результатов исследований в ведущих научных журналах. Достоверность технических решений подтверждена экспертизой ФГБНУ ФИПС, выдавшей 18 патентов на изобретения.

Реализация результатов исследований. Исследования проводились в соответствии с планами НИР: Чувашский ГАУ, Нижегородский ГИЭУ, РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева в объединенной научной школе. Результаты НИР используются в учебном процессе вузов: Марийский ГУ, Нижегородская ГСХА, Костромская ГСХА, Казанский ГАУ, Ульяновская ГСХА, ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, Российский университет кооперации. Изготовленный СВЧ-размораживатель и результаты научно-исследовательской работы апробированы на фермах КРС в Нижегородской области: ООО «АП Княгининское» (г. Княгинино, ул. Свободы, д. 7); в Чувашской Республике (ЧР): в СХПК «СО-ЮЗ» (Ядринский район, д. Якимкино, ул. Светлая, д. 6), ГКФХ «Солдатова Эльвира Юрьевна» (Батыревский район, д. Татмыш-Югелево, ул. К. Маркса, д. 14), СХПК «НИВА» (Красночетайский район, д. Мочей, ул. Новая, д. 2), ОПХ «Ленинская искра» (Ядринский район, д. Верхние Ачаки, ул. Ленина, д. 25). Министерством сельского хозяйства ЧР и Министерством сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Нижегородской области рекомендованы к применению технология и СВЧ-размораживатель для дефростации и разогрева молозива животных.

Апробация результатов. Основные положения диссертации обсуждались на международных научно-практических конференциях: Кузница идей (Литва, 2013 г.); Инновационные разработки молодых ученых – развитию АПК (Ставрополь, 2013 г.); Научный вклад молодых ученых в развитие перерабатывающей промышленности АПК (ГНУ ВНИМИ Россельхозакадемии, 2013 г.); Достижения современной науки в области энергосбережения (ЧГСХА, 2013-2014 гг.); Перспективы развития научных исследований в 21 веке (Махачкала, 2013-2014 гг.); Eurodoc Conference (Венгрия, 2014 г.); Инженерная наука – аграрному производству (КГАУ, 2014 г.); Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике; Инновации в сельском хозяйстве (ВИЭСХ, 2014-2016 гг.); Роль мультидисциплинарного подхода в решении актуальных проблем фундаментальных и прикладных наук (Национальная академия наук Азербайджана, 2014 г.); Продовольственная безопасность и устойчивое развитие АПК (ЧГСХА, 2015 г.); Актуальные направления научных исследований XXI века (Воронежский ГЛТУ, 2015 г.); Наука, образование, общество (Интер-актив, Чебоксары, 2015 г.); WORLD SCIENCE (ОАЭ, 2015-2016 гг.); Достиже-

ния науки в АПК (Самарская ГСХА, 2016 г.); Современные тенденции развития науки и технологий (Белгород, 2016-2017 гг.); Мосоловские чтения (Марийский ГАУ, 2016 г., 2021 г.); Наука, производство, образование (ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, 2019 г.); посвященной 155-летию РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (2020 г.); Устойчивое развитие в с. х., экологическая безопасность и энергетическая эффективность (Саратовский ГАУ, 2021 г.); AgroScience (ЧГАУ, 2021-2022 гг.) и др.

Результаты научных исследований были отмечены стипендией Президента РФ (приказ № 184 от 10.03.2015 г.); стипендией Главы ЧР (распоряжение № 473-рг от 31.12.2014 г.); дипломом У.М.Н.И.К. (2013-2014 гг.).

Результаты исследований отмечены стипендией Президента РФ (приказ № 184 от 10.03.2015 г.); стипендией Главы ЧР (распоряжение № 473-рг от 31.12.2014 г.); дипломом У.М.Н.И.К. (ЧР, 2013-2014 гг.). Апробация работы прошла на инновационных выставках и конкурсах: РНФ «Проведение поисковых научных исследований отдельными группами» (заявки № 22-19-00372, № 22-66-00007, № 22-22-00118); Молодёжные идеи и проекты, направленные на повышение энергоэффективности и энергосбережения (М., 2013 г.); IV Ярославский энергетический форум (2013 г.); Наука XXI века (ЧР, 2013-2014 гг.); научно-техническое творчество молодежи НТТМ (ЧР, 2013 г., 2016 г.); Лучший молодой ученый ЧР (2015 г.); За вклад в развитие интеллектуальной собственности (ЧР, 2015 г.); молодежный научно-образовательный форум (ЧР, 2016 г.); АПК выставках: Золотая осень (М., 2014 г., 2021-2022 гг.), АгроРусь (СПб, 2021 г.) и др.

Публикации. Результаты исследований отражены в 77 научных работах, в том числе 16 из перечня изданий, определенных ВАК РФ, 18 патентах на изобретения, 5 – в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Scopus, 3 монографиях объемом 49,5 п.л. Общий объем опубликованных работ составляет 80,75 п.л., из которых 60,5 п.л. (75 %) принадлежат лично соискателю.

Личный вклад соискателя состоит в выявлении основной проблемы с последующей постановкой цели, формулировании теоретических задач и практической их реализации с дальнейшей обработкой и систематизацией полученных научных результатов в ходе экспериментальных исследований в лабораторных условиях, на ферме КРС и производственных испытаний.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов с выводами, заключения, списка использованной литературы (292 наименования, из них 50 – на иностранном языке) и 11 приложений. Основная часть работы изложена на 329 страницах, содержит 160 рисунков и 76 таблиц.

1 СОСТОЯНИЕ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

1.1 Оценка состояния проблемы и анализ информационных источников использования современных технологий и технических средств

В соответствии с Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции на 2013-2020 гг. уровень самообеспеченности РФ по молоку и молокопродуктам составляет 84,4 % (по состоянию на 26.09.2020 г.), необходимо его увеличение до 90 %.

В соответствии с Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг. определены приоритетные направления развития технологий производства высококачественных кормов и кормовых добавок для животных, позволяющие снизить уровень импортозависимости не менее, чем на 25 %, повысить эффективность экономики сельхозпредприятий. Рассмотренные выше направления сформулированы ведущими отечественными научными школами в области переработки сельхозпродуктов, возглавляемыми академиками РАСХН И. А. Роговым, А. Б. Лисицыным, Н. Н. Липатовым.

На фермах крупного рогатого скота (КРС) и других видов животных для выпойки новорожденного молодняка используют молозиво [236]. Молозиво хранят в замороженном виде, так как оно содержит иммуноглобулины широкого спектра, ферменты и вещества, необходимые для роста и развития молодняка [216, 232, 234, 237]. Формирование иммунитета в первые часы жизни молодняка важно, особенно в первые 2 часа [280]. Способность антител проникать через стенку кишечника теленка резко падает в течение часа после рождения, а через сутки исчезает полностью [214, 279]. Поэтому молодняк должен получить достаточное количество молозива. На животноводческих фермах имеется запас молозива в морозильных камерах, оно при замораживании сохраняет кормовую ценность, в том числе иммуноглобулины.

Из-за высокого содержания иммуноглобулинов молозиво животных считается ценным биологическим продуктом, содержащим иммуноглобулины, которые нейтрализуют клетки патогенов (бактерий, грибов, многоклеточных

паразитов) и вирусов, а также белковых ядов и некоторых других чужеродных веществ, и позволяющим формировать иммунитет у молодняка [27, 279]. Поэтому молозиво собирают, замораживают, и это обеспечивает сохранность иммуноглобулинов [50]. Наилучший химический состав коровьего молозива сохраняется в первые сутки после отела, поэтому предлагается замораживать молозиво именно в этот период [12, 20].

Рекомендуется иметь запас полноценного молозива в замороженном виде от клинически здоровых полновозрастных коров [278]. Молозиво отличается от молока как по составу, так и по внешнему виду: оно более жирное, вязкое и густое; имеет желтый оттенок, солоноватый вкус и другой запах [46, 47]. У них разная калорийность, минеральный и витаминный состав. Молозиво обладает свойством нейтрализовать клетки патогенов-[3, 44] и содержит:

- иммуноглобулины [255];
- протеин, препятствующий размножению микроорганизмов и имеющий мощное противовирусное действие;
- вещества, стимулирующие рост тканей, укрепляющие иммунную систему, нормализующие работу кишечного-желудочного тракта, защищающие клетки от действия вируса;
- витамины и микроэлементы, содержащие антиоксидантный профиль [1];
- лизоцимы – антибиотики природного происхождения и т.п. [10, 11].

На ферме достаточно иметь морозильную камеру объемом 250-300 л с температурой от -15 до -20 °С для поддержания температуры сырья до -10 °С. В этих условиях молозиво хранится до 8 месяцев [103], или 12 месяцев [81], а замораживают его партиями перед кормлением до температуры 39 °С [103].

По данным Росстата РФ поголовье коров на 01.01.2021 г. составляет 7894,9 тыс., из них 3443,663 тыс. голов дойных коров. В среднем появляется 5 тыс. телят в сутки, удой коровы составляет 15 л молозива в сутки, продолжительность дойки коров молозивом – 4 дня, третью часть полученного молозива замораживают. Масса коровьего молозива составляет 206619,78 т в год; 566081,6 л в сутки.

По данным Министерства сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Нижегородской области на 01.01.2021 г. зарегистрировано 106100 голов коров, из них 42227 дойных коров, объем коровьего молозива составляет 2520 т в год, 6904 л в сутки.

В ферме КРС ООО «АП Княгининское» по состоянию на 23.11.2021 г. содержится 860 голов, из них 400 – это дойное поголовье (табл. 1.1, рис. 1.1). Годовой объем коровьего молозива в ООО «АП Княгининское» составил 24000 литров ($400 \text{ голов} \cdot 4 \text{ дня} \cdot 15 \text{ л}$), в среднем в сутки $24000/365 = 65,75 \text{ л}$.

Следовательно, в среднем следует размораживать и разогреть 22 л молозива в сутки. С учетом 5-6-ти разового кормления молодняка по 1,5 л молозива для каждого теленка необходимо размораживать около 7,5 л молозива в сутки. 22 л молозива достаточно для выпаивания 3 телят в сутки. На одно кормление для 3 телят необходимо размораживать 4,5 л, при этом процесс дефростации и разогрева молозива не может превышать 25-40 мин., для сохранения его кормовой ценности, в том числе содержания иммуноглобулинов и питательных веществ.

Таблица 1.1 – Расчет необходимой производительности размораживателя для дефростации и разогрева коровьего молозива

Показатель	По РФ	По Нижегородской области	В ООО «АП Княгининское»
Численность коров, шт.	7894900	106100	860
Численность дойных коров, шт.	3443663	42227	400
Объем коровьего молозива годовой, т	206619,8	2520	24,00
Объем коровьего молозива суточный, л	566081,6	6904	65,75
Суточный объем замороженного молозива, л	188693,9	2301	21,92
Количество необходимых (СВЧ) установок производительностью 30 л/ч, шт.	6290	76	1

Один размораживатель производительностью 30 л/ч достаточен для дефростации и разогрева коровьего молозива объемом 4,5 л на одно кормление трех телят. Статистические данные показывают, что в РФ 188693,86 л коровьего молозива замораживают ежесуточно, и поэтому для дефростации и разогрева необходимо иметь 6290 шт. СВЧ-размораживателей, производительностью 30 л/ч,

для дефростации коровьего молозива за 1 час. Динамика распределения объема коровьего молозива по России, Нижегородской области и в ООО «АП Княгининское» приведена на рис. 1.1.

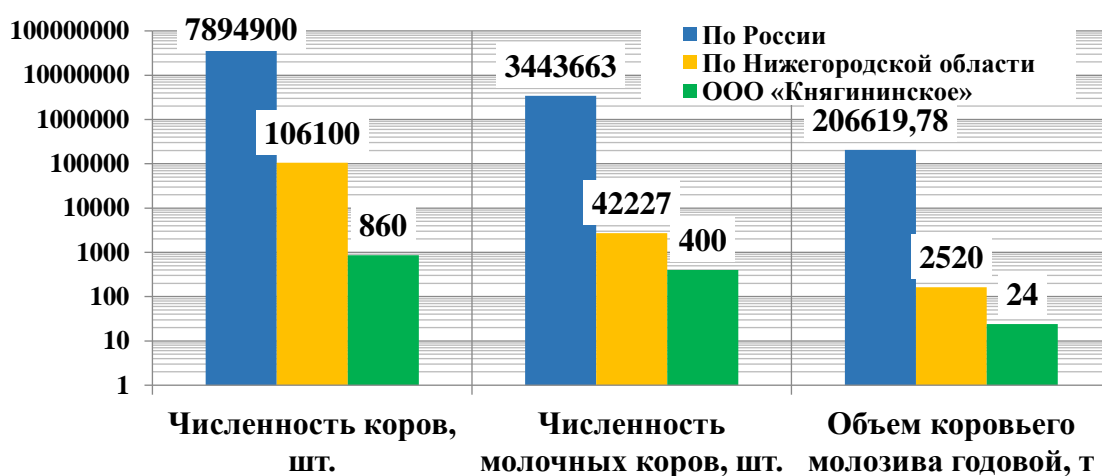


Рисунок 1.1 – Динамика распределения количества голов коров объема сырья по России, в Нижегородской области и ООО «АП Княгининское»

Действует «Стратегия научно-технологического развития и способа эффективного решения задач по направлению ресурсосберегающей энергетики» Государственной программы РФ «Научно-технологическое развитие РФ» (Постановление Правительства РФ от 22.10.2021 г. № 1814) [151]. Существуют различные технологии дефростации молозива [257, 258] и обработки молока, в том числе используют низкоинтенсивное лазерное излучение [83], ультрафиолетовое воздействие на молоко [74, 208], электромагнитное воздействие на молоко [201, 203] и сельхозпродукты [119], инфракрасное воздействие на молоко [54] и другие электрофизические методы обработки сельхозсырья [123, 194, 198, 199]. Академиком Сыроватка В. И. энергия СВЧ обоснована как нанотехнология настоящего [291], применение СВЧ техники в технологических процессах сельского хозяйства, *актуально*. Для ускорения процесса дефростации и разогрева молозива животных использование энергии ЭМП СВЧ *актуально*, о чем свидетельствуют результаты исследований зарубежных и отечественных ученых [24, 44, 140, 172].

Коровье молозиво – это специфический секрет, выделяющийся у животных после рождения молодняка в течение нескольких дней (первые 4-7 дней),

это густая жидкость, имеет кремовый или желтый цвет, на вкус немного соленая, как уже отмечалось выше. Состав молозива (содержание жиров, белка и др. элементов) изменяется каждый день после отела коров [53]. Поскольку молодняку достаточно 1/3 часть молозива от вырабатываемого количества, оставшуюся часть замораживают. С учетом среднего удоя 10-15 л молозива в сутки объем замораживаемого сырья может составлять до 5-10 л в сутки. Уникальные свойства молозива животных (коров, коз, верблюдов, лошадей и т.д.) позволяют употреблять его молодняку в размороженном и разогретом виде без возрастных ограничений [35]. В животноводческих фермах используют размораживатели, позволяющие в пластиковых бутылках, размещенных в пароводяной смеси, провести дефростацию и разогрев молозива. Этот способ подготовки молозива к выпойке длительный, достигает 1,5-2 часа, в зависимости от объема тары, а это снижает кормовую ценность продукта, уменьшая, в первую очередь, содержание иммуноглобулинов [58, 279]. Это значит, теленок не получает надежный иммунитет [278].

Замораживают также молозиво других видов животных, которое отличается по своему составу от молока (табл. 1.2) [38, 195, 282].

Для обоснования технологических параметров разработанных СВЧ-размораживателей молозива животных нами проанализированы физико-механические параметры молока и молозива разных видов животных [11, 195]. Средняя плотность *коровьего молозива* составляет 1060 кг/м^3 , кислотность $40-60 \text{ }^\circ\text{T}$ [81]. Плотность молозива зависит от температуры, содержания жира и СОМО (сухой обезжиренный остаток молока). В ходе лактации содержание жира в молоке постепенно повышается с 4,8 до 7,72 %. Таким образом, молозиво, как объект технологической обработки, представляет собой специфическое сырье со сложным химическим составом и определенными органолептическими, биохимическими и физико-механическими свойствами [200, 222]. Химический состав и физические свойства молока [84] и молозива разных видов животных приведены в табл. 1.2 [38, 195, 282]. Сравнительный анализ (рис. 1.2, а) плотности (кг/м^3), содержания жира (%) и кислотности (рис. 1.2, б) коровьего, кобыльего, козьего, овечьего

молока [152] и коровьего молозива [38, 195] приведен на рис. 1.2. Самой высокой кислотностью обладает коровье молозиво, 53,3 градусов Тернера (°Т), а его жирность достигает до 6,5 %. Температура разогрева коровьего молозива не может превышать 40 °С, в противном случае сырье коагулирует. Питательная ценность молозива коров выше питательной ценности молока по кормовым единицам и по белку [39, 80]. По сравнению с молоком коровье молозиво имеет гораздо более высокое содержание питательных веществ (33,1%, по сравнению с 12,5% у молока), значительно более высокое содержание белка (23,1 % против 3,3 %) и жира (6,5 % против 3,7 %) [188, 189]. Содержание иммуноглобулинов Ig в молозиве коровьем – больше 50 мг/мл, включает IgG₁, IgG₂, IgA и IgM. Причем IgG₁ составляют 80-90% от общего количества [12, 14].

Таблица 1.2 – Химический состав молока животных и молозива коровьего, %

Сырье	Белок			Лактоза	Жир	Зола	Сухое вещество	Кислотность, °Т	Плотность, кг/м ³
	общий	казеин	альбумин и глобулин						
<i>Молоко</i>									
Коровье	3,3	5	15	4,7	3,7	0,7	12,5	16	1027
Кобылье	2,0	50,7	49,3	6,7	2,0	0,3	11	6	1031
Козье	3,4	85	15	4,7	3,7	0,7	12,5	15	1031
Овечье	5,8	77,1	22,9	4,6	6,7	0,8	17,1	25	1034
Верблюжье	3,5	89,8	10,2	4,9	4,5	0,7	13,6	15,5	1032
Буйволиц	4,5	3,9	0,6	4,7	7,7	0,8	17,7	20	1032
Ослиное	2,0	-	1,0	6,2	1,6	0,5	10,3	10	-
Зебу	4,2	-	-	5,1	5,2	0,8	15,3	20	1033
Оленье	10,3	8,7	1,6	2,5	22,5	1,4	36,7	-	-
Лосье	8,4	-	-	3,0	9,5	1,5	22,4	-	-
<i>Молозиво</i>									
Молозиво коровье	23,1			2,1	6,5	1,4	33,1	53,3	1060
Верблюжье					5		30,4		-
Овечье								40	
Буйволиц	22				17		31		
Кобылье	15,9			3-5			0,6	50-55	1066

Согласно исследованиям, проведенным учеными Самарского ГАУ и Оренбургского ГАУ, содержание иммуноглобулинов в молозиве животных зависит от породы, климатических условий, условий кормления и содержания коров и др.

[79, 278, 279], а также от температуры воздуха окружающей среды [278] (табл. 1.3).

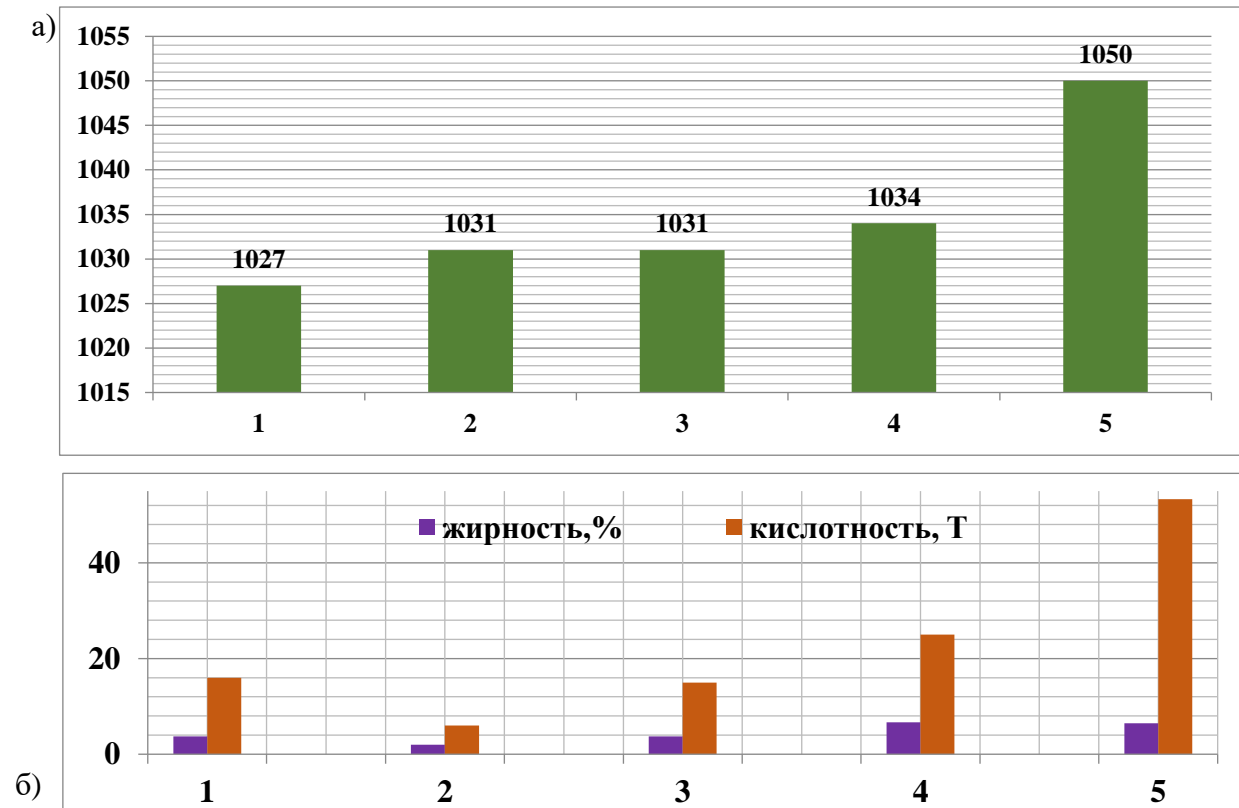


Рисунок 1.2 – Сравнительный анализ молока разных видов животных и коровьего молозива: а) плотности, б) жирности и кислотности: 1 – коровье молоко; 2 – кобылье молоко; 3 – козье молоко; 4 – овчье молоко; 5 – молозиво коровье

Таблица 1.3 – Содержание иммуноглобулинов в молозиве коров разных пород от температуры воздуха

Температура воздуха, °С	Содержание иммуноглобулинов в молозиве (первый удой), г/л		
	для айрширской породы	для черно-пестрой породы	для голштинской породы
0- -25 и ниже (зимой)	88,56-72,96	63,76-40,44	56,84-47,86
25-35 и выше (летом)	93,56-69,54	65,89-41,67	61,47-38,78

Известно, что содержание иммуноглобулинов в молозиве зависит от режима хранения молозива и его подготовки к скармливанию новорожденным телятам [279]. Авторы охлаждали молозиво коров разных пород до температуры 4 °С; а также замораживали его до температуры –18 °С в пластиковых 1,5 л бутылках; затем разогревали на водяной бане (базовый вариант) температурой 45 °С до температуры 38 °С (рис. 1.3). Так, например, у черно-пестрой породы коров содержание иммуноглобулинов в молозиве, охлажденном до 4 °С и разогретом

через 24 ч. до 38 °С, содержание иммуноглобулинов снижается на 3,31 г/л (5,2 %); в молозиве, замороженном в течение 365 дней и разогретом, снижается на 5,25 г/л (8,3 %) по сравнению со свежесвыдоенным молозивом; у голштинской – снижается на 9,9 %; у айрширской – снижается на 6,2 %.

Изменение состава коровьего молозива в течение суток после отела приведено на рис. 1.4 [10, 12].

Эмпирические выражения, описывающие изменение химического состава коровьего молозива (в %) в первые сутки после отела:

– сухое вещество $y_1 = 32,316 \cdot e^{-0,044 \cdot \tau}$; протеин $y_2 = 15,433 \cdot e^{-0,057 \cdot \tau}$;

– альбумины и глобулины $y_3 = 10,169 \cdot e^{-0,084 \cdot \tau}$; жир $y_4 = 0,0031 \cdot \tau^2 - 0,146 \cdot \tau + 5,1$,

где τ – продолжительность после отела, ч.

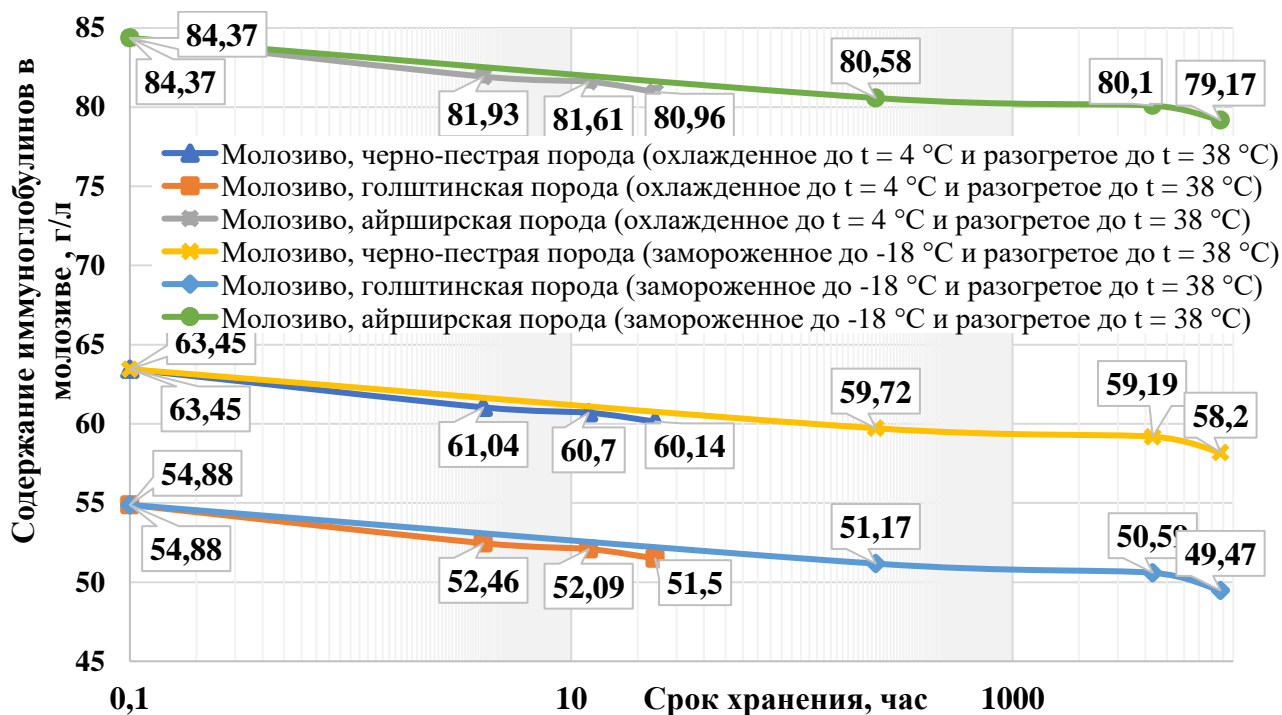


Рисунок 1.3 – Изменение содержания иммуноглобулинов в молозиве коровьем от хранения и подготовки его к выпойке телятам [279]

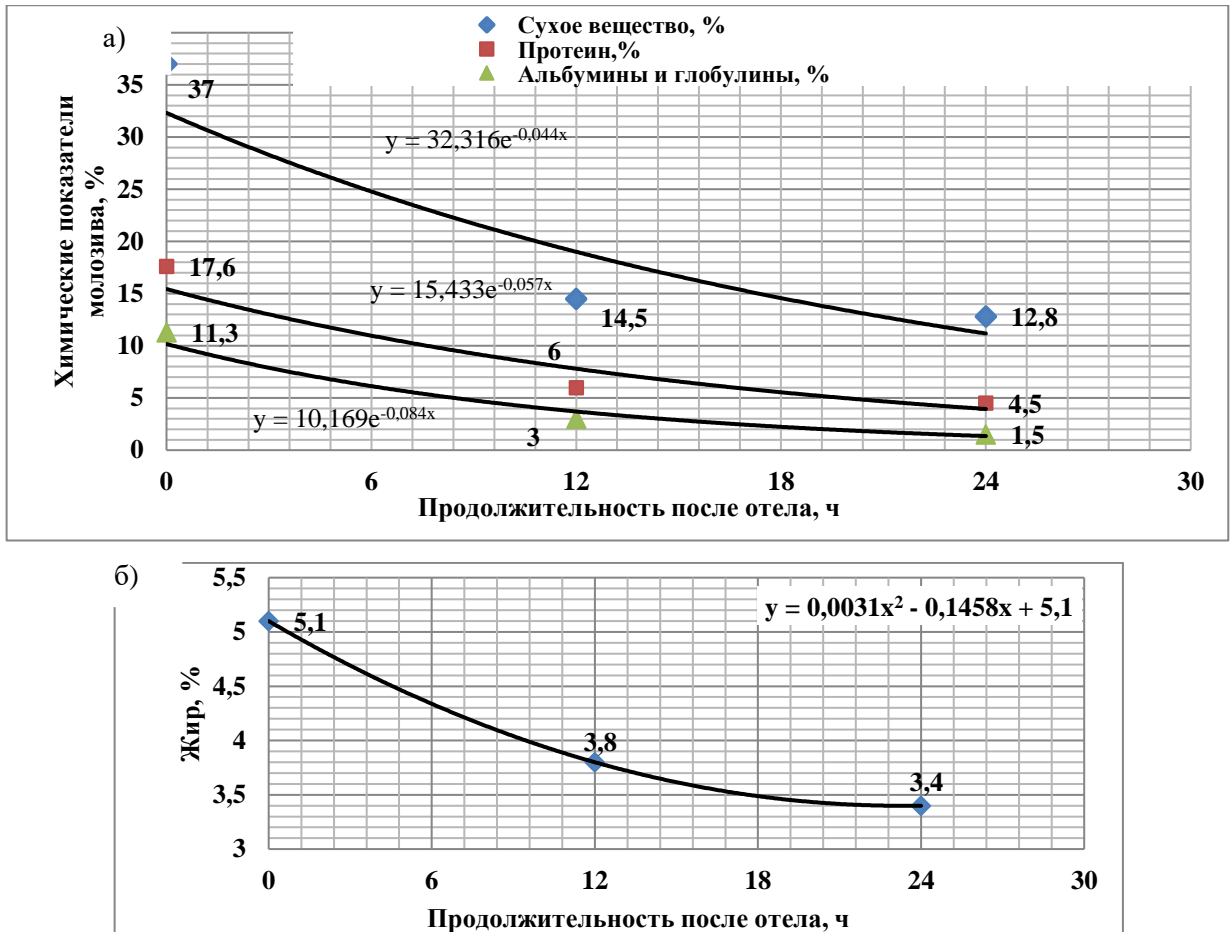


Рисунок 1.4 – Изменение химического состава коровьего молозива (%) в течение суток после отела коровы: а) сухое вещество, протеин, альбумин; б) жир

Технология заготовки, дефростации и разогрева молозива животных [121, 122, 226, 238]. Хранят молозиво в виде брикетов, в специальных пакетах или пластиковых бутылках в холодильнике (при температуре 2-4 °С до 7 дней) или в морозильной камере (от -5 до -10 °С до 12 месяцев) [154, 239]. Например, набор для молозива KERBL марки ColostroStartSET 10 содержит 10 пакетов для молозива объемом 4 литра, соску, дренажный зонд [81] (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Набор для молозива KERBL для хранения молозива в замороженном состоянии

На ферме КРС ООО «АП Княгининское» (АП Княгининское) Нижегородской области молозиво коровье замораживают в бутылках объемом 1 л.

Согласно исследованиям, проведенным в Университете Теннесси в 2001 г., после дефростации в молозиве сохранялись все компоненты, отвечающие за

резистентность к штаммам *E. coli* [1, 3]. После дефростации оно не может быть заморожено повторно. В холодильных условиях молозиво хранится 1 неделю, после чего концентрация IgG начинает понижаться [1]. В США молозиво собирают в течение первых 24 ч. после отела.

Существуют разные способы и виды заготовок молозива (рис. 1.6): консервирование [29]; подготовка молозивного иммуноглобулина (молозивная сыворотка, лакто глобулин), [36, 187]; колестроила (молозивный жир, сливки) [187]; сухого молозива (например, в США сушат на распылительной сушилке при низких температурах [45, 81]. Производят биологически активные добавки (БАД) (например, «Молозиво TSN», NutriCare International, США), «Колострум НСП» (например, Nature's Sunshine Products, США) [23] и др. [242-244]. Разогретым до 38-39 °С молозивом кормят новорожденных телят, причем выбор способа кормления влияет на формирование их иммунитета [79, 279].

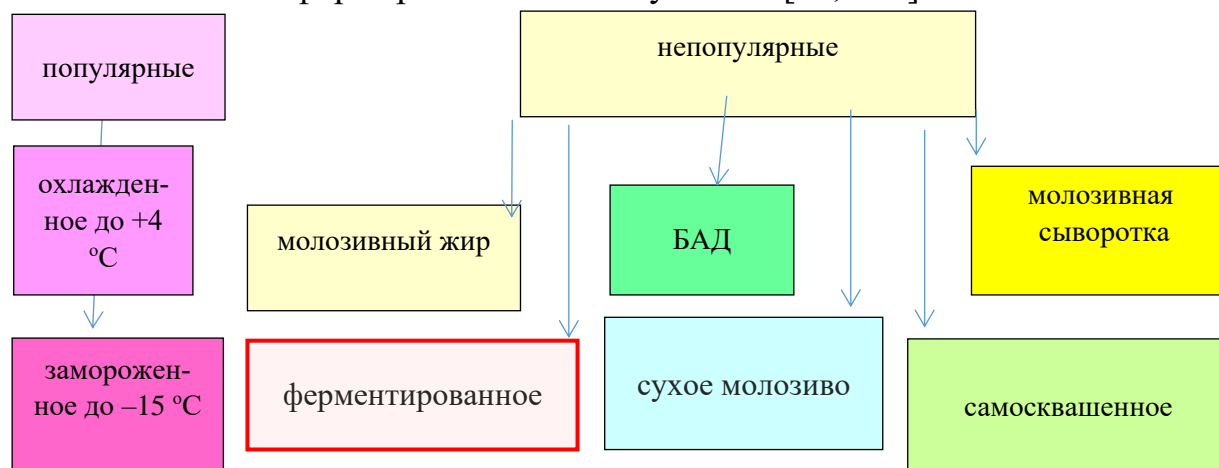


Рисунок 1.6 – Виды заготовок молозива

Ученый Илка Штайнхфель [113, 254] рекомендует теленка выпаивать 1,5-2 л молозива, использовать закачку молозива с помощью зонда с бачком (дренчера) для предотвращения развития желудочно-кишечных заболеваний, такой способ применяют на АП Княгининское. Выпаивать молозиво следует в количестве 10 % от массы тела теленка, не более 3 кг на голову в сутки. Наиболее эффективными считается искусственная выпойка или закачка молозива [79] с применением сосковой поилки. *Задача дефростации молозива* – это не разрушить иммунные протеины. Для дефростации молозива существуют размораживатели разной конструкции, где предусмотрены узлы подготовки теплой воды (50 °С) и

поворотные механизмы («Эконом» БМА-50, «ПримаЛакт» (рис. 1.12), РМ2, Иглус-4 (рис. 1.11) и др.). Последовательность базовой технологии замораживания и дефростации молозива животных приведена в табл. 1.4.

Таблица 1.4 – Технология замораживания и дефростации молозива

Технологический процесс	Характеристики
Надоить молозиво	
Проверить качество с помощью колострометра, рефрактометра, для определения удельной плотности	С помощью <i>колострометра</i> нужно определить качество молозива, используя цветовую шкалу. При <i>плотности</i> 1,041-1,050 г/см ³ молозиво содержит 45-54 % Ig (иммуноглобулинов от общего белка) и считается средним по качеству, а при плотности 1,051-1,060 г/см ³ – 55-60 % Ig, что является хорошим показателем. Молозиво отличного качества содержит 66-80 % Ig, плотность его составляет 1,061-1,080 г/см ³ . Если плотность молозива менее 1,040 г/см ³ , то оно содержит мало защитных <i>иммуноглобулинов</i> и непригодно для выпаивания телят [225] в соответствии с нормативными документами [205, 206].
Молозиво хорошего качества разлить в пластиковые бутылки	объем бутылки 1; 1,5; 2 л
1) Охладить и хранить в холодильнике 2) Заморозить и хранить в морозильной камере	температура 4 °С до 7 дней температура от –5 до –10 °С до 12 мес. [81]
Рассмотрим 2 вариант – замораживание и хранение в морозильной камере. Достать бутылки с замороженным молозивом из морозильной камеры	Сырье не замораживать повторно [77]
Поместить в теплую водяную ванну (1) или установить бутылки в размораживатель (2) и запустить процесс дефростации и разогрева	температура воды 45-50 °С, продолжительность – 2 ч.; 1) температура 45°С, 2) продолжительность – 40-60 мин.
Выпоить теленка разогретым молозивом	температура при выпойке – 38-39 °С, объем одной порции для кормления – до 1,5-2 л и 5-6 раз в сутки

Высокий падеж телят – одна из основных проблем для животновода [21].

Так, в Дании смертность телят после рождения составляет от 6,3 до 12,6% в течение первых 180 дней [32], в Швеции – 3,1% в течение первых 90 дней [41]. На АП Княгининское, где проведены исследования, в настоящее время падеж, по причине правильного кормления молозивом, сведен на нуль. Иммуноглобулины молозива чувствительны к температурным воздействиям (рис. 1.3) [279],

поэтому поиск более совершенного метода дефростации и разогрева молозива, **актуален.**

Российскими учеными рассмотрены перспективы применения энергии ЭМП СВЧ для обработки сырья АПК [8, 247, 249], в том числе микроорганизмов [155, 156, 183, 253, 260]; пищевых продуктов [56, 153, 233]; материалов и изделий [180, 191, 235]; сырья животного происхождения [18, 25, 40, 95, 164], в том числе молока [37] и молозива [44, 173, 174, 185]; сырья растительного происхождения [120, 184, 261], в том числе зерновых культур [6, 9, 246] и др.

Так, существует способ дефростации молозива **в микроволновой печи** короткими периодами низкой мощностью, но с небольшим повреждением иммунного протеина Ig [31]. При этом следует периодически растаявшее молозиво сливать и избежать перегрева внутри размороженного молозива [34, 68, 97]. При использовании традиционных размораживателей происходит снижение кормовой ценности молозива на 20-30 % из-за невозможности сохранения иммуноглобулинов (так, их снижение для голштинской породы коров составляет до 9,9 % [279]), белков, витаминов А.

Анализ существующих результатов исследований показывает, что имеющиеся технологии и технические средства для дефростации молозива в 4-6-ти пластиковых бутылках по 1,5-2 л существенно снижают кормовую ценность молозива из-за длительности процесса, достигающего 1,5-2 часа [44, 250]. Известен способ дефростации молозива коз и овец при комнатной температуре, а затем его тепловая обработка в *микроволновой печи* до температуры 39 °С [2], не повреждая иммуноглобулины [44], при этом процесс нагрева является быстрым и гигиеничным [24, 173, 201]. В то же время есть сведения, что молозиво для животных (например, для жеребенка [31]) следует размораживать медленно, так как эндогенный нагрев способствует денатурации IgG [30, 253]. Такие выводы возникают из-за того, что недостаточно представляются возможности для достижения управляемых эффектов воздействия ЭМП СВЧ [4, 67, 118, 128]. Предлагаемая нами технология дефростации и разогрева молозива животных заключается в разделении сырья разного агрегатного состояния при температуре, равной

температуре фазового превращения.

Отсутствуют научно-обоснованные подходы к выбору параметров и режимов работы установок, предназначенных для дефростации и разогрева молозива животных с использованием энергии ЭМП СВЧ. Поэтому разработка методологических основ конструктивно-технологического проектирования и создания СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных, обеспечивающих сохранение кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах, является *актуальной задачей*.

1.2 Анализ технических средств, предназначенных для дефростации и разогрева сырья животного происхождения

1.2.1 Базовые технические средства для дефростации и разогрева сырья животного происхождения

1. Системы для дефростации коровьего молозива по технологии SIZAM. Для фермы с поголовьем в 1000 голов дойного стада достаточно одной морозильной камеры, объёмом 240-300 л, которая держит от -18 до -23°C . Время хранения – 3-4 месяца. Используют рукава из полиэтилена высокого да-



вления в виде «цилиндра» шириной 300 мм. Из рукава вырезают участки полиэтилена длиной 35 см, заполняют молозивом и запаивают. Размораживают в баке, куда в нижнюю боковую стенку размещен электрический ТЭН с термопарой, мощностью 1,5-2 кВт (рис. 1.7) [270].

Рисунок 1.7 – Основные составляющие конструкции системы для фасовки по технологии SIZAM: решетка для разморозки, мерная емкость на 3 л, оттаиватель, ПВД рукав на 30 см, запайщик 40 см, пакет приёмник

2. Размораживатели коровьего молозива SALUTEM. Принцип работы оборудования строится на использовании водяной бани. Благодаря мощности ТЭНов и качающему механизму или барабану весь процесс разморозки и разогрева занимает 50-90 мин. в автоматическом режиме. Размораживатели выпускаются в трёх вариантах. *2.1 Размораживатель коровьего молозива без поворотного механизма* марки SALUTEM (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Размораживатель коровьего молозива без поворотного механизма

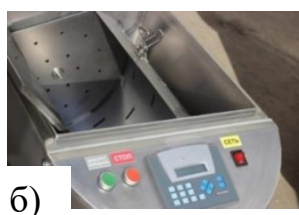
Технические характеристики: скорость разморозки и разогрева молозива до 40 °С – 50-90 мин.; возможность разморозки и разогрева молозива до 10 л за один раз; возможность размораживать в пакетах, бутылках и другой таре; мощность ТЭНов – 6 кВт; габаритные размеры: 670x470x490 мм; масса – 25 кг; напряжение электропитания – 380 В.

2.2 *Размораживатель молозива с качающим механизмом* марки SALUTEM (рис. 1.9, а). Технические характеристики: скорость разморозки и разогрева молозива до 40 °С – за 60-90 минут;

возможность разморозки и разогрева молозива до 6 литров за один раз; возмож-



а)



б)

ность размораживать в пакетах, бутылках и другой таре; мощность ТЭНов – 6 кВт; габаритные размеры: 660x470x420 мм; масса – 40 кг; напряжение – 380 В.

Рисунок 1.9 – Размораживатель коровьего молозива марки SALUTEM: а) с качающим механизмом, б) с поворотным механизмом

2.3 *Размораживатель молозива с поворотным механизмом* (рис. 1.9, б).

Технические характеристики: скорость разморозки и разогрева молозива до 40°С – за 50-90 мин.; возможность разморозки и разогрева молозива до 15 л за один раз; возможность размораживать в пакетах, бутылках и другой таре; мощность ТЭНов – 12 кВт; габаритные размеры: 770x480x630 мм; масса – 55 кг; напряжение электропитания – 380 В [262]. *Недостатки всех* вариантов SALUTEM: в них замороженное сырье в 6 пластиковых бутылках размораживается и разогревается в течение 1-2 ч. Из-за длительности процесса сохранить в полном объеме кормовую ценность молозива не удается.

3. ИГЛУС. 3.1 Размораживатель молозива РМ-2 выполняет функцию «водяная баня» (рис. 1.10). Он представляет собой корпус из нержавеющей стали с



откидной крышкой, оснащенный кареткой для вращения емкостей с молозивом и встроенным нагревателем, рассчитан на ферму от 50 до 1200 голов в зависимости от равномерности отелов. Установлен таймер и

Рисунок 1.10 – Размораживатель молозива марки Иглус РМ-2

переворачивающий механизм. В течение 40 мин. подготавливает молозиво к выпойке; температура выпойки 37-38 °С, мощность 12 кВт [263].

3.2. Размораживатель молозива «Иглус-4» предназначен для размораживания и равномерного нагрева молозива с применением ПЭТ бутылок объемом 2 или 1,5 литра. «Иглус-4» предназначен для эксплуатации внутри помещений в диа-



пазоне температур от 0 до 35 °С при относительной влажности не более 85 %. (рис. 1.11) (<https://eltemiks-vet.ru/product/razmorazhivatel-moloziva-iglus-4>). Продолжительность разогрева – 30 мин.

Рисунок 1.11 – Размораживатель молозива Иглус-4

4. Размораживатель молозива «ПримаЛакт» (Петролазер) предназначен для быстрой и равномерной дефростации молозива с применением ПЭТ бутылок объемом 1 литр (рис. 1.12). Корпус с крышкой из нержавеющей стали, содержит устройство для постоянного перемешивания емкостей с молозивом; нагревательный элемент с датчиком температуры [197]. Технические характеристики [264]:



продолжительность дефростации и разогрева молозива до 40 °С составляет 45 мин.; одновременно может размораживать 6-9 л молозива (6 бутылок); потребляемая мощность 4 кВт; напряжение 220 В.

Рисунок 1.12 – Размораживатель молозива «ПримаЛакт»

5. Размораживатель молозива «Солнышко» (ООО «Агропромтехника», г.



Ижевск) предназначен для дефростации и разогрева молозива до температуры 39 °С перед выпаиванием новорожденных телят (рис. 1.13), технические характеристики – в табл. 1.5.

Рисунок 1.13 – Размораживатель молозива «Солнышко»

Таблица 1.5 – Технические характеристики размораживателя молозива [265, 266]

Параметры	Значение
Температура разогрева, °С	от 5 до 60
Скорость вращения, об/мин	12
Рабочая жидкость, объем в рубашке, л	50
Потребляемая мощность, кВт	3,0
Вместимость, шт.	7 шт. по 1-2 л бутылки
Производительность, л/ч	11 л/ч

Продолжительность размораживания от температуры $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, мин.	45 -50
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,273
Габаритные размеры, мм (ДШВ)	430x840x880

6. Размораживатель молозива – экономичная баня для дефростации молозива



(без поворотного механизма) Юником-плюс (Белоруссия) [276] (табл. 1.6, рис. 1.14).

Рисунок 1.14 – Баня для дефростации молозива

Таблица 1.6 – Технические характеристики размораживателя молозива

Параметры		Значение
Время разморозки и разогрева молозива, мин.		90
Температура нагрева молозива, $^{\circ}\text{C}$, не более		40
Температура воды, $^{\circ}\text{C}$, не более		42
Мощность ТЭНов, кВт		6
Габаритные размеры, мм, не более		длина: 670, ширина: 480, высота: 430
Количество размораживаемого молозива за один раз, л		6
Масса, кг, не более		47

7. Размораживатель молозива – Система ColoQuick (Дания) (рис. 1.15). Проверить молозиво на содержание антител при помощи рефрактометра



и заполнить в специальные пакеты при помощи фасовочной станции и замораживается. Замороженное молозиво размораживается за 20 минут. Вместимость – 2 шт.; картриджи – 10 шт.; одноразовый пакет для молозива – 35 шт. [267].

Рисунок 1.15 – Размораживатель молозива ColoQuick

8. Дефростеры микроволновые, производитель «Латтерос» (Санкт-Петербург),

предназначены для дефростации субпродуктов, молочной продукции, благодаря современному программному обеспечению (<http://new.latteros.ru/catalog/amtek-microwaves/mikrovolnovye-defrostery>).

Дефростер MWB 2142 (рис. 1.16, а), позволяет разморозить сырье с -18 до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 4 минуты, однако, не производит его разогрев. Производительность 680 кг/ч. Дефростер АМТ4412R-2x75 двухгенераторный, туннельный (рис. 1.16, б), позволяет разморозить сырье с -18 до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 30 с. Производительность – 2000 кг/ч.



а)



б)

Рисунок 1.16 – Микроволновый дефростер: а) MWB 2142; б) АМТ4412R-2x75

9. Воздушно-капельный дефростер для разморозки, производитель «Завод пищевого оборудования» (Московская область), предназначены для дефростации любого вида сырья (от 4 часов), мясного, молочного (<https://russia-zpo.ru/defroster>),



представляет собой камеру воздушной дефростации с бочками с замороженным вязким сырьем (рис. 1.17).

Рисунок 1.17 – Воздушно-капельный дефростер

1.2.2 Инновационные технические средства для дефростации и разогрева МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ

Научной школой Княгининского университета НГИЭУ разработаны СВЧ-размораживатели для дефростации и разогрева молозива животных [33, 64, 139, 143, 146, 160]. Но некоторые узлы требуют совершенствования для повышения производительности, снижения металлоемкости, а самое главное – для сохранения кормовой ценности молозива, и обеспечения электромагнитной безопасности. Ниже проанализированы существующие СВЧ-размораживатели (табл. 1.7) и приведены их описания. Разработаны СВЧ-размораживатели для дефростации и разогрева молозива животных с разными конструктивными исполнениями резонаторов (патенты № 2730060 [268], 2751023 [269], 2721484 [173], 2744423 [178], 2734593 [176], 2732722 [174], 2734618 [177], заявка № 2020108141) [126, 139, 143] и др. [140, 148, 149, 161, 165-171, 221].

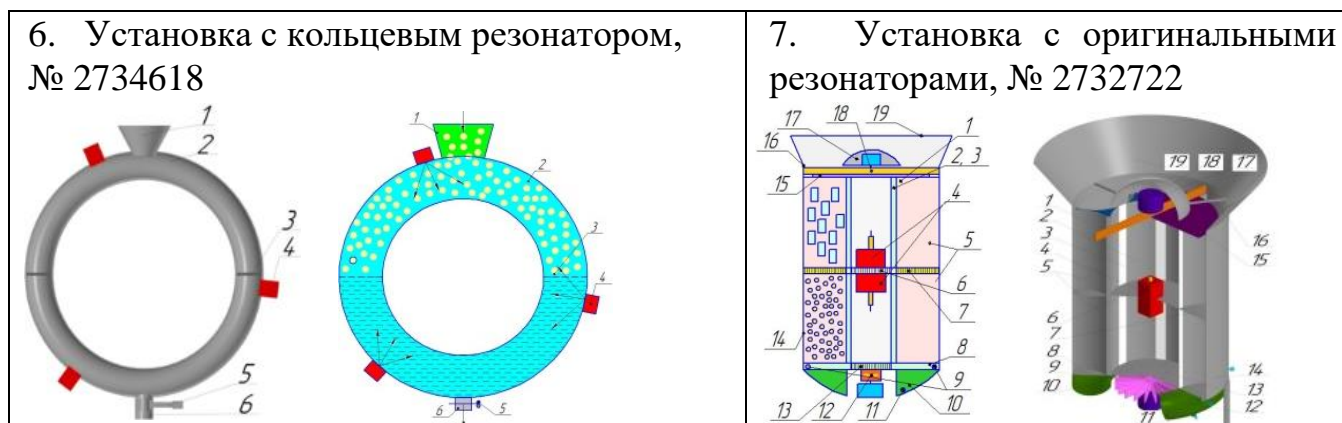
Но не во всех разработанных рабочих камерах СВЧ установок удается реализовать следующие основные критерии:

- непрерывность технологических процессов дефростации и разогрева молозива животных при высокой собственной добротности резонаторов и высокой напряженности электрического поля (ЭП) в сырье, позволяющей достичь бактерицидного эффекта;
- электромагнитная безопасность СВЧ-размораживателя и универсальность рабочей камеры для тепловой обработки сырья различного состава [17];
- равномерное распределение ЭП и сырья в резонаторах, возбуждаемых от нескольких магнетронов;

– возможность вариации производительности и свободного демонтажа узлов установки и др.

Таблица 1.7 – Известные СВЧ-размораживатели молозива животных

СВЧ установки для тепловой обработки молозива животных, номера патентов	
<i>Установка периодического действия</i>	
<p>1. Многомодульная установка периодического действия с цилиндрическими резонаторами, № 2730060</p>	<p>зонаторами, № 2730060</p>
<i>Установки непрерывно-поточного действия</i>	
<p>2. Установка с призматическими резонаторами, № 2751023</p>	<p>3. Установка с биконическим резонатором, № 2721484</p>
<p>4. Установка с усеченными коническими резонаторами, № 2744423</p>	<p>5. Установка с соосно расположенными сферическим и цилиндрическим резонаторами, № 2734593</p>



1. Многомодульный СВЧ-размораживатель периодического действия с цилиндрическими резонаторами (патент № 2730060)

Каждый съемный модуль выполнен в виде цилиндрического резонатора с крышкой и мелкоячеистой сеткой на носике для розлива из неферромагнитного материала. Ручка, расположенная с боковой стороны из фторопласта. К дну цилиндрического резонатора приклеен фторопластовый диск, а по центру дна резонатора

расположены съемные части коаксиально расположенных волноводов во фторопластовых втулках. Около каждого съемного модуля имеются охлаждающий магнетроны вентилятор и шкаф управления. (рис. 1.18).

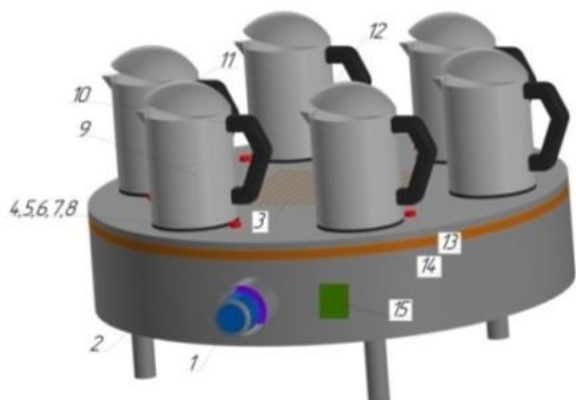


Рисунок 1.18 – Многомодульный СВЧ-размораживатель: 1 – вентилятор; 2 – экранирующий стол; 3 – перфорированное основание; 4 – стационарные части фторопластовых втулок; 5 – волноводы; 6 – съемные части волноводов; 7 – фторопластовые втулки; 8 – фторопластовые диски; 9 – цилиндрические резонаторы; 10 – диэлектрические ручки; 11 – крышки резонаторов; 12 – неферромагнитные мелкоячеистые; 13 – выключатели с терморегуляторами; 14 – магнетроны; 15 – шкаф управления

обеспечивает разделение процессов; периодический режим работы.

2. СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия с призматическими резонаторами для дефростации и разогрева молозива (патент № 2751023)

СВЧ-размораживатель (рис. 1.19) собран из трех шестигранных призматических резонаторов, которые расположены поярусно.

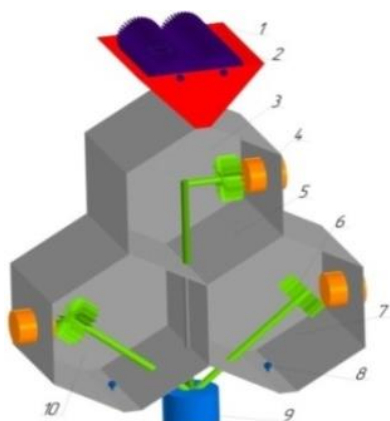


Рисунок 1.19 – СВЧ-размораживатель с призматическими резонаторами:
 1 – емкость для приема замороженного сыря, 2 – вальцы оребренные, 3 – верхний шести-
 гранный призматический резонатор, 4 – магнетроны, 5 – перфорированные грани резонатора,
 6 – диссекторы, 7, 10 – нижние шестигранные призматические резонаторы,
 8 – шаровые краны в призмах второго яруса, 9 – электропривод

3. СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия с усеченными коническими резонаторами для дефростации и разогрева коровьего молозива (патент № 2744423)

СВЧ-размораживатель содержит вертикально расположенные усеченные конические резонаторы, имеющие общее перфорированное неферромагнитное основание (рис. 1.20).

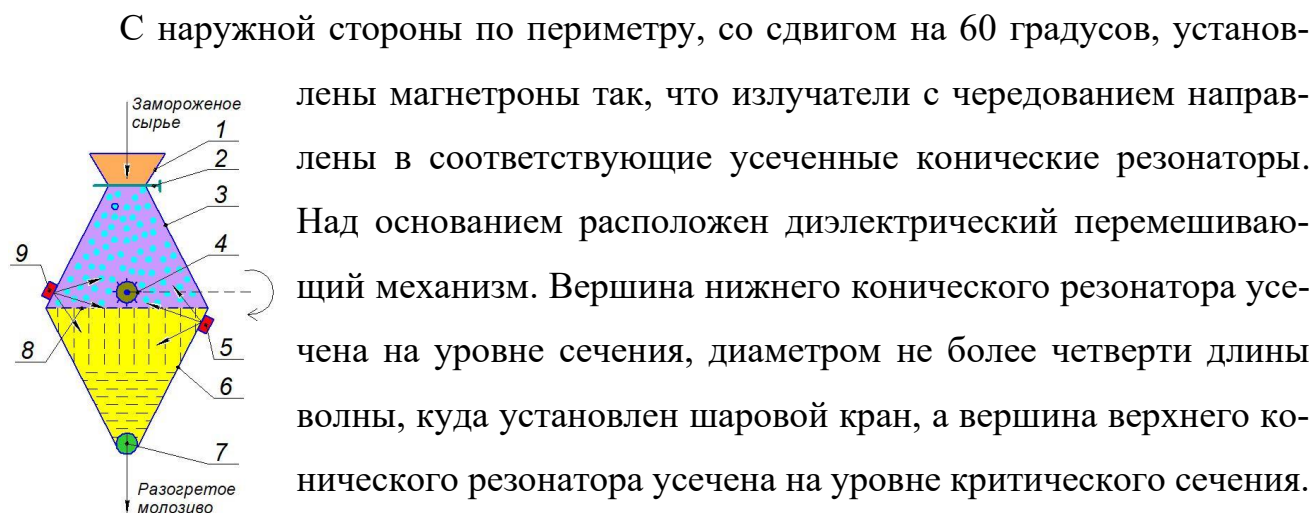
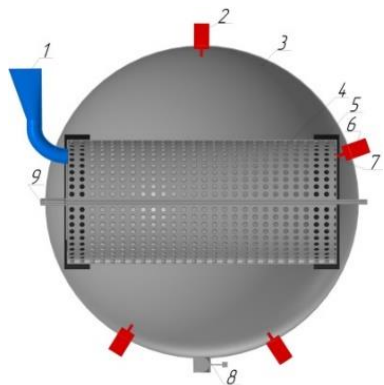


Рисунок 1.20 – СВЧ-размораживатель с усеченными коническими резонато-
 рами для дефростации и разогрева коровьего молозива: 1 – емкость для заморо-
 женного сыря; 2 – вальцы оребренные; 3 – биконический резонатор; 4 – ведущая звез-
 дочка; 5, 9 – магнетроны от СВЧ генераторов; 6 – нижний конический резонатор; 7 – шаро-
 вой кран, 8 – диск диэлектрический перфорированный в зубчатом венце

Преимущества и недостатки: отдельные процессы дефростации и разо-
 грева молозива; непрерывно-поточного действия с соблюдением электромагнит-
 ной безопасности

4. СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева коровьего молозива с соосно расположенными резонаторами (патент № 2734593)

СВЧ-размораживатель содержит сферический резонатор 3 (рис. 1.21), где соосно расположен цилиндрический мелкоячеистый (перфорированный) ферромагнитный резонатор 4, имеющий основания. Основания цилиндрического мелкоячеистого резонатора выполнены в виде стационарно установленных колпаков 5 с отверстиями выше диэлектрического вала.



К отверстию одного основания резонатора 4 пристыкована приемная емкость 1 с заслонкой.

Рисунок 1.21 – СВЧ-размораживатель для дефростации и разогрева коровьего молозива с соосно расположенными резонаторами: 1 – приемная емкость с заслонкой; 2 – магнетроны; 3 – сферический резонатор; 4 – цилиндрический перфорированный вращающийся резонатор; 5 – стационарные основания цилиндрического резонатора в виде колпаков, имеющие отверстия; 6 – дополнительный магнетрон; 7 – фторопластовая втулка; 8 – заградительный волновод с шаровым краном; 9 – вал фторопластовый

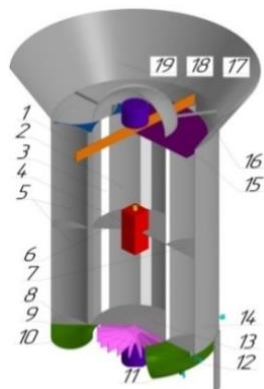
В отверстие другого основания вставлена диэлектрическая втулка 7. Через втулку 7 направлен излучатель от дополнительного магнетрона 6 внутрь цилиндрического вращающегося резонатора 4. С нижней стороны сферического резонатора 3 имеется заградительный волновод 8 с шаровым краном.

Преимущества и недостатки: высокая собственная добротность сферического резонатора, непрерывно-поточный режим работы; сложная конструкция внутреннего вращающегося цилиндрического резонатора.

4. СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия с резонаторами оригинальной конфигурации для дефростации и разогрева молозива животных (патент № 2732722)

СВЧ-размораживатель (рис. 1.22) выполнен с поярусно расположенными цепочками резонаторов, позволяющих отдельно управлять процессами дефростации и разогрева коровьего молозива в непрерывном режиме за счет регулирования мощности отдельных генераторов [26]. СВЧ-размораживатель состоит из внутреннего 2 и наружного экранирующего 14 цилиндров, расположенных коаксиально в вертикальной плоскости. В межкольцевом пространстве вертикально

установлены неферромагнитные полуцилиндры 1 со щелями в боковых поверхностях по всей высоте, разделенные на верхние и нижние ярусы 5 с помощью



перфорированных неферромагнитных оснований 7. В разделенных с помощью неферромагнитного перфорированного диска 6 половинах неферромагнитного внутреннего цилиндра 2 расположены излучатели 4.

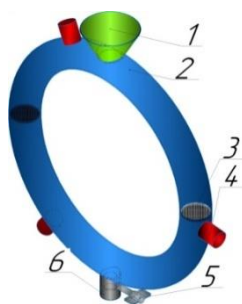
Преимущества и недостатки: возможность разделения процессов дефростации и разогрева; сложная конструкция.

Рисунок 1.22 – СВЧ-размораживатель: 1 – неферромагнитные полуцилиндры со щелями в боковых поверхностях; 2 – внутренний цилиндр; 3 – боковые диэлектрические пластинки; 4 – излучатели; 5 – верхние и нижние ярусы цепочек резонаторов; 6 – неферромагнитный перфорированный диск; 7 – неферромагнитные перфорированные основания резонаторов; 8 – нижнее основание цилиндра; 9 – шаровые краны; 10 – накопительная емкость;

11 – общий шаровой кран; 12 – вентилятор с электродвигателем; 13 – перфорированная часть нижнего основания цилиндра; 14 – экранирующий цилиндр; 15 – верхнее основание экранирующего цилиндра; 16 – промежуточная емкость; 17 – шаровой сегмент; 18 – скребок с электродвигателем; 19 – приемная емкость

7. СВЧ-размораживатель с кольцевым резонатором для дефростации и разогрева коровьего молока в непрерывном режиме (патент № 2734618)

Кольцевой резонатор (рис. 1.23) расположен вертикально и выполнен разделенными отсеками, верхний для дефростации, и нижний – для разогрева молока.



Для этого, в поперечном сечении резонатора установлены диэлектрические перфорированные пластины. Поперечное сечение резонатора образовано пересечением двух окружностей с одинаковым радиусом, а максимальное расстояние между стенками кольцевого резонатора кратно половине длине волны.

Рисунок 1.23 – СВЧ-размораживатель с кольцевым резонатором для дефростации и разогрева коровьего молока: 1 – приемная емкость; 2 – кольцевой резонатор; 3 – перфорированные диэлектрические перегородки; 4 – магнетроны; 5 – запердельный волновод с шаровым краном; 6 – нижняя часть кольцевого резонатора

Магнетроны размещены со сдвигом на 120 градусов по периметру кольцевого резонатора. Средняя длина кольца резонатора равна целому числу волн и

разделена на равные промежутки между излучателями, каждый из которых по длине соответствует целому числу волн.

Преимущества: равномерность распределения электромагнитного поля СВЧ в кольцевом резонаторе за счет обеспечения бегущей волны; высокая собственная добротность резонатора.

Анализ показывают, что процесс дефростации и разогрева молозива и с помощью этих установок получается достаточной длительной. Причина заключается в том, что во всех установках объем жидкой фракции, накапливаемый во втором резонаторе, не согласован с глубиной проникновения волны. Это значит, что добиться высокой скорости нагрева сырья в области положительных температур в этих конструктивных исполнениях без дополнительных узлов сложно. При длине волны 12,24 см глубина проникновения в жидкое молозиво составляет в пределах 1,2-1,5 см, в зависимости от жирности и температуры нагрева. Следовательно, во втором резонаторе необходимо предусмотреть условие нагрева тонкого слоя жидкости и перемешивание. Даже при сферическом исполнении первого резонатора общая собственная добротность двух резонаторов остается низкой.

1.3 Анализ электрофизических и теплофизических параметров сырья

Для выработки научной основы процесса с выявлением моделей взаимодействия ЭМП СВЧ с сырьем, для выбора частоты электромагнитных колебаний при разработке технологического процесса дефростации и разогрева коровьего молозива и соответствующей установки необходимо знать изменение электрофизические параметры сырья от температуры, при разных агрегатных состояниях [200, 212]. Известны диэлектрические свойства человеческого молозива на микроволновых частотах [283]. Надо знать изменение диэлектрических свойств, плотности, теплоемкости коровьего молозива от температуры нагрева при разной жирности [86]. Плотность коровьего молозива колеблется в пределах 1,04-1,08 г/см³. Жирность молозива зависит от времени после отела коров (рис. 1.24). Она до 12 часов уменьшается с 6,5 до 2,5 %, далее до трех суток растет, после

чего жирность молозива стабилизируется на уровне 3,7 % [11, 78, 199].

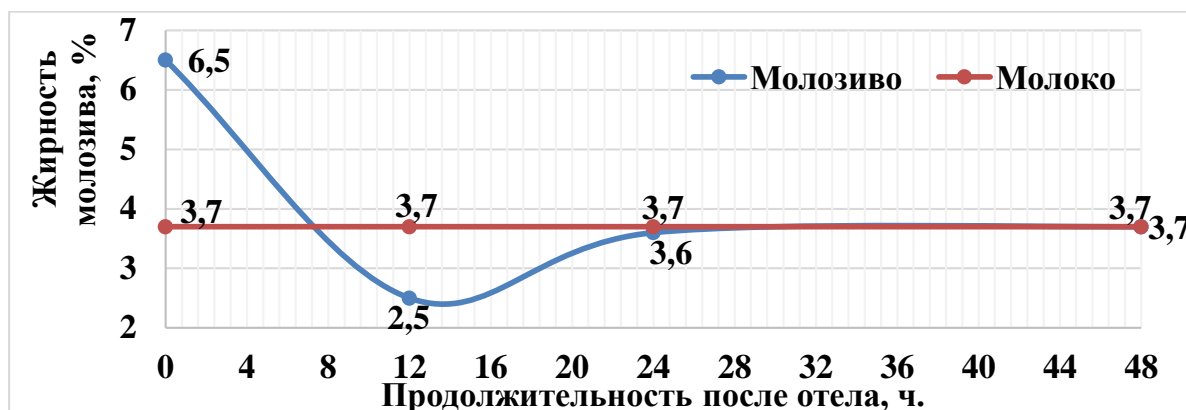
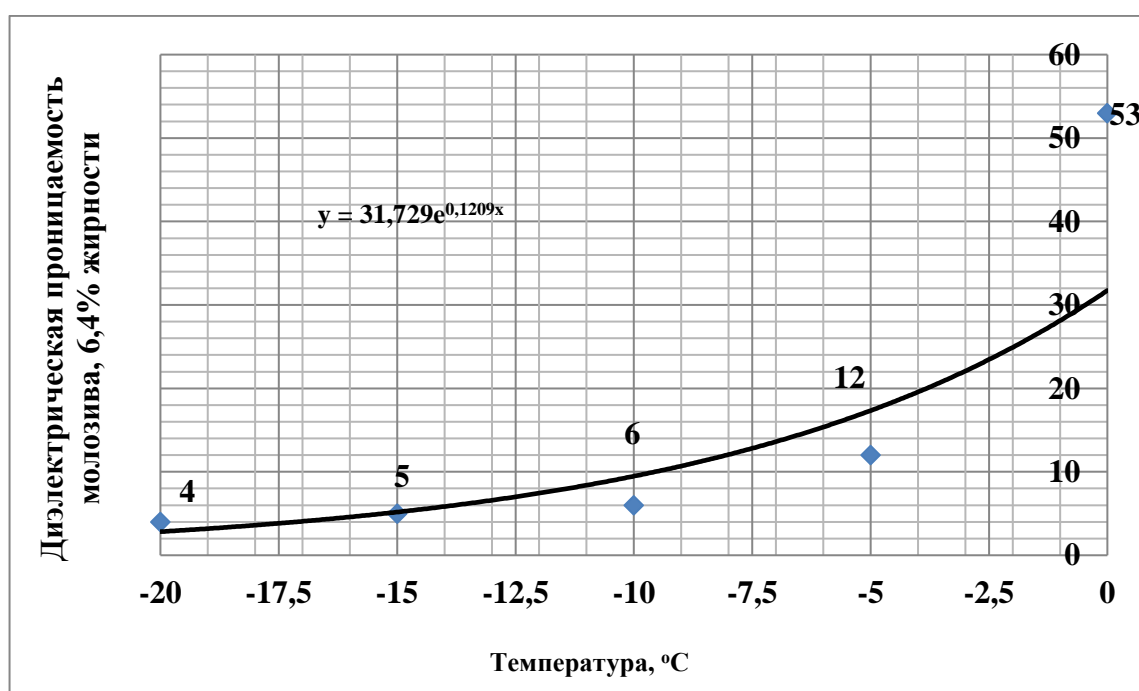


Рисунок 1.24 – Изменение жирности коровьего молозива от времени после отела

Как известно, удельные диэлектрические потери в единице объема диэлектрика зависят от параметров электрического поля сверхвысокой частоты [69], от фактора диэлектрических потерь (k) молозива, а также от теплоемкости и плотности, которая, в свою очередь, зависит от жирности молозива. Нами проанализированы диэлектрические характеристики замороженного коровьего молозива жирностью 6,5%, такие как диэлектрическая проницаемость и фактор диэлектрических потерь (рис. 1.25), на основе данных из учебника Рогова И. А. [200]. С повышением температуры глубина проникновения электромагнитной волны изменяется, так как изменяются диэлектрическая проницаемость, фактор диэлектрических потерь и электрическая проводимость (приложение 9).



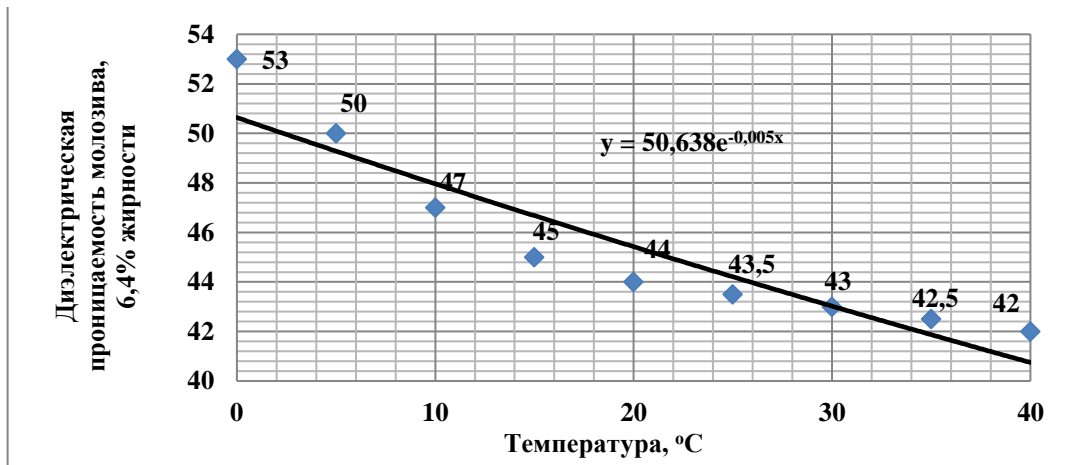


Рисунок 1.25 – Изменение диэлектрической проницаемости молозива в разных диапазонах температур

Фактор диэлектрических потерь замороженного коровьего молозива растет с 0,75 до 27 в диапазоне температур от -20 до 0 °C, а далее, с увеличением температуры от 0 до 60 °C, падает с 27 до 11,9. Это следует учесть при разработке технологии дефростации и разогрева коровьего молозива и определении соответствующей дозы воздействия ЭМП СВЧ. Фактор диэлектрических потерь при температуре от -10 до 0 °C растет от 4 до 27, т.е. мощность, поглощаемая сырьем в процессе дефростации, увеличивается, а при разогреве молозива от 0 до 40 °C фактор диэлектрических потерь падает, т. е. поглощаемая мощность с увеличением температуры уменьшается (рис. 1.26). Анализ диэлектрических параметров позволяет сделать вывод, что процессы дефростации и разогрева коровьего молозива должны происходить в разных объемных резонаторах при разных дозах воздействия ЭМП СВЧ. Поэтому *научная инновационная идея* состоит в разработке СВЧ-размораживателя с двумя модулями. Один модуль – для дефростации от -10 до 0 °C, другой модуль – для разогрева с 0 до 39 °C. Только разделение этих процессов в разных резонаторах сократит продолжительность дефростации и разогрева молозива животных, что позволит сохранить кормовую ценность молозива, в том числе иммуноглобулины. С этой целью разработано несколько СВЧ установок. Однако, в них не предусмотрена возможность воздействия ЭМП СВЧ разной дозой на сырье в зависимости от его температуры.

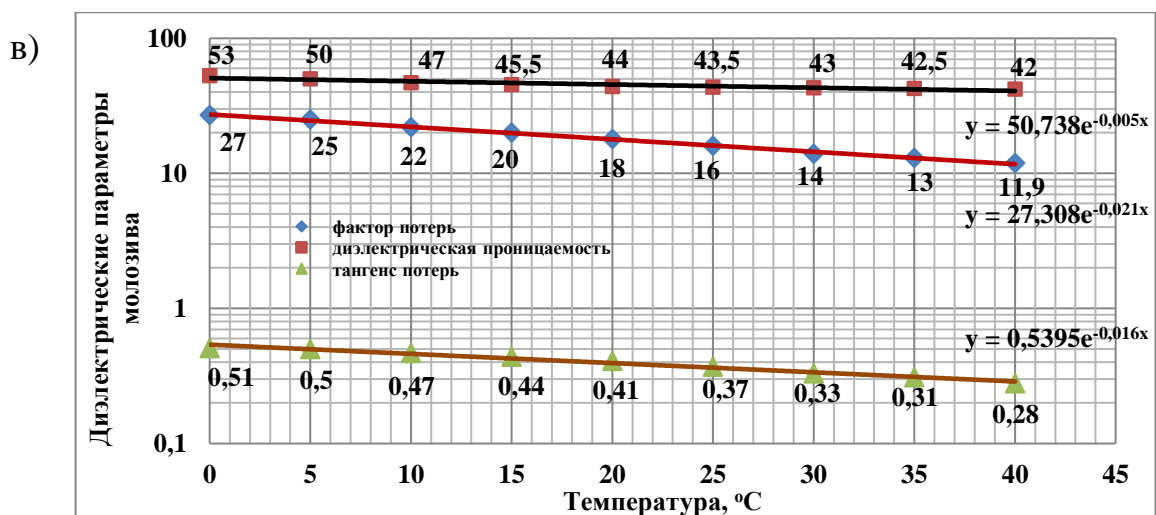
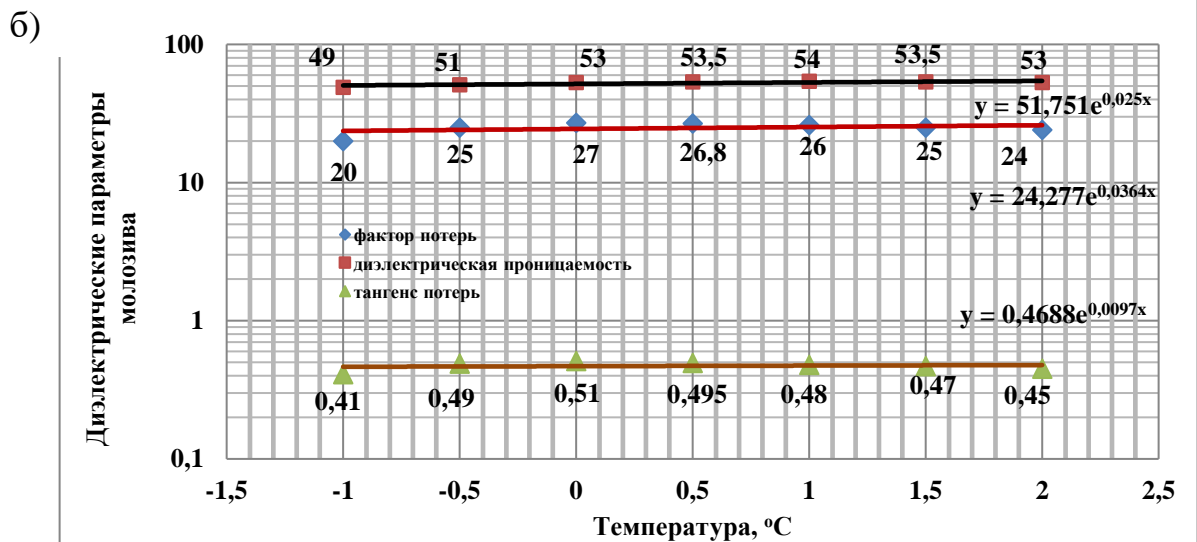
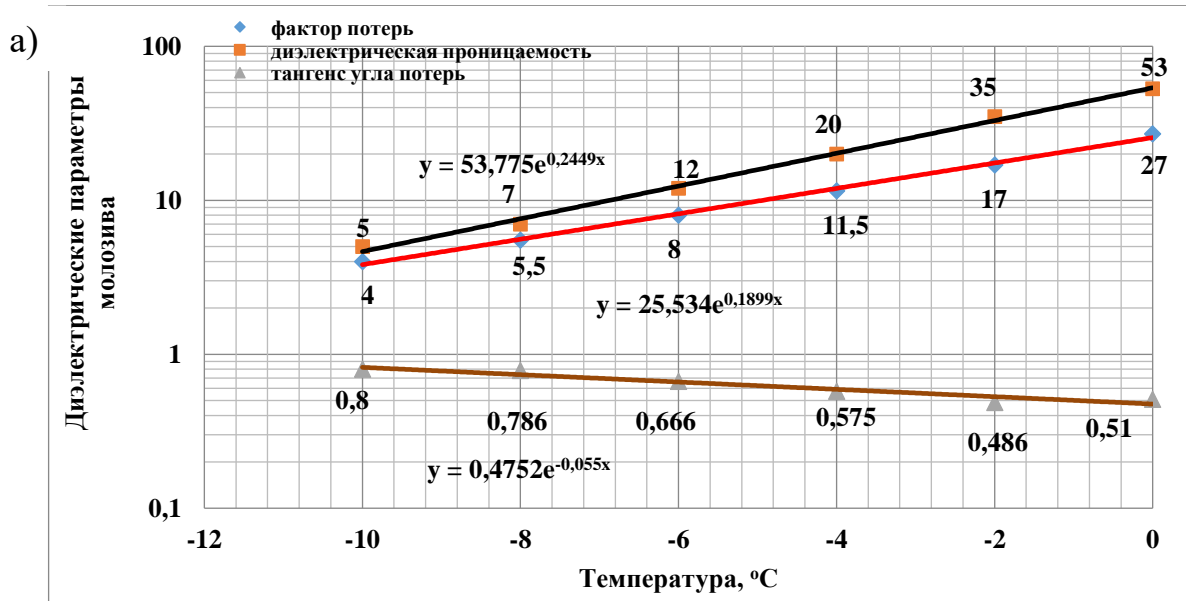


Рисунок 1.26 – Изменение диэлектрических параметров коровьего молозива от температуры нагрева: а) в диапазоне от -12 до 0 °C, б) в диапазоне от -1 до 2 °C, в) в диапазоне от 0 до 40 °C

Эмпирические выражения, описывающие зависимость диэлектрических параметров коровьего молозива при частоте 2450 МГц, в диапазоне температур:

$$\text{от } -12 \text{ до } 0 \text{ } ^\circ\text{C:} \quad \varepsilon = 53,78 \cdot e^{0,25 \cdot T}; \quad k = 25,54 \cdot e^{0,19 \cdot T}; \quad \text{tg}\delta = 0,48 \cdot e^{-0,055 \cdot T};$$

$$\text{от } -1,0 \text{ до } 2 \text{ } ^\circ\text{C:} \quad \varepsilon = 51,75 \cdot e^{0,025 \cdot T}; \quad k = 24,28 \cdot e^{0,037 \cdot T}; \quad \text{tg}\delta = 0,47 \cdot e^{0,0097 \cdot T};$$

$$\text{от } 0 \text{ до } 40 \text{ } ^\circ\text{C:} \quad \varepsilon = 50,74 \cdot e^{-0,005 \cdot T}; \quad k = 27,31 \cdot e^{-0,021 \cdot T}; \quad \text{tg}\delta = 0,54 \cdot e^{-0,016 \cdot T}.$$

Проанализированы изменения удельной теплоемкости коровьего молозива в процессе разогрева от 0 до 60 °С (рис. 1.27). Эмпирические выражения, описывающие зависимость удельной теплоемкости коровьего молозива разной жирности от температуры диэлектрического нагрева, имеют следующий вид:

$$C = 4,024 \cdot e^{-0,005 \cdot T}, \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}, \quad C = 4,054 \cdot e^{-0,012 \cdot T}, \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}. \quad (1.1)$$

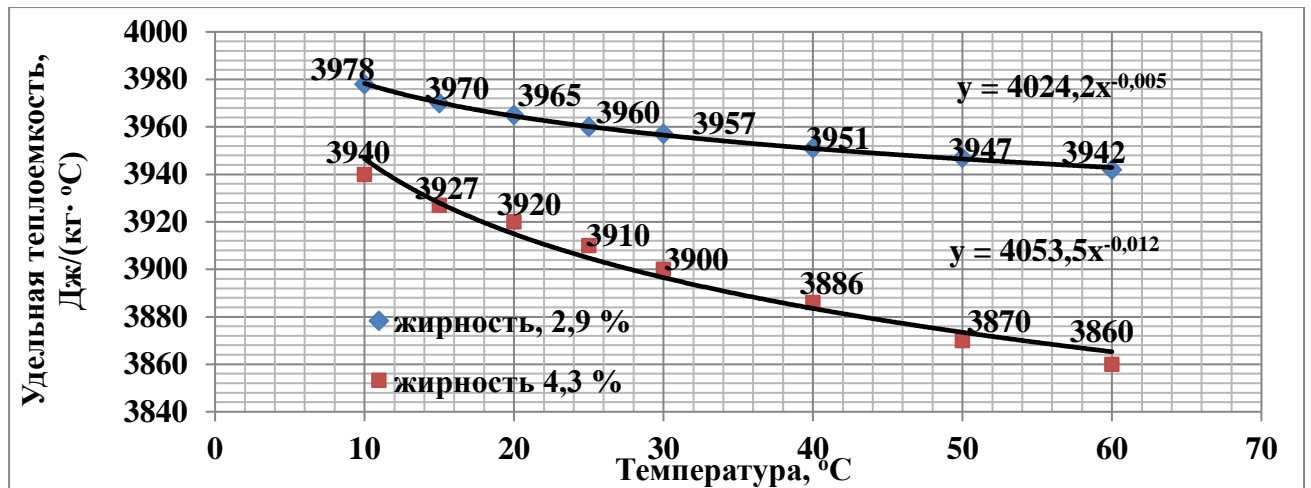


Рисунок 1.27 – Изменение удельной теплоемкости коровьего молозива от температуры нагрева

График изменения плотности коровьего молозива от температуры нагрева приведен на рис. 1.28.

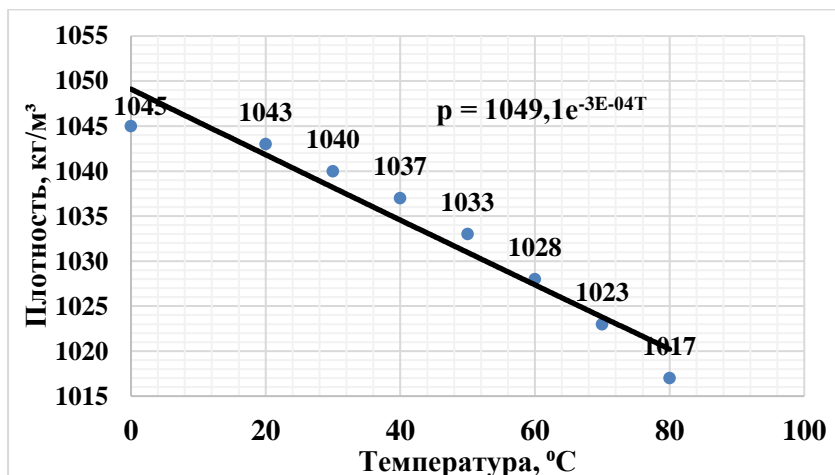


Рисунок 1.28 – Зависимость плотности молозива от температуры

Эмпирическое выражение, описывающее зависимость плотности коровьего молозива от температуры: $\rho = 1049,1 \cdot e^{-3E-04 \cdot T}$. (1.2)

Эмпирические выражения (1.1-1.2) необходимы для получения теоретической формулы, описывающей динамику нагрева молозива в процессе дефростации и разогрева под воздействием ЭМП СВЧ с учетом изменения теплоемкости, плотности и диэлектрических параметров в диапазоне -10 до 40 °С. Удельная электропроводность молока равна $46 \cdot 10^{-2}$ См/м, т.е. в пределах $(40-60) \cdot 10^{-2}$ См/м. Коэффициент температуропроводности молока составляет $13 \cdot 10^{-8}$ м²/с.

Ниже проанализированы и другие электрофизические *параметры молока*, жирностью 1,5-4 %, необходимые для теоретического расчета параметров установки (рис. 1.29-1.31).

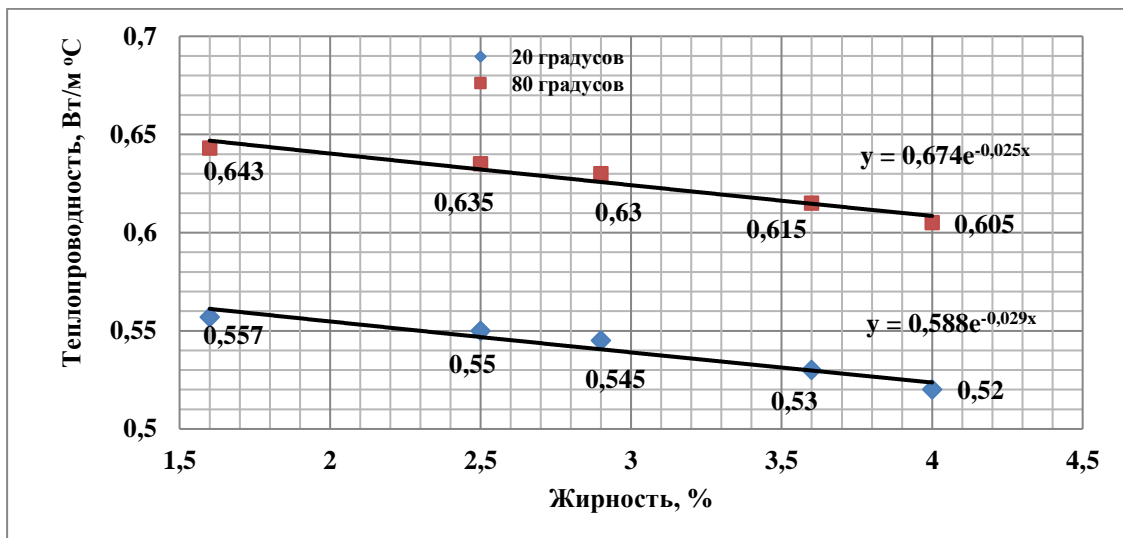


Рисунок 1.29 – Зависимость теплопроводности молока от жирности

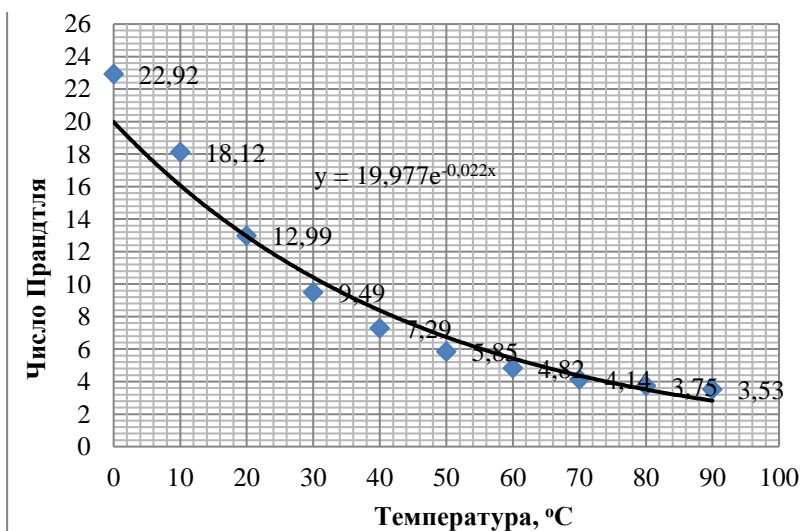


Рисунок 1.30 – Зависимость числа Прандтля молока от температуры

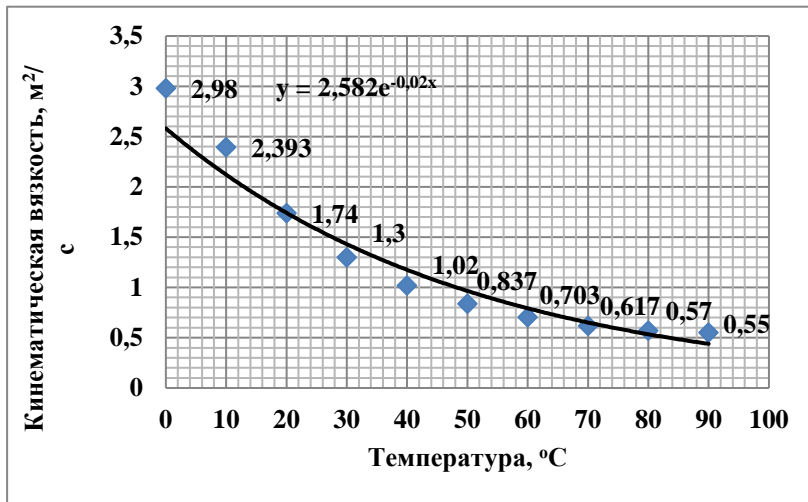


Рисунок 1.31 – Зависимость кинематической вязкости молока от температуры

Плотность, теплоемкость и теплопроводность молозива зависят от температуры. При нагревании молозива от 0 до 40 °C, кинематическая вязкость уменьшается с 2,98 до 1,02 м²·с, а число Прандтля уменьшается с 23 до 7,29 [78].

Теплопроводность молозива с повышением температуры увеличивается, среднее значение при температуре 20 °C составляет 0,54 Вт/(м·°C) (рис. 1.32).

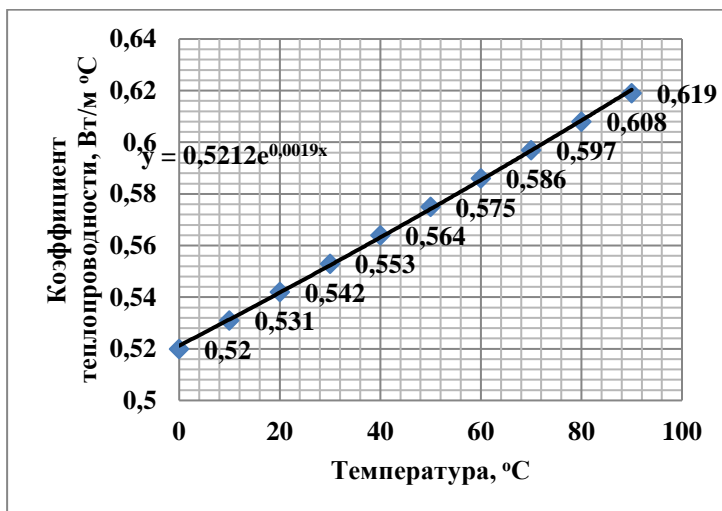


Рисунок 1.32 – Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры молозива

Диэлектрические параметры льда (табл. 1.8, рис. 1.33) для сравнительного анализа с данными исследуемого сырья – молозива.

Таблица 1.8 – Диэлектрические характеристики льда [200]

Параметры	Температура, °C	
	0	-10
Диэлектрическая проницаемость льда при изменении температуры	92-92,7	95
Время релаксации льда, с		$(6-9) \cdot 10^{-5}$
Высокочастотная проводимость льда, 1/См·см		$1,5 \cdot 10^{-7}$
Электропроводность льда, См/м		$10^{-9}-1,1 \cdot 10^{-11}$
Диэлектрическая проницаемость воды	88,2-89	

В процессе замораживания сырья диэлектрическая проницаемость и фактор диэлектрических потерь резко уменьшаются, максимальных значений достигают при температуре 0-2 °С, в интервале температур от 0 до -8 °С диэлектрическая проницаемость уменьшается с 52 до 8-10, фактор диэлектрических потерь – с 24 до 4-5 (приложение 9, рис. 9.6). При дальнейшем снижении температуры сырья до -15 °С диэлектрическая проницаемость снижается до 2, а фактор диэлектрических потерь – до 0,7-1,5 [200].

При этих частотах (рис. 1.33) влияние клеточных мембран уже не сказывается, а релаксация полярных молекул воды еще не возникает. В этом частотном диапазоне электрофизические свойства тканей с высоким содержанием воды обусловлены средой с суспендированными в ней белковыми молекулами, обладающими более низким значением *диэлектрической проницаемости*.

Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости [200]:

$$(1/\varepsilon) \cdot (d\varepsilon/dT) = [(\varepsilon - 1) \cdot (\varepsilon + 2) / 3 \cdot \varepsilon] \cdot (1/\rho) \cdot (d\rho/dT).$$

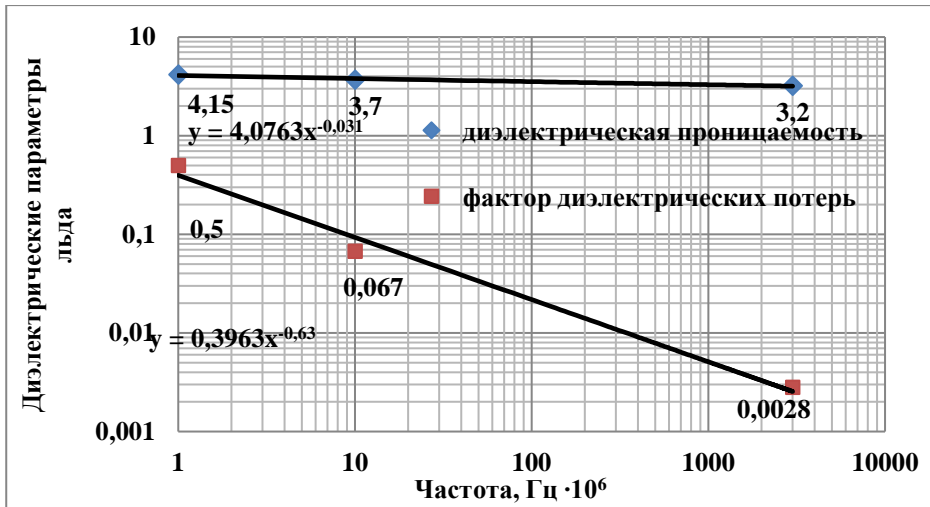


Рисунок 1.33 – Диэлектрические параметры водяного льда (-2 °С) от частоты ЭМП

Сравнивая данные диэлектрических характеристик сельскохозяйственного сырья животного происхождения (молозива животных, крови убойных животных, жировой ткани – приложение 9), можно отметить, что характер изменения их от температуры подчиняется одной закономерности. При отрицательных температурах в процессе дефростации диэлектрические характеристики повышаются, а при положительной температуре, т. е. в процессе разогрева сырья, их фактор диэлектрических потерь уменьшается.

Уменьшение величины диэлектрической проницаемости ε и фактора потерь k в области отрицательных температур объясняется изменением агрегатного состояния воды. Характер изменения диэлектрических характеристик **любого замороженного сыря** в интервале от -20 до 0 °С подобен изменению диэлектрических характеристик льда в том же температурном диапазоне (из А. И. Рогова, стр. 72) [200]. Различие заключается в том, что влага в сырье представляет собой раствор различных солей с температурой замерзания ниже нуля. При понижении температуры сыря часть воды из раствора вымерзает, и его концентрация повышается, соответственно понижается температура замерзания раствора.

Анализ диэлектрических параметров цельного молока в зависимости от жирности (1-7 %) (рис. 1.34) показывает, что фактор потерь изменяется от 15,8 до 13, т. е. на 2,8. С учетом отличия плотности молока (1028 кг/м^3) и молозива коровьего (1050 кг/м^3), при равной жирности 6,4 %, проведен перерасчет диэлектрических параметров через температурный коэффициент по методике И. А. Рогова (формула 1.4) [ГОСТ Р 52054-2003. Молоко коровье сырое. Плотность – не менее $1028,0 \text{ кг/м}^3$ (для сорта высшего); плотность молозива – не менее 1050 кг/м^3].

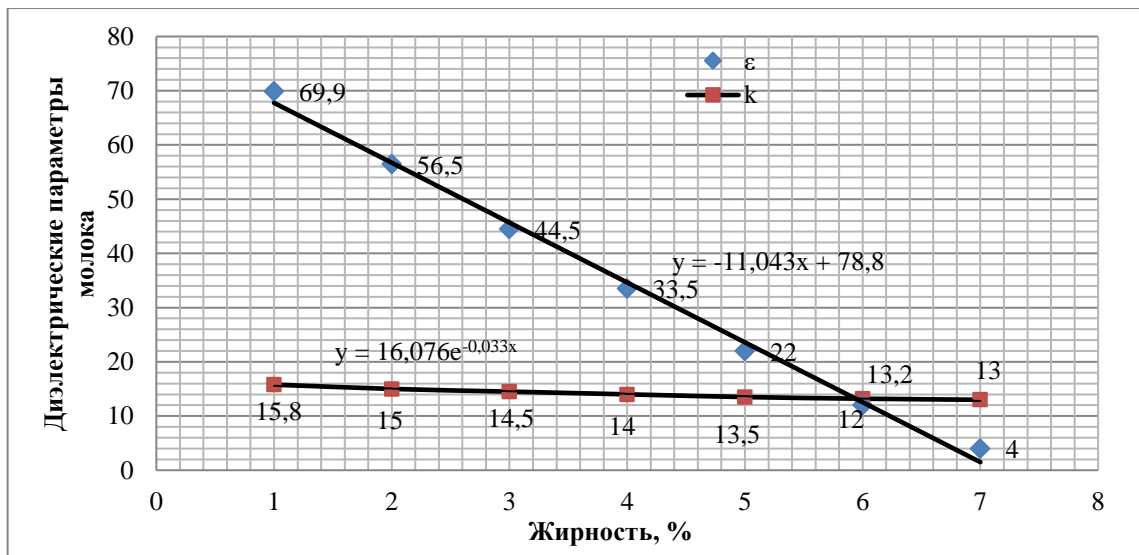


Рисунок 1.34 – Диэлектрические характеристики цельного молока в зависимости от жирности на частоте 2400 МГц (стр. 87, И. А. Рогов, рис. 1-43 [200])

Анализ диэлектрических характеристик молока в зависимости от температуры на частоте 2450 МГц жирностью 3,2 % представлены на рис. 1.35, жирностью 6,4 % – на рис. 1.36.

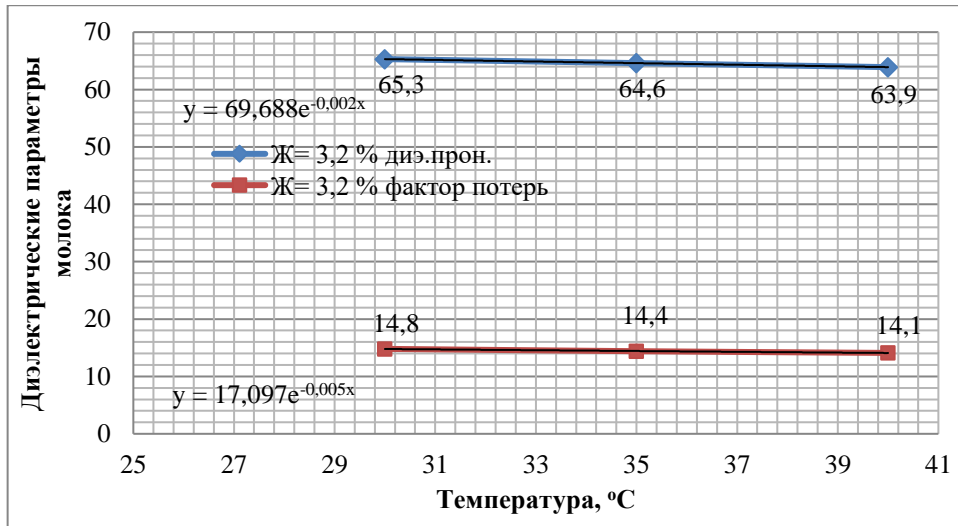


Рисунок 1.35 – Диэлектрические характеристики молока в зависимости от температуры на частоте 2450 МГц (стр. 87, И. А. Рогов [200])

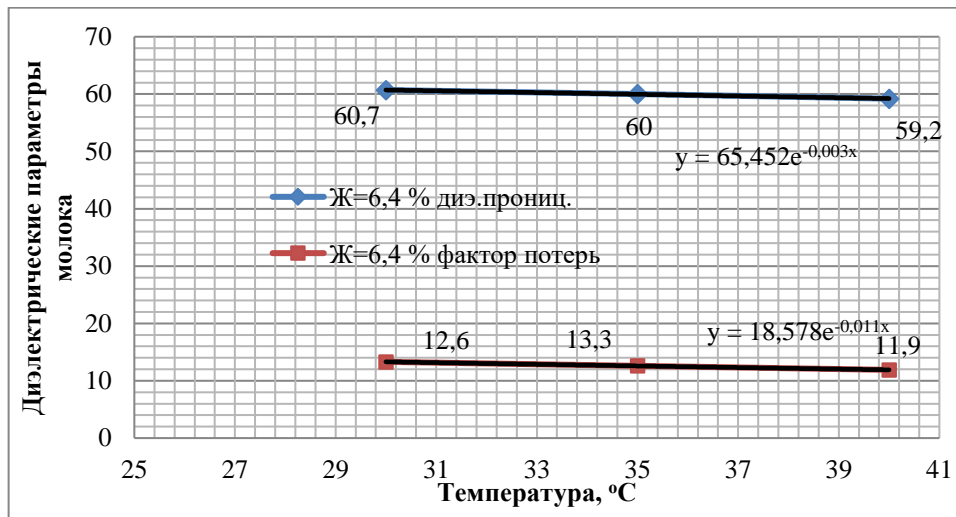


Рисунок 1.36 – Диэлектрические характеристики молока в зависимости от температуры на частоте 2450 МГц (стр. 87, И. А. Рогов, табл.1-91 [200])

Для жирности 6,4 %:

$$\varepsilon = 65,452 \cdot e^{-0,003 \cdot T}; \quad k = 18,578 \cdot e^{-0,011 \cdot T} \quad (1.3)$$

Подставляя температуру в пределах 5 °C выражение (1.3):

$$\varepsilon = 65,452 \cdot e^{-0,003 \cdot T} = 65,452 \cdot 2,73^{-0,003 \cdot 5} = 64,48.$$

$$k = 18,578 \cdot e^{-0,011 \cdot T} = 18,578 \cdot e^{-0,011 \cdot 5} = 18,578 \cdot 2,73^{-0,055} = 17,58.$$

Для жирности 3,2 %:

$$\varepsilon = 69,688 \cdot e^{-0,002 \cdot T} = 69,688 \cdot 2,73^{-0,002 \cdot 5} = 69;$$

$$k = 17,097 \cdot e^{-0,005 \cdot T} = 17,097 \cdot 2,73^{-0,005 \cdot 5} = 16,67.$$

С учетом температурного коэффициента диэлектрической проницаемости (формула 1.4) можно скорректировать диэлектрическую проницаемость молозива при изменении температуры, зная плотность молозива.

$$\left(\frac{1}{\varepsilon}\right) \cdot \left(\frac{d\varepsilon}{dT}\right) = \left[\frac{(\varepsilon-1) \cdot (\varepsilon+2)}{3 \cdot \varepsilon}\right] \cdot \left(\frac{1}{\rho}\right) \cdot \left(\frac{d\rho}{dT}\right). \quad (1.4)$$

Пользуясь данным выражением, получено значение температурного коэффициента для пересчета диэлектрических параметров молока (жирность 6,4 %, плотность 1028 кг/м³) и получения значения диэлектрических параметров молозива (жирность 6,4 %, плотность 1050 кг/м³). Температурный коэффициент составляет 1,3-1,36. С учетом температурного коэффициента, позволяющего оценить значения диэлектрических параметров молозива, отличающего плотностью от молока, при равной жирности 6,4 %, приняли фактор диэлектрических потерь молозива при температуре 0 °С равным **24** (см. рис. 2.2), вместо 17,58, а диэлектрическую проницаемость **50**, вместо 64,48.

При отрицательных температурах диэлектрические характеристики молозива пересчитывали с учетом отличия плотности льда [200, стр. 35] от плотности молозива, определив также значение температурного коэффициента.

Противоположный характер изменения диэлектрических параметров замороженного сырья животного происхождения подтвержден графиками, приведенными Роговым И. А. [200]. Эти графики приведены в приложении 9 для многих видов сырья: крови убойных животных, говяжьей и свиной печени; мышечной ткани говядины; свиной печени и языка; говяжьих почек и т. д. Систематизированные данные диэлектрических параметров молозива животных представлены на рис. 1.37.

Уменьшение величины диэлектрической проницаемости ε и фактора потерь k в области отрицательных температур объясняется изменением агрегатного состояния воды. Характер изменения диэлектрических характеристик *любого замороженного сырья* в интервале от -20 до 0 °С подобен изменению диэлектрических характеристик льда в том же температурном диапазоне.



Рисунок 1.37 – Диэлектрические характеристики коровьего молозива жирностью 6,4 % при изменении температуры от -25 до 20 °С:

1 – диэлектрическая проницаемость; 2 – фактор диэлектрических потерь

Для определения электромагнитных параметров материалов широко используются резонаторные [287] и волноводные методы, а также метод свободного пространства [285, 288, 289].

Известны волноводные методы измерений электромагнитных параметров жидкостей в СВЧ диапазоне [284, 292].

Определение комплексной диэлектрической проницаемости льда волноводным методом. Для подтверждения гипотезы о противоположном изменении фактора диэлектрических потерь в процессе тепловой обработки на базе ООО «СВВ» (г. Москва, Дмитровское ш., 110, стр. 22) проведены исследования (рис. 1.39) для определения электромагнитных параметров (в частности, комплексной диэлектрической проницаемости) льда волноводным методом [284]. Волноводный метод [285, 290] заключается в том, что, если известны комплексные коэффициенты отражения и прохождения измерительной секции с образцом исследуемого материала (рис. 1.38), то аналитическое решение задачи позволяет определить комплексную диэлектрическую проницаемость [284].

Комплексная диэлектрическая проницаемость [284]:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 - j \cdot \varepsilon_2 \quad (1.5)$$

в которой действительная (вещественная) часть ε_1 определяет поляризованность вещества, а мнимая часть ε_2 – величину вносимых потерь ($j = \sqrt{-1}$).

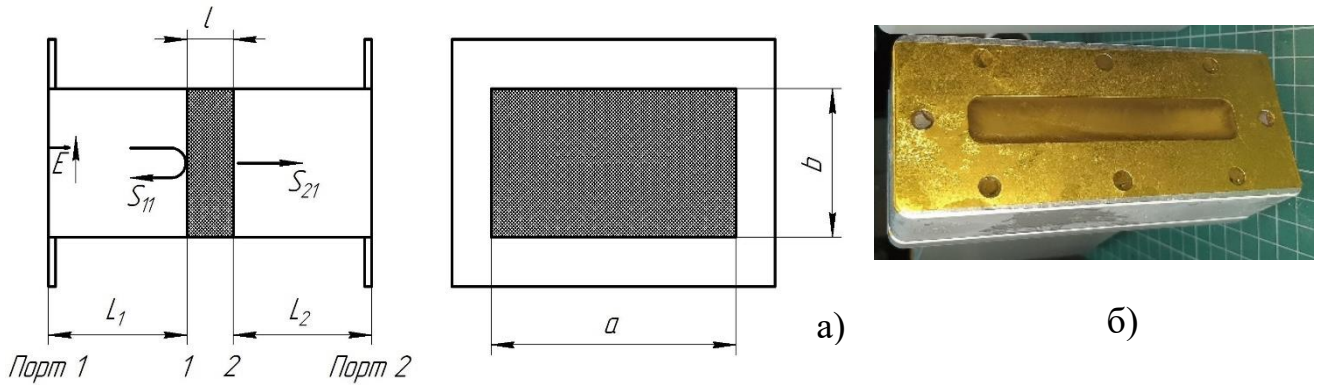


Рисунок 1.38 – Волноводная секция с объектом исследования: а) схематическое изображение, б) реальное исполнение; $a \times b$ – поперечные размеры волновода, E – вектор напряженности электрического поля

Тангенс угла диэлектрических потерь [284]:

$$\operatorname{tg} \delta_\varepsilon = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (1.6)$$

Тогда комплексная диэлектрическая проницаемость [284]:

$$\varepsilon = \frac{\lambda_0^2}{\mu} \left(\frac{1}{\Delta^2} + \frac{1}{\lambda_{кр}^2} \right) \quad (1.7)$$

где λ_0 – длина волны в вакууме; $\lambda_{кр}$ – критическая длина волны в волноводе;

μ – комплексная магнитная проницаемость, в которой действительная часть определяет намагниченность вещества; Δ – обозначение для определения электромагнитных параметров исследуемого материала [284]:

$$\frac{1}{\Delta^2} = - \left[\frac{1}{2\pi \cdot l} \ln \left(\frac{1}{P} \right) \right]^2 \quad (1.8)$$

где l – длина образца (из рис. 1.38, а); P – коэффициент распространения через материал образца в волноводе [284]:

$$P = \frac{S_{21} + S_{11} - \Gamma}{1 - (S_{21} + S_{11})\Gamma} \quad (1.9)$$

где S_{11} и S_{21} – коэффициенты отражения и прохождения на границах 1 и 2 образца (из рис. 1.38, а); Γ – коэффициент отражения в волноводе на границе воздух–образец (в случае образца бесконечной длины).

Современная измерительная аппаратура построена на базе прямоугольного металлического волновода (рис. 1.38, б), в котором распространяется волна H_{10} (рис. 1.39).

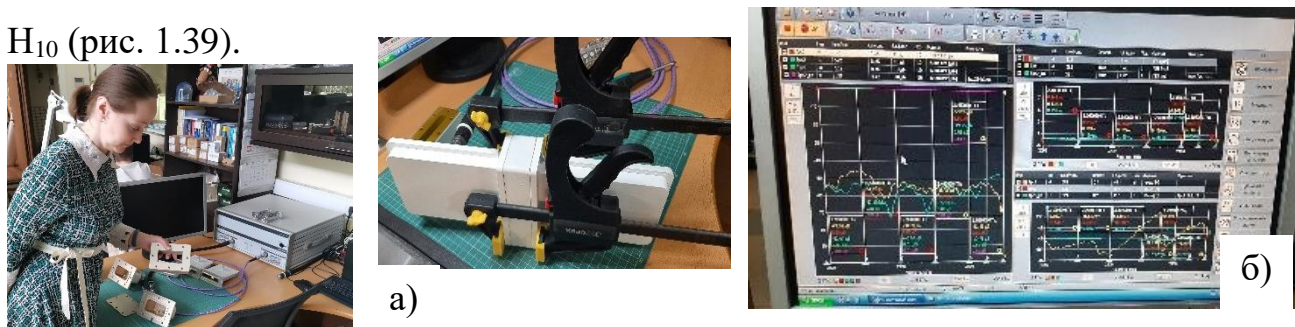


Рисунок 1.39 – Исследования для определения комплексной диэлектрической проницаемости волноводным методом: а) установка волновода, б) экран анализатора цепей

Поперечные размеры волновода равнялись $a \times b = 22,86 \times 10,16$ мм. Проанализируем полученные результаты для исследуемого материала с исходными параметрами $\varepsilon_1 = 10$; $tg\delta = 0,2$. Длина образца составляла 44,0 мм [284].

В результате эксперимента установлено, что фактор диэлектрических потерь сырья с увеличением температуры от -10 до 0 °С растет, а при положительной температуре от 0 до 40 °С падает. Уменьшение величины диэлектрической проницаемости ε и фактора потерь k в области отрицательных температур объясняется изменением агрегатного состояния воды. Подтверждено, что характер изменения диэлектрических характеристик *любого замороженного сырья* в интервале от -20 до 0 °С подобен изменению диэлектрических характеристик льда в том же температурном диапазоне.

1.4 Выводы по разделу, цель и задачи исследований

1. Проведена оценка состояния проблемы – длительный процесс дефростации молозива животных, характеризующийся снижением кормовой ценности, путем анализа динамики распределения объема сырья по России, Нижегородской области, в фермерском хозяйстве. При этом учитывали, что замораживать молозиво предпочтительнее в первые сутки после отела, когда сохранен необходимый биохимический состав коровьего молозива.
2. Проанализированы существующие технологии и дефростеры молозива животных, основанные на использовании пароводяной смеси. Оценены существующие

СВЧ-размораживатели, предназначенные для дефростации и разогрева молозива, которые не учитывают агрегатное состояние сырья.

3. Анализированы изменения электрофизических свойств молозива животных, в том числе диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь, фактора угла диэлектрических потерь, удельной теплоемкости, плотности, теплопроводности, кинематической вязкости и др., в зависимости от частоты ЭМП, от температуры, жирности. В результате эксперимента установлено, что фактор диэлектрических потерь сырья с увеличением температуры от -10 до 0 °С растет, а при положительной температуре от 0 до 40 °С падает.

4. Анализ изменения фактора диэлектрических потерь молозива животных на частоте 2450 МГц в зависимости от температуры позволил сделать вывод, что режимы воздействия ЭМП СВЧ должны обосновываться в зависимости от его агрегатного состояния. Процессы дефростации и разогрева сырья, протекающие с изменением фазового перехода с твердого в жидкое состояние, т. е. в другое агрегатное состояние, должны проходить в разных объемных резонаторах при разных дозах воздействия ЭМП СВЧ для предотвращения коагуляции белковых структур. Настоящая работа направлена на создание научно-технических основ разработки СВЧ-размораживателей молозива животных.

5. Обзор существующих микроволновых технологий и технических средств для дефростации молозива показывает, что не в полной мере решены задачи обеспечения равномерного эндогенного нагрева сырья в резонаторных системах со стоячей и бегущей волны, поскольку процессы тепловой обработки характеризуются резким изменением электрофизических и теплофизических параметров сырья. Отсутствует единый эффективный метод расчета оптимальной геометрии объемных резонаторов, обеспечивающих дефростацию и разогрев молозива животных с учетом изменения агрегатного состояния при высокой плотности и однородности электрического поля. Поэтому разработка научно-технических основ проектирования размораживателей молозива животных, позволяющих определить эффективные технологические параметры и конструктивные исполнения

объемных резонаторов, обеспечивающих равномерное распределение ЭМП в сырье разного агрегатного состояния, является *актуальной задачей*.

Целью работы является разработка научно-технических основ конструктивно-технологического проектирования и создания радиогерметичных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с резонаторами, обеспечивающими отдельные процессы дефростации и разогрева молозива животных с изменяющимся агрегатным состоянием для сохранения его кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах.

Основные научные задачи:

1. Выработать научно-методические основы конструктивно-технологического проектирования и разработки радиогерметичных многогенераторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с резонаторами, обеспечивающими отдельные процессы дефростации и разогрева сырья с изменяющимся агрегатным состоянием для сохранения его кормовой ценности. Разработать блок-схему модели реализации теоретических и экспериментальных исследований процессов дефростации и разогрева сырья с изменяющимся агрегатным состоянием в процессе фазового перехода, жидкая фаза которого коагулируется.
2. Обосновать процесс дефростации и разогрева сырья воздействием ЭМП СВЧ с учетом фазового перехода и изменения глубины проникновения волны в сырье разного агрегатного состояния, зависящей от электрофизических параметров. Вывести аналитические зависимости, описывающие распределение температурного поля в сырье при разных агрегатных состояниях и распределение волн на границе раздела между замороженным и жидким сырьем, позволяющие определить коэффициент отражения волн, поглощаемую сырьем мощность при дефростации и разогреве, и КПД двухрезонаторного СВЧ-размораживателя. Исследовать динамику дефростации и разогрева коровьего молозива при разных напряженностях электрического поля (ЭП).
3. Разработать систему методов исследований электродинамических (ЭД) параметров и критериев оценки эффективного функционирования многогенераторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия со сдвоенными

резонаторами для отдельной тепловой обработки сырья при разных дозах воздействия ЭМП СВЧ в зависимости от агрегатного состояния.

4. Разработать конструктивно-технологические схемы СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия со сдвоенными резонаторами для отдельной тепловой обработки сырья в разных дозах в зависимости от агрегатного состояния, и обосновать конфигурацию резонаторов путем исследования их ЭД параметров, в том числе по программе CST Studio Suite, и оценки отклонения ЭД параметров от эффективных значений критериев проектирования.

5. Обосновать комплекс параметров и режимов работы двухрезонаторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения с учетом регрессионных моделей и результатов исследований органолептических, биохимических, физико-химических, микробиологических показателей молозива животных, характеризующих его кормовую ценность.

6. Разработать, создать и апробировать в производственных условиях многогенераторный СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия, содержащий коаксиальный резонатор с передвижными диэлектрическими контейнерами, состыкованный с коническим резонатором, и запердельные волноводы. Оценить эффективность экранирующего корпуса и запердельных волноводов путем исследования мощности потока излучений СВЧ-размораживателя и регрессионного анализа многофакторных моделей. Оценить технико-экономическую эффективность внедрения двухрезонаторного СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива на ферме КРС.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХРЕЗОНАТОРНЫХ СВЧ-РАЗМОРАЖИВАТЕЛЕЙ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ

2.1 Обоснование параметров двухрезонаторного СВЧ-размораживателя для тепловой обработки сырья с учетом температуры фазового превращения

Методология разработки СВЧ установки предусматривает построение математических моделей дефростации и разогрева молозива животных воздействием электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) с учетом фазовых переходов, их исследование, разработку конструктивного исполнения рабочей камеры установки с эффективными режимами работы.

Конструктивное исполнение объемного резонатора должно обеспечивать равномерный внутренний нагрев по всему объему сырья [142, 145]. Линейные размеры резонатора должны в 5-6 раз превышать длину волны генератора [141]. В резонаторе возбуждаются более десяти различных видов колебаний, у каждого из которых свое распределение ЭМП, т.е. это резонатор многомодовый. За счет интерференции полей различных видов колебаний в объеме резонатора возникает неравномерное распределение ЭМП [213, 271].

1. *Равномерное распределение ЭМП в объеме резонатора можно обеспечить разными способами.*

Первый способ. Выбрать резонатор таких размеров, которые позволяют возбуждать определенные виды колебаний, интерференция которых обеспечивает равномерное поле по объему.

Второй способ. Применение нескольких генераторов, работающих на близких частотах, излучатели от магнетронов которых направлены в один резонатор. При этом размеры резонатора должны быть соизмеримы, но не равны. Применяя несколько вводов, можно увеличить число возбуждаемых в заданном диапазоне видов колебаний и увеличить равномерность нагрева сырья.

Обеспечение равномерного распределения ЭМП в резонаторе *с системой стоячей волны*, и равномерного нагрева сырья с учетом изменения его агрегат-

ного состояния, а также интенсифицировать процесс дефростации и разогрева молозива животных с сохранением кормовой ценности, возможно. Для этого следует правильно рассчитать месторасположение нескольких маломощных магнетронов с воздушным охлаждением и конструктивное исполнение резонатора, позволяющего регулировать напряженность электрического поля. Резонаторы со стоячей волной позволяют расширить возможности СВЧ установки с учетом размеров замороженного сырья разной жирности и плотности.

При проектировании СВЧ установки *с системой бегущей волны* возникают трудности обеспечения равномерного нагрева сырья [219]. Для этого необходимо создать однородную удельную плотность потока мощности в объеме поглощаемого сырья и предотвратить теплоотдачу в окружающую среду [157]. Примером такой системы служит СВЧ установка с коаксиальным резонатором (патент № 2734618).

2. *Степень загрузки резонатора* сырьем влияет на передачу СВЧ энергии в сырье. Если резонатор полностью заполнен сырьем с высоким значением диэлектрической проницаемости и фактором диэлектрических потерь, то резко падает его нагруженная добротность и согласовать ввод энергии проще. Если резонатор загружен сырьем слабо и с высоким значением диэлектрической проницаемости или когда в резонаторе имеется значительный объем сырья с малым значением диэлектрической проницаемости, нагруженная добротность снижается незначительно [13, 141].

При дефростации молозива животных следует учесть изменения агрегатного состояния сырья, поэтому следует решить уравнение теплопроводности в области подвижной границы раздела фаз, разделяющей замороженное молозиво от жидкой фазы, с учетом температуры фазового превращения [16].

Разработкой моделей воздействия ЭМП СВЧ на сырье занимаются многие ученые [59, 66, 138], в том числе на зерновые культуры [6], на продукты питания [24]. Методику решения краевой задачи для рабочей камеры с бегущей волной на волноводах сложной формы представил Коломейцев В. А. [127]. Анализ этих работ показывает, что отсутствуют исследования процессов деф-

ростации и разогрева молозива животных в двухрезонаторных рабочих камерах СВЧ установки. Поэтому необходима разработка математических моделей, учитывающих взаимное влияние электромагнитных и тепловых процессов, и позволяющих определить эффективные конструктивные исполнения резонаторов, обеспечивающих равномерное распределение ЭМП в сырье.

Для этого необходимы разработка и исследование параметров двухрезонаторной СВЧ установки непрерывно-поточного действия, позволяющей разделить процессы дефростации и разогрева молозива животных, обеспечивающей электромагнитную безопасность и высокую напряженность электрического поля для обеззараживания, для чего следует

- построить и исследовать математическую модель дефростации и разогрева молозива животных воздействием ЭМП СВЧ с учетом фазового перехода (размораживания до 0-1 °С) в СВЧ установке с тороидально-коническим резонаторами с общим основанием;

- провести оптимизацию распределения напряженности электромагнитного поля в резонаторах с общим перфорированным основанием;

- разработать конструктивное исполнение установки с резонаторами, позволяющими разделить процессы дефростации и разогрева молозива животных для воздействия ЭМП СВЧ в разных дозах.

Для реализации научной инновационной идеи установка должна содержать два резонатора, обеспечивающих разные дозы воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частот (ЭМП СВЧ) на молозиво, отличающееся агрегатным состоянием. Один резонатор для дефростации от -15 °С до около 0 °С, другой резонатор – для разогрева до 39 °С. Резонаторы должны разделять твердую и жидкую фазы сырья при температуре, равной температуре фазового превращения. В реальных условиях при СВЧ нагреве сырья имеет место неравномерность фактора диэлектрических потерь сырья и распределения напряженности электрического поля, зависящих от жирности, плотности сырья и химических процессов в нем. Это приводит к перегреву одних участков сырья и недостаточному нагреву других. Для получения зависимости, связанной с явлени-

ями теплопереноса, необходимо учесть изменения электрического поля в резонаторе и в сырье, изменения температуры, плотности сырья, а также сложные взаимные связи между ними. Напряженность электрического поля непосредственно влияет на температуру нагрева сырья. Температурное поле в сырье приводит к изменению агрегатного состояния молозива.

Конфигурация объемного резонатора должна обеспечить концентрацию и однородность электрического поля в области расположения сырья [15, 218]. Это возможно в резонаторах, имеющих четко выраженный зазор в виде конденсаторной части, где возбуждается однородное электрическое поле. Например, характерным признаком *квазистационарных тороидальных резонаторов* является весьма четко выраженное пространственное разделение электрического и магнитного полей у колебания с наименьшей резонансной частотой, т.е. энергия электрического и магнитного полей концентрируется преимущественно в различных частях объема резонатора – *в тороидальной и конденсаторной частях* [48, 82]. В технике сантиметрового диапазона электродинамические и тепловые свойства в квазистационарных резонаторах с общим перфорированным основанием с частично заполненным сырьем, изменяющимся агрегатным состоянием, изучены недостаточно полно, что не позволяет эффективно использовать их для равномерного размораживания и разогрева молозива животных [19].

Коэффициент поглощения (α) ЭМИ сырьем зависит от длины волны и его диэлектрических параметров [86, 138]: $\alpha = \frac{\pi \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot \operatorname{tg} \delta}{\lambda}, \frac{1}{\text{см}}$, (2.1)

где λ – длина волны, равная 12,24 см; $\varepsilon, \operatorname{tg} \delta$ – диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь сырья, соответственно.

С учетом эмпирических выражений (2.2, 2.4), описывающих изменение диэлектрических параметров молозива животных от температуры, коэффициент поглощения ЭМП СВЧ описывается уравнениями 2.3, 2.5:

– в диапазоне температур от -20 до 0 °С:

$$\varepsilon = 32,88 \cdot e^{0,122 \cdot T}, k = 27,87 \cdot e^{0,21 \cdot T}, \operatorname{tg} \delta = 0,85 \cdot e^{0,082 \cdot T}. \quad (2.2)$$

$$\alpha = \frac{\pi \cdot \sqrt{32,88 \cdot e^{0,122 \cdot T}} \cdot 0,85 \cdot e^{0,082 \cdot T}}{\lambda} = \frac{15,304 \cdot e^{0,143 \cdot T}}{12,24} = 1,25 \cdot e^{0,143 \cdot T} \frac{1}{\text{см}}; \quad (2.3)$$

– в диапазоне температур от 0 до 40 °С:

$$\varepsilon = 51,05 \cdot e^{-0,006 \cdot T}, k = 27,2 \cdot e^{-0,021 \cdot T}, \text{tg} \delta = 0,54 \cdot e^{-0,016 \cdot T}. \quad (2.4)$$

$$\alpha = \frac{\pi \cdot \sqrt{51,05 \cdot e^{-0,006 \cdot T}} \cdot 0,54 \cdot e^{-0,016 \cdot T}}{\lambda} = \frac{12,12 \cdot e^{-0,019 \cdot T}}{\lambda} = 0,99 \cdot e^{-0,019 \cdot T} \frac{1}{\text{см}}. \quad (2.5)$$

Равномерный нагрев сырья происходит, если его толщина не превышает глубину (Δ) проникновения ЭМП СВЧ [200]. Зависимость глубины проникновения ЭМП СВЧ в сырье описываются уравнениями:

– в диапазоне температур от –20 до 0 °С составляет:

$$\Delta = \frac{9,55 \cdot 10^9}{f \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot \text{tg} \delta} = \frac{9,55 \cdot 10^9}{2450 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{32,88 \cdot e^{0,122 \cdot T}} \cdot 0,85 \cdot e^{0,082 \cdot T}} =$$

$$\frac{9,55 \cdot 10^9}{2450 \cdot 10^6 \cdot 4,88 \cdot e^{0,061 \cdot T} \cdot e^{0,082 \cdot T}} = \frac{9,55 \cdot 10^9}{11956 \cdot 10^6 \cdot e^{0,143 \cdot T}} = 0,8 \cdot e^{-0,143 \cdot T} \text{ см}. \quad (2.6)$$

– в диапазоне температур от 0 до 40 °С:

$$\Delta = \frac{9,55 \cdot 10^9}{f \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot \text{tg} \delta} = \frac{9,55 \cdot 10^9}{2450 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{51,05 \cdot e^{-0,006 \cdot T}} \cdot 0,54 \cdot e^{-0,016 \cdot T}} =$$

$$\frac{9,55 \cdot 10^9}{2450 \cdot 10^6 \cdot 3,858 \cdot e^{-0,003 \cdot T} \cdot e^{-0,016 \cdot T}} = \frac{9,55 \cdot 10^9}{9452,1 \cdot 10^6 \cdot e^{-0,019 \cdot T}} = 1,01 \cdot e^{0,019 \cdot T} \text{ см}. \quad (2.7)$$

Графики зависимости глубины проникновения ЭМП, частотой 2450 МГц, в молозиво жирностью 6,4 %, от температуры нагрева, приведены на рис. 2.1. Глубина проникновения ЭМП СВЧ в замороженное сырье с увеличением температуры от –12 до 0 °С растет с 0,14 см до 0,93 см. При разогреве молозива с 0 до 40 °С глубина проникновения растет с 1,01 см до 2,17 см.

Это означает, что постепенно размораживается боковая поверхность замороженного сырья в диэлектрических бутылках. Если не удалить размороженную жидкую фракцию определенной толщины, то происходит коагуляция белка. Поэтому, по мере дефростации сырья, жидкую фракцию следует слить в

другой резонатор. Основываясь на этом признаке, разработаны сверхвысокочастотные установки с двумя резонаторами, позволяющими осуществить дефростацию и разогрев молозива, замороженного в диэлектрических бутылках, раздельно.

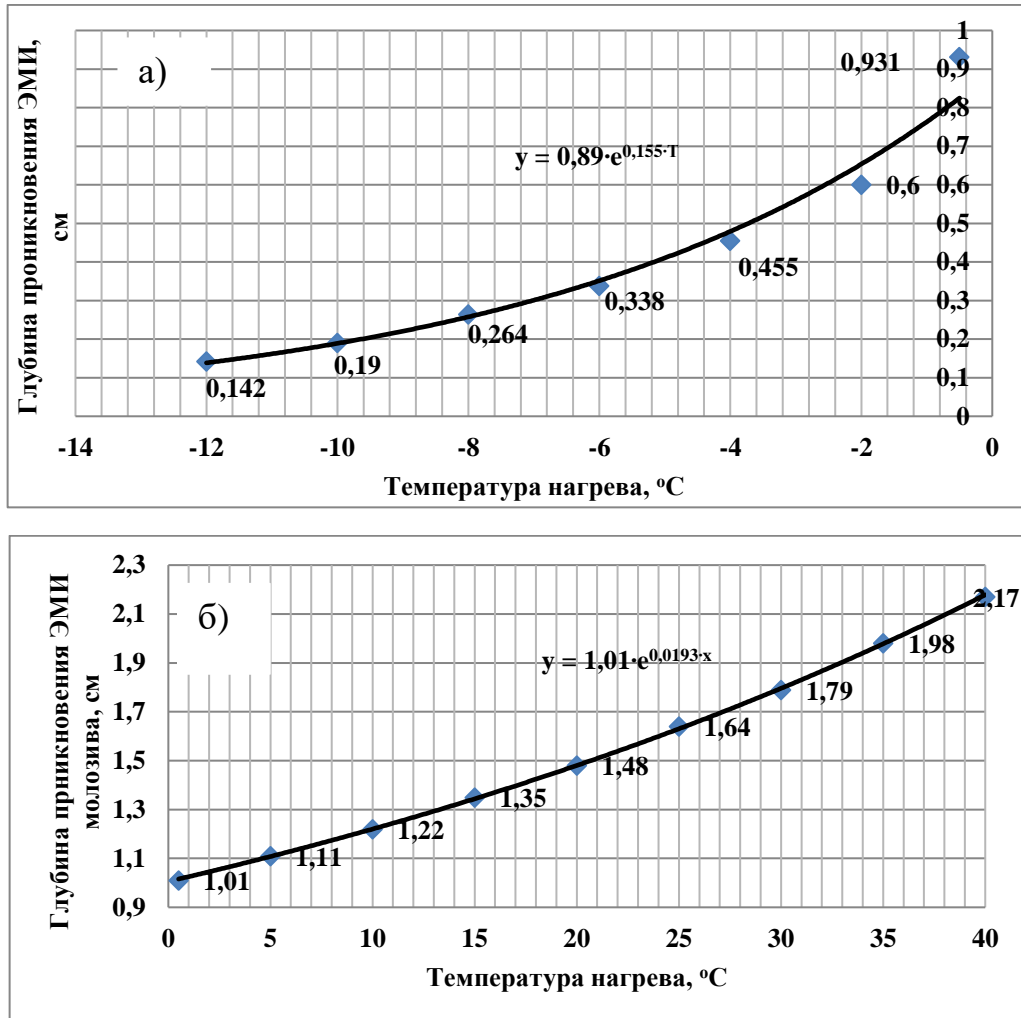


Рисунок 2.1 – График зависимости глубины проникновения ЭМП СВЧ в коровье молозиво, жирностью 6,4 %, при температуре: а) от -10 до 0 °C; б) от 0 до 40 °C

При этом исследовали распределение температурного поля в замороженном сырье и продолжительность полного размораживания молозива животных. Во втором резонаторе жидкое сырье разогревается. Для теоретического обоснования параметров установки следует решить взаимосвязанные задачи электродинамики и теплопроводности для квазистационарных тороидальных резонаторов с общим перфорированным основанием при заполнении их сырьем разного агрегатного состояния с учетом температуры фазового превращения. При раз-

работке математической модели процесса взаимодействия электромагнитных волн с сырьем учитывали то, что электрофизические и тепловые параметры являются функцией температуры [251]. Исследование проводили в двух резонаторах (табл. 2.1): 1) диэлектрический нагрев замороженного сырья и его переход в жидкое состояние; 2) диэлектрический нагрев молозива животных в жидком состоянии от 0 до 40 °С.

Таблица 2.1 – Последовательность исследования процессов в двух резонаторах с учетом изменения диэлектрических и теплофизических параметров сырья

<i>Первый квазистационарный тороидальный резонатор</i>	
Диэлектрические параметры воздуха и толщина слоя	$\varepsilon_0, tg\delta_0, h_0$
Диэлектрические параметры замороженного молозива животных и толщина слоя	$\varepsilon_1, tg\delta_1, h_1$
Диэлектрические параметры смеси замороженного молозива и частично размороженного сырья и толщина слоя	$\varepsilon_2, tg\delta_2, h_2$
Диэлектрические параметры размороженного молозива и толщина слоя	$\varepsilon_3, tg\delta_3, h_3$
<i>Второй квазистационарный тороидальный резонатор</i>	
Диэлектрические параметры жидкого молозива при температуре 0-1 °С и толщина слоя	$\varepsilon_3, tg\delta_3, h_4$
Диэлектрические параметры жидкого молозива при температуре 40 °С и толщина слоя	$\varepsilon_4, tg\delta_4, h_5$

Амплитуды электрического и магнитного полей в i -слое сырья по оси y представим как:

$$\begin{aligned} E_i(y) &= b_i \cdot \exp(-i \cdot \omega \cdot \sqrt{\varepsilon_i \cdot \mu_i} \cdot y_i) + r_i \cdot \exp(i \cdot \omega \cdot \sqrt{\varepsilon_i \cdot \mu_i} \cdot y_i), \\ H_i(y) &= \left[b_i \cdot \exp(-i \cdot \omega \cdot \sqrt{\varepsilon_i \cdot \mu_i} \cdot y_i) - r_i \cdot \exp(i \cdot \omega \cdot \sqrt{\varepsilon_i \cdot \mu_i} \cdot y_i) \right] / Z_i, \end{aligned} \quad (2.8)$$

где $b_0=1$ – максимальная амплитуда электромагнитного поля; $\omega \cdot \sqrt{\varepsilon_i \cdot \mu_i}$ – комплексное волновое число в i -ом слое, характеризующее затухание электромагнитной энергии в слое сырья; b_i и r_i – коэффициенты, учитывающие прохождения (b_i) и отражения (r_i) волн в i -ом слое; Z_i – волновое сопротивление в i -ом слое.

Распределение температурного поля в сырье происходит в соответствии с функцией плотности мощности тепловых потерь (p_i) по оси y :

$$p_i(y) = \omega \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_i \cdot tg\delta_i \cdot \left| \dot{E}_i \right|^2, \quad (2.9)$$

где $\omega = 2 \pi \cdot f$ – круговая частота, 1/с; f – частота электромагнитного поля, Гц; $f = 2450$ МГц; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Глубина проникновения электромагнитной волны в сырье разного агрегатного состояния Δ_i зависит от диэлектрической проницаемости (ε_i), тангенса угла диэлектрических потерь ($tg\delta_i$) и длины волны $\lambda = 12,24$ см [200, 204]:

$$\begin{aligned} \Delta_i(y) &= \frac{\lambda}{\sqrt{2 \cdot \varepsilon_i (\sqrt{1 + tg^2 \delta_i} - 1)}}, & \Delta_1(y) &= \frac{\lambda}{\sqrt{2 \cdot \varepsilon_1 (\sqrt{1 + tg^2 \delta_1} - 1)}}, \\ \Delta_2(y) &= \frac{\lambda}{\sqrt{2 \cdot \varepsilon_2 (\sqrt{1 + tg^2 \delta_2} - 1)}}, & \Delta_3(y) &= \frac{\lambda}{\sqrt{2 \cdot \varepsilon_3 (\sqrt{1 + tg^2 \delta_3} - 1)}}. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Эмпирические зависимости диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и фактора диэлектрических потерь молозива жирностью 4,5-6,4 %:

- 1) в диапазоне ($h_0 < y_1 < h_1$) отрицательных температур ($-12 \dots 0$ °С)
 $\varepsilon_1 = 53,78 \cdot e^{0,25 \cdot T}$; $tg\delta_1 = 0,48 \cdot e^{-0,055 \cdot T}$; $k_1 = 25,54 \cdot e^{0,19 \cdot T}$;
- 2) в диапазоне ($h_1 < y_2 < h_2$) фазового перехода ($-1,5 \dots 2,5$ °С)
 $\varepsilon_2 = 51,75 \cdot e^{0,025 \cdot T}$; $tg\delta_2 = 0,47 \cdot e^{-0,0097 \cdot T}$; $k_2 = 24,28 \cdot e^{0,036 \cdot T}$;
- 3) в диапазоне ($h_2 < y_3 < h_3$) положительных температур ($0 \dots 40$ °С) (2.11)
 $\varepsilon_3 = 50,74 \cdot e^{-0,0050 \cdot T}$; $tg\delta_3 = 0,54 e^{-0,016 \cdot T}$; $k_3 = 27,31 \cdot e^{-0,021 \cdot T}$.

Произведение диэлектрической проницаемости (ε_i) на тангенс угла диэлектрических потерь ($tg\delta_i$) характеризует фактор диэлектрических потерь сырья ($k_i = \varepsilon_i tg\delta_i$) в разном агрегатном состоянии в процессе воздействия ЭМП частотой 2450 МГц, т. е. замороженного молозива (ε_1), смеси замороженного молозива и частично размороженного сырья (ε_2), молозива в жидком состоянии (ε_3) (рис. 2.2). Изменение глубины проникновения электромагнитных волн [135] в молозиво с изменением агрегатного состояния:

$$\Delta_1(y) = \frac{\lambda}{\sqrt{2 \cdot 53,78 \cdot e^{0,25 \cdot T} \left(\sqrt{1 + (0,48 \cdot e^{-0,055 \cdot T})^2} - 1 \right)}},$$

$$\Delta_2(y) = \frac{\lambda}{\sqrt{2 \cdot 51,75 \cdot e^{0,025 \cdot T} \cdot \left(\sqrt{1 + (0,47 \cdot e^{-0,0097 \cdot T})^2} - 1 \right)}}, \quad (2.12)$$

$$\Delta_3(y) = \frac{\lambda}{\sqrt{2 \cdot 50,74 \cdot e^{-0,0050 \cdot T} \cdot \left(\sqrt{1 + (0,54 \cdot e^{-0,016 \cdot T})^2} - 1 \right)}}.$$

Например, при фазовом переходе молозива из твердого в жидкое состояние глубина проникновения ЭМП, длиной волны 12,24 см, составляет 32,89 мм.

$$\Delta_3(y) = \frac{12,24}{\sqrt{2 \cdot 50,74 \cdot \left(\sqrt{1 + (0,54)^2} - 1 \right)}} = 3,289 \text{ см.}$$

Аналогично по формулам можно вычислить глубину проникновения электромагнитных волн в молозиво при любом агрегатном состоянии.

Для определения температурного поля необходимо составить систему уравнений теплопроводности с начальными и граничными условиями с учетом температуры фазового перехода и скорости движения границы фазового перехода. Необходимо также определить функцию, определяющую изменение толщины каждого слоя. Тогда система уравнений решается с применением алгоритма переменного шага по времени. Система уравнений теплопроводности, описывающие процессы в первом квазистационарном тороидальном резонаторе

$$[7, 136]: \quad C_1 \cdot \rho_1 \cdot \frac{\partial T^{(1)}}{\partial t} = \lambda_1 \cdot \frac{\partial^2 T^{(1)}}{\partial y_1^2} + q_1(y_1), t > 0, 0 < y_1 < h_1,$$

$$C_2 \cdot \rho_2 \cdot \frac{\partial T^{(2)}}{\partial t} = \lambda_2 \cdot \frac{\partial^2 T^{(2)}}{\partial y_2^2} + q_2(y_2), t > 0, h_1 < y_2 < h_2, \quad (2.13)$$

$$C_3 \cdot \rho_3 \cdot \frac{\partial T^{(3)}}{\partial t} = \lambda_3 \cdot \frac{\partial^2 T^{(3)}}{\partial y_3^2} + q_3(y_3), t > 0, h_2 < y_3 < h_3,$$

где h_i – толщина каждого слоя; C_1, C_2, C_3 – теплоемкость замороженного сырья, смеси замороженного и жидкого сырья, молозиво в жидком состоянии, соответственно; $q_{1,2,3}$ – удельная мощность СВЧ поля, выделяемая в сырье при разных агрегатных состояниях.

Эмпирическая зависимость теплоемкости молозива от положительной температуры $C_3 = 4053 \cdot T^{-0,012}$, Дж/кг °С [86];

$$(2.14)$$

ρ_1, ρ_2, ρ_3 – плотность замороженного сырья, смеси замороженного и жидкого сырья, молозива в жидком состоянии, соответственно. Эмпирическая зависимость плотности молозива в жидком состоянии от положительной температуры $\rho_3 = 1049,1 \cdot e^{-3E-04T}$ кг/м³; молока – $\rho_3 = 1039,2e^{-5E-04T}$, кг/м³ [200];

$$(2.15)$$

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – теплопроводность замороженного сырья, смеси замороженного и жидкого сырья, молозива в жидком состоянии, соответственно; эмпирическая зависимость теплопроводности молозива в жидком состоянии от положительной температуры: $\lambda_3 = 0,52 \cdot e^{0,0019T}$, Вт/(м·°C) [200].

$$(2.16)$$

При этом необходимо учитывать начальные условия:

$$\begin{aligned} T(0, y_1) &= T_{нач1}, \quad 0 < y_1 < h_1, \\ T(y_1, y_2) &= T_{нач2}, \quad h_1 < y_2 < h_2, \\ T(y_2, y_3) &= T_{нач3}, \quad h_2 < y_3 < h_3. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Принять граничные условия [7, 200]:

$$\begin{aligned} -\lambda_1 \cdot \frac{\partial T^{(1)}}{\partial y_1}(0, t) &= \alpha_1 \cdot (T^{(1)} - T_o), \\ \lambda_2 \cdot \frac{\partial T^{(2)}}{\partial y_2}(h_2, t) &= \alpha_2 \cdot (T^{(2)} - T_1), \\ \lambda_3 \cdot \frac{\partial T^{(3)}}{\partial y_3}(h_3, t) &= \alpha_3 \cdot (T^{(3)} - T_2). \end{aligned} \quad (2.18)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты теплоотдачи замороженного сырья, смеси замороженного и жидкого сырья, молозива в жидком состоянии, соответственно, Вт/м²·°C.

Формула для определения коэффициента теплоотдачи (α) молозива с учетом фазовых переходов [86]:

$$\alpha_i = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda_i^3 \cdot \rho_i \cdot g \cdot r_i}{\nu_i \cdot h_i \cdot \Delta T}}, \quad (2.19)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; r – удельная теплота парообразования воды ($2,258 \cdot 10^6$ Дж/кг); ν_i – коэффициент кинематической вязкости, м²/с ($\nu = 2,5817e^{-0,02 \cdot T}$); ΔT – разность температур, °C.

Коэффициент теплоотдачи молозива в положительном диапазоне темпе-

$$\text{ратур: } \alpha_3 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{(0,52 \cdot e^{0,0019 \cdot T})^3 \cdot 1039,2 \cdot e^{-5E-04T} \cdot 9,806 \cdot 2,258 \cdot 10^6}{2,58 \cdot e^{-0,02 \cdot T} \cdot h_3 \cdot 40}}, \quad (2.20)$$

или
$$\alpha_3 = 152,66 \cdot \sqrt[4]{e^{0,026 \cdot T} / h_3}. \quad (2.21)$$

По данной формуле можно определить коэффициент теплоотдачи при изменении температуры и толщины сырья. Например, коэффициент теплоотдачи молозива при фазовом переходе с замороженного состояния в жидкое составляет **482,75 Вт/м²·°С**.

Для практических расчетов наибольшее значение имеет формула удельной мощности (2.22), учитывающая изменения электрофизических параметров молозива при разных агрегатных состояниях:

$$P_i(y) = \omega \cdot \varepsilon_o \cdot \varepsilon_i \cdot \operatorname{tg} \delta_i \cdot \left| \dot{E}_i \right|^2,$$

$$P_1(y) = 0,555 \cdot f \cdot k_1 \cdot E_1^2 = 0,555 \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 25,54 \cdot e^{0,19 \cdot T} \cdot E_1^2 = 3,47 \cdot 10^{10} \cdot e^{0,19 \cdot T} \cdot E_1^2, \text{ Вт} / \text{см}^3;$$

$$P_2(y) = 0,555 \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 24,28 \cdot e^{0,036 \cdot T} \cdot E_2^2 = 3,30 \cdot 10^{10} \cdot e^{0,036 \cdot T} \cdot E_2^2, \text{ Вт} / \text{см}^3;$$

$$P_3(y) = 0,555 \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 27,31 \cdot e^{-0,021 \cdot T} \cdot E_3^2 = 3,71 \cdot 10^{10} \cdot e^{-0,021 \cdot T} \cdot E_3^2, \text{ Вт} / \text{см}^3, \quad (2.22)$$

где f – частота ЭМП, Гц; E – напряженность ЭП, В/см.

Например, удельная мощность, генерируемая в единице объема сырья в области границы, разделяющей твердую и жидкую фазы и имеющей температуру, равную температуре фазового превращения при напряженности электрического поля 0,6 кВ/см, составляет:

$$P_3(y) = 0,555 \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 27,31 \cdot e^{-0,021 \cdot T} \cdot 0,6^2 =$$

$$3,71 \cdot 10^{10} \cdot 0,36 = 1,34 \cdot 10^{10} \text{ Вт} / \text{см}^3 = 13,4 \text{ кВт} / \text{м}^3.$$

Тогда скорость нагрева сырья равна $\frac{\Delta T_3}{\Delta \tau_3} = \frac{P_3 \cdot \eta}{\rho_3 \cdot c_3} = \frac{13400 \cdot 0,57}{1049,1 \cdot 4053} = 0,0018 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{с}.$

Так как фактор диэлектрических потерь замороженного сырья с увеличением температуры от $-10 \text{ } ^\circ\text{C}$ до $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ растет с 4 до 27, а при положительной температуре от $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ до $40 \text{ } ^\circ\text{C}$ падает с 27 до 10, то генерируемая удельная мощность в процессе дефростации молозива растет. Поэтому управляя напряженностью электрического поля изменением мощности генераторов и регулированием зазора конденсаторной части резонаторов путем плавного передвижения общего перфорированного основания, можно обеспечить необходимую производитель-

ность установки.

Итак, предложена математическая модель процесса взаимодействия электромагнитных волн с сырьем различного агрегатного состояния, описывающая электромагнитные и тепловые процессы в квазистационарных тороидальных резонаторах с общим перфорированным основанием.

Из-за противоположной динамики изменения диэлектрических параметров молозива животных от температуры рабочего диапазона (от -10 °С до 40 °С), подлежащего тепловой обработке с применением СВЧ технологии, задачи, касающиеся теплопереноса, следует решать через уравнения теплопроводности в области границы, разделяющей твердую и жидкую фазы, и имеющей температуру, равную температуре фазового превращения [42].

Предложены основные пути реализации установленных критериев проектирования СВЧ установок непрерывно-поточного действия, в том числе метода достижения равномерного нагрева замороженного молозива при дефростации и разогреве.

2.2 Исследование распределения волн на границе раздела между замороженным и жидким сырьем

Удельные диэлектрические потери в единице объема диэлектрика зависят от квадрата напряженности электрического поля, от фактора диэлектрических потерь молозива, а также от теплоемкости и плотности сырья. При этом фактор диэлектрических потерь при температуре от -10 до 0 °С растет от 4 до 27, т.е. мощность, поглощаемая сырьем, и скорость его нагрева в процессе размораживания, увеличивается. При разогреве молозива от 0 до 40 °С фактор диэлектрических потерь падает, т.е. поглощаемая мощность и скорость нагрева жидкого сырья с увеличением температуры уменьшается (рис. 2.2) [69, 191, 200]. Поведение в ЭМП такого сложного сырья, как коровье молозиво, становится более ясным только в результате анализа диэлектрических свойств. При разработке технологического процесса размораживания коровьего молозива и моделей взаимодействия ЭМП СВЧ с сырьем необходимо знать его электрофизические свойства в широком диапазоне температур. Поэтому нами проанализированы

диэлектрические параметры сырья, систематизированные по данным И. А. Рогова [200].



Рисунок 2.2 – Диэлектрические характеристики коровьего молозива жирностью 6,4 % при изменении температуры от $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$:
1 – диэлектрическая проницаемость; 2 – фактор диэлектрических потерь

В процессе размораживания сырья в ЭМПСВЧ его диэлектрические характеристики меняются из-за изменения плотности и форм связи влаги. Максимальных значений диэлектрических характеристик замороженного коровьего молозива достигают при температуре $0\text{--}2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.2). В процессе замораживания величины диэлектрической проницаемости, фактора потерь резко уменьшаются. В интервале температур от 0 до $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ диэлектрическая проницаемость замороженного коровьего молозива падает с 53 до 7.

По данным И. А. Рогова [200] изменение фактора диэлектрических потерь (k) коровьего молозива от температуры (T) описывается эмпирическими выражениями в промежутках температур: от -10 до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $k = 25,53 \cdot e^{0,19 \cdot T}$;
от 0 до $39\text{ }^{\circ}\text{C}$, $k = 27,308 \cdot e^{-0,021 \cdot T}$.

Т.е. фактор диэлектрических потерь сырья при отрицательной температуре растет, а при положительной температуре падает. Удельная мощность ($P_{уд}$), генерируемая в единице объема замороженного молозива, в процессе дефростации

с -10 до 0 °С, при напряженности электрического поля $1,2$ кВ/см, увеличивается с 7832 до 52867 Вт/м³. $P_{уд\text{ средн.}} = 30349$ Вт/м³ = $0,03$ Вт/г.

$$P_{уд} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot (4 \dots 27) \cdot (1,2 \cdot 10^3)^2$$

$$= 7832 \dots 52867 \text{ Вт} / \text{м}^3, \quad (2.23)$$

где f – частота, Гц; k – фактор диэлектрических потерь коровьего молозива; E – напряженность электрического поля, В/см.

Скорость нагрева ($\Delta T / \Delta \tau$) молозива в процессе дефростации увеличивается с

$$0,0014 \text{ до } 0,0094 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}: \frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{P_{уд} \cdot \eta}{\rho \cdot C} = \frac{(7832 \dots 52867) \cdot 0,7}{1017 \cdot 3860} = 0,0014 \dots 0,0094 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}, \quad (2.24)$$

где ρ – плотность сырья, кг/м³; C – теплоемкость сырья, Дж/кг °С; η – термический КПД, $\Delta \tau$ – продолжительность воздействия ЭМП СВЧ, с.

Тогда продолжительность *дефростации* молозива составит:

$$\Delta \tau = \Delta T / (0,0094) = 10 / 0,0094 = 10,7 \text{ мин.} \quad \Delta \tau = \Delta T / (0,0014) = 10 / 0,0014 = 119 \text{ мин.} \quad (2.25)$$

При мощности генератора 2400 - 2550 Вт в резонатор можно загрузить 8 - 10 л замороженного сырья.

Итак, предварительные данные показывают, что при использовании трех СВЧ генераторов (2400 - 2550 Вт) в проектируемый резонатор можно загрузить 10 - 12 л (в зависимости жирности $4,5$ - $6,4$ %) замороженного молозива. При этом необходимо возбудить ЭП напряженностью 1 - $1,2$ кВ/см, тогда продолжительность размораживания сырья составит 18 мин., а производительность – 25 - 30 л/ч.

Для *разогрева* молозива с 0 до 40 °С, с учетом уменьшения скорости нагрева, следует обеспечить в резонаторе напряженность ЭП $3,8$ кВ/см, т.е. другую дозу воздействия ЭМП СВЧ. Это возможно в конденсаторной части квазистационарного тороидального резонатора или в коническом резонаторе. Тогда продолжительность разогрева составит 7 - 8 мин., а общая продолжительность технологического процесса в двух резонаторах $18+7=25$ мин. Общая мощность СВЧ установки составляет $4,5$ кВт при производительности 25 - 30 кг/ч, удельных энергетических затратах $0,17$ - $0,2$ кВт·ч/кг. Базовые размораживатели молозива потребляемой мощностью 6 - 8 кВт работают при энергетиче-

ских затратах 0,25-0,3 кВт·ч/кг. Продолжительность процесса дефростации и разогрева молозива в проектом варианте сокращается в 4 раза, что делает возможным предположение о сохранении кормовой ценности, в том числе иммуноглобулина не ниже 50 мг/мл. В связи с этим для реализации технологических операций дефростации и разогрева молозива с учетом основных критериев проектирования разработана двухрезонаторная СВЧ установка (рис. 2.3).

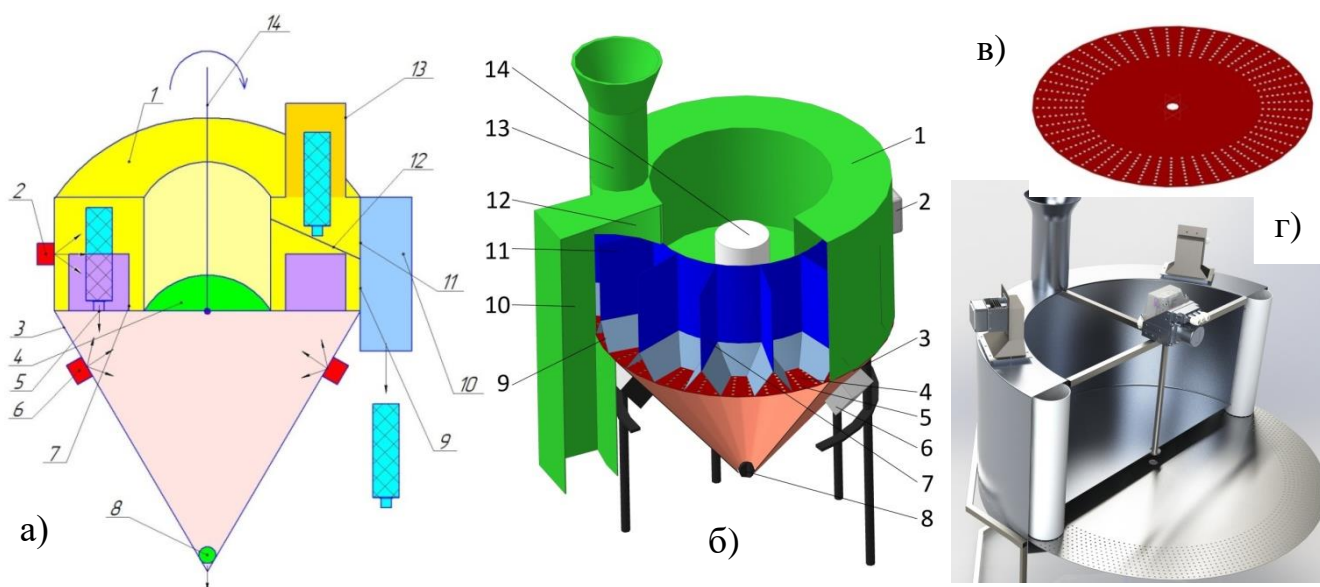


Рисунок 2.3 – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных: а, б) схематическое и пространственное изображения; в) перфорированное основание коаксиального резонатора; г) пространственное изображение изготовленной установки 1 – коаксиальный резонатор; 2, 6 – магнетроны; 3, 4, 5 – конический резонатор с перфорированным основанием; 7 – диэлектрические отсеки; 8 – шаровой кран; 9, 11 – окна; 10, 13 – патрубки; 12 – направляющая планка; 14 – электропривод

Разделение процесса на технологические операции дефростации и разогрева связано с противоположным характером изменения фактора диэлектрических потерь молозива в зависимости от температуры. Процесс воздействия ЭМП СВЧ происходит за счет поляризации диполей воды, в результате чего происходит обеззараживание продукта, зависящее от дозы воздействия и напряженности электрического поля.

Для обоснования предлагаемой конструкции использовали методики:

А. Н. Диденко (исследования процессов отражения и преломления волны) [90];
С. А. Афанасьева (исследования интенсивности и мощности излучения через перфорацию) [55]. Ниже проанализированы особенности каждого резонатора и

использованы выражения для теоретического обоснования параметров ранее не существующих (оригинальных) конструкций резонаторов.

СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным резонатором, состыкованным с основанием конического резонатора, позволяющая разделить процессы дефростации и разогрева молозива животных

Установка обеспечивает электромагнитную безопасность и высокую напряженность электрического поля для низкотемпературного обеззараживания сырья. Коаксиальный резонатор 1 с магнетронами 2 образован между двумя соосно расположенными неферромагнитными цилиндрами, верхним кольцевым неферромагнитным основанием и вращающимся неферромагнитным основанием, являющимся одновременно основанием конического резонатора 3, направленного вершиной вниз и пристыкованного к коническому резонатору. Одни магнетроны 2 со сдвигом на 120 градусов расположены на боковой поверхности коаксиального резонатора, другие магнетроны 6 также со сдвигом на 120 градусов расположены на поверхности конического резонатора, ближе к основанию. На вращающемся основании 4, внутри кольцевого объема, радиально установлены отсеки 7. Средний периметр кольцевого объема резонатора кратен половине длины волны. В каждом отсеке на вращающемся основании имеется отверстие 5, диаметром не более четверти длины волны. На вершине конического резонатора установлен шаровой кран 8. На верхнем кольцевом основании резонатора имеется загрузочный патрубок 13, выполняющий функцию запредельного волновода, диаметром не менее диаметра пластиковой бутылки с сыром.

1. Коаксиальный резонатор. Пространство между соосно расположенными цилиндрами (размерами a и b), образующими коаксиальный резонатор, заполнено замороженным коровьим молозивом с диэлектрической проницаемостью ϵ . Распределение электрического поля \vec{E} в поперечном сечении линии должно повторять структуру электростатического поля в цилиндрическом конденсаторе [112]. Поэтому электрическое поле \vec{E} имеет только радиальную составляющую E_r и не зависит от полярной координаты φ . Тогда на неферромаг-

нитных поверхностях резонатора $E_r = 0$, а электрическое поле бегущей ТЕМ (поперечная волна, у которой оба вектора E и H перпендикулярны оси Oz), не имеют продольных составляющих: $E_z = 0$, $H_z = 0$.

ТЕМ (Transverse Electromagnetic) волны описывается уравнением [112]:

$$E_r = \frac{U}{\ln(b/a)} \cdot \frac{e^{i(\omega t - k_z r)}}{r}, \quad (2.26)$$

где k_z – продольное волновое число (безразмерная величина).

Мощность, переносимой волной вдоль коаксиальной части резонатора:

$$P = \pi \cdot U^2 / z_0 \cdot \ln(b/a), \quad (2.27)$$

где z_0 – импеданс среды, заполняющий резонатор (это отношение амплитуд электрического и магнитного полей волны).

При уменьшении кольцевого пространства (стремлении отношения b/a к единице) потери растут. Если $b/a > 3,6$, то потери возрастают из-за увеличения плотности тока внутреннем цилиндре с малым радиусом.

2. Граница раздела коаксиального и конического резонаторов. Рассмотрим процессы отражения волны и ее преломления СВЧ диапазона на плоской границе раздела между двумя однородными средами (замороженное и жидкое коровье молоко) на перфорированном неферромагнитном основании конического резонатора [93]. Падение волны (рис. 2.4) происходит из прозрачной среды I (замороженного сырья). При этом величины, относящиеся к падающей волне и отраженной, обозначим индексами 0 и 1, а величины, относящиеся к преломленной волне – индексом 2. Направление нормали к плоскости раздела сред I и II совпадают с осью z , ориентированной внутрь среды II, а ось x совпадает с границей раздела. Направление распространения всех волн лежит в плоскости xz [73], что эквивалентно равенству составляющих волнового вектора для трех волн:

$$k_{0x} = k_{1x} = k_2 k_0 = \frac{\omega}{c} \sqrt{\varepsilon \cdot \mu}, \quad (2.27)$$

где ε , μ – относительная диэлектрическая и магнитная проницаемости среды; c – скорость распространения электромагнитных волн в вакууме; $\omega = 2\pi f$ – частота колебаний волн.

Рассмотрели два варианта по принципу Френеля, объясняющему меха-

низм распространения волн. Первый вариант, когда электрическое поле \vec{E} перпендикулярно плоскости падения xz ; второй вариант, когда \vec{E} лежит в этой плоскости.

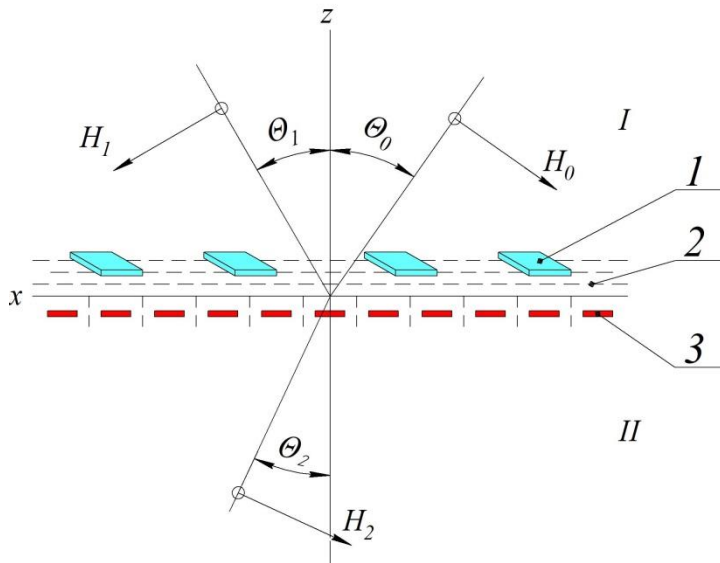


Рисунок 2.4 – Падение плоской волны на поверхность раздела двух сред: 1 – замороженные брикеты молозива, 2 – жидкое молозиво, 3 – перфорированное основание резонатора

Если первый вариант, то:

$$E_1 = \frac{\cos \theta_o \sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \sin^2 \theta_o}}{\cos \theta_o \sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \sin^2 \theta_o}} \cdot E_o, \quad E_2 = \frac{2 \cdot \cos \theta_o \sqrt{\varepsilon_1}}{\cos \theta_o \sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2 - \varepsilon_1 \cdot \sin^2 \theta_o}} \cdot E_o. \quad (2.28)$$

Если обе среды являются совершенными диэлектриками, то:

$$E_1 = \frac{\sin(\theta_2 - \theta_o)}{\sin(\theta_2 + \theta_o)} \cdot E_o, \quad E_2 = \frac{2 \cdot \cos \theta_o \cdot \sin \theta_2}{\sin(\theta_2 + \theta_o)} \cdot E_o. \quad (2.29)$$

Определяем коэффициент отражения R , позволяющий оценить отношение потока отраженной энергии к падающему потоку энергии. При нормальном падении плоской волны на границу раздела сред ($\theta_o = 0$) оба случая поляризации эквивалентны:

$$R = \left| \frac{1 - \sqrt{\varepsilon_2 / \varepsilon_1}}{1 + \sqrt{\varepsilon_2 / \varepsilon_1}} \right|^2. \quad (2.30)$$

Данная формула справедлива для поглощающей среды II.

Если подвергается воздействию ЭМП СВЧ жидкая фракция молозива с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_2 = 53...44$ и частотой 2450 МГц, то $\sqrt{\varepsilon_2} = \sqrt{53...44} = 7,28...6,63$. Тогда

$$R = \left| \frac{1 - \sqrt{\varepsilon_2 / \varepsilon_1}}{1 + \sqrt{\varepsilon_2 / \varepsilon_1}} \right|^2 = \left| \frac{1 - \sqrt{(53...44) / (7...53)}}{1 + \sqrt{(53...44) / (7...53)}} \right|^2 = 0,467...0,0466. \quad (2.31)$$

При этом диэлектрическая проницаемость замороженных блоков молозива в зависимости от температуры изменяется $\varepsilon_1 = 7...53$. Следовательно, при мощности генератора 2400 Вт в жидкой фракции молозива при 0 °С поглощается мощность $(1-0,467) \cdot 2400 = 1279$ Вт. Интенсивность и мощность излучения через перфорации основания резонатора исследовали на примере элементарного щелевого излучателя. Переменные электрические заряды наводятся при этом за счет протекания поверхностных токов по стенке перфорированного основания.

3. Усеченный конический резонатор. Если усечь вершину конуса на уровне критического сечения, то размеры и рабочая частота для таких резонаторов подбирается таким образом, чтобы на конической части возникали условия отсечки для одного или нескольких высших типов колебаний. Это обеспечит в данных структурах условия для возникновения резонансных колебаний за счет переотражений электромагнитных волн высших порядков от критических сечений [13]. Отсекая вершину конического резонатора, созданы отверстия для внесения замороженных блоков коровьего молозива в усеченный конический резонатор, без ущерба для качества резонансной системы. При коническом профиле резонатора вырождение между колебаниями H_{01p} (симметричная мода магнитного поля, с нулевым числом полных изменений поля по окружности и одним изменением поля по диаметру) и E_{11p} (основная несимметричная мода электрического поля, с одним числом полных изменений поля по окружности и одним изменением поля по диаметру) не происходит. Я. В. Алексенко показал, что спектр мод даже при большом угле раствора конуса слабо отличается от собственных мод цилиндрического резонатора [49]. Поэтому напряженность электрического поля (В/м) в открытом коническом резонаторе можно описать

$$\text{формулой: } E_r = \frac{C \cdot (J_{m+1/2}) \cdot \left(\frac{\omega \cdot r}{c}\right) \cdot P_v^m(\cos \theta) \cdot e^{i \cdot m \cdot \varphi}}{r^{3/2}}, \quad (2.32)$$

где m – целое число радиальных изменений поля по диаметру; ω – частота ЭМП, Гц; θ – угол раствор конуса, град; C – константа, определяемая частным

решением функции Бесселя; $(J_{m+1/2})$ – функция Бесселя; c – скорость электромагнитной волны в вакууме ($3 \cdot 10^8$ м/с); r – радиус основания конического резонатора, м; P_v – мощность генерируемая в единице объема сырья, Вт/м³; φ – начальная фаза.

Собственные частоты конического резонатора мало отличаются от собственных мод цилиндрического резонатора с радиусом, равным радиусу основания конуса [142]. Рассмотрим электрофизические аспекты нагрева сырья в ЭМП СВЧ. Размещение молозива с достаточно большим тангенсом угла диэлектрических потерь в объемный резонатор позволяет использовать практически всю СВЧ энергию генератора для его нагрева. При сравнительно низких температурах нагрева КПД передачи мощности генератора сырью можно определить

по формуле [142]:

$$\eta = \frac{P_{\text{сырья}}}{P_{\text{генер}}} = \frac{P_{\text{сырья}}}{P_{\text{сырья}} + P_{\text{стенок}}}. \quad (2.33)$$

Пусть слой замороженного сырья расположен на перфорированном основании конического резонатора, радиусом R с колебаниями H_{01p} так, что его поверхность касательна электрическому полю $E_\varphi(r, z)$, а центр симметрии имеет координату $z = \lambda \cdot k / 4$, где $k = 1, 3, 5 \dots$. При определенных конструктивных размерах резонатора КПД можно определить и по формуле 2.34 [142]:

$$\eta = \left\{ 1 + \frac{\left[1 + (2 \cdot \pi / \mu_{01})^2 \cdot (R/h)^3 \cdot (1/2 \cdot p) \right] \cdot (R_s / Z_o) \cdot (V_{\text{рез}} / V_{\text{сырья}})}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \text{tg} \delta \cdot (2 \cdot \pi / \mu_{01})^2 \cdot (R/\lambda)^3} \right\}^{-1}, \quad (2.34)$$

где μ_{01} – корень функции Бесселя J_1 ($\mu_{01} = 2,4050$) [142]; h – высота усеченного конуса, м; $V_{\text{рез}} = \frac{\pi \cdot h}{3} (R^2 + R \cdot r + r^2)$ – объем усеченного конического резонатора, м³; $V_{\text{сырья}} = \pi \cdot R^2 \cdot d$ – объем сырья в резонаторе, м³; R_s – поверхностное сопротивление резонатора ($R_s = 0,028$ Ом·мм²/м); Z_o – волновое сопротивление свободного пространства ($Z_o = 377$ Ом) [86].

Эффективность резонатора примерно можно оценить по величине напряженности ЭП ($E_\varphi(r, z)$), мощности генератора ($P_{\text{генер.}}$) и собственной добротности (Q), то есть по параметру:

$$E_\varphi(r, z) / \sqrt{P_{\text{генер}} \cdot Q}. \quad (2.35)$$

КПД резонатора существенно зависит коэффициента заполнения сырьем и от ориентации граничных плоскостей сырья относительно вектора электрического поля. Для практических расчетов КПД коаксиального резонатора можно пользоваться формулой 2.36:

$$\eta = \left[1 + \frac{l \cdot \lambda}{2 \cdot a \cdot \lambda_{кр}} \right]^{-1} = \left[1 + \frac{0,1836 \cdot 0,1224}{2 \cdot 0,306 \cdot 0,52} \right]^{-1} = 0,73. \quad (2.36)$$

где l , a – размеры резонатора, м.

Выводы. *Методология разработки СВЧ установки предусматривает построение математических моделей дефростации и разогрева молозива животных воздействием ЭМП СВЧ с учетом фазовых переходов, их исследование, разработку конструктивного исполнения рабочей камеры установки с эффективными режимами работы.*

Научную новизну представляют математические модели дефростации и разогрева молозива животных воздействием ЭМП СВЧ с учетом фазового перехода в СВЧ установке; конструктивное исполнение установки с резонаторами с общим основанием, позволяющими разделить процессы дефростации и разогрева молозива животных для воздействия ЭМП СВЧ в разных дозах. СВЧ установка содержит коаксиальный и конический резонаторы с общим перфорированным основанием. Из-за противоположной динамики изменения диэлектрических параметров молозива животных от температуры рабочего диапазона (от -10 °С до 40 °С), подлежащего тепловой обработке с применением СВЧ технологии, задачи, касающиеся теплопереноса, следует решать через уравнения теплопроводности в области границы, разделяющей твердую и жидкую фазы и имеющей температуру, равную температуре фазового превращения. Предложены основные пути реализации установленных критериев проектирования СВЧ установок непрерывно-поточного действия, в том числе метода достижения равномерного нагрева замороженного молозива при дефростации и разогреве.

Проанализированы диэлектрические параметры молозива в диапазоне температур от -12 °С до 40 °С. Проведены теоретические исследования измене-

ния коэффициента поглощения электромагнитного поля и глубины проникновения волны длиной 12,24 см в процессе дефростации и разогрева коровьего молозива жирностью 6,4 %.

Глубина проникновения электромагнитного поля в замороженное сырье меньше (0,2-1,0 см), чем при плюсовых температурах (1,0-2,17 см), объясняется это увеличением диэлектрических потерь в области отрицательных температур. При таком существенном отличии их диэлектрических характеристик и глубины проникновения ЭМП СВЧ в молозиво, температура нагрева их значительно отличается. Поэтому установка должна содержать два объемных резонатора, обеспечивающих разные дозы воздействия ЭМП СВЧ на молозиво, отличающиеся агрегатным состоянием.

Предложена математическая модель процесса взаимодействия электромагнитных волн с сырьем различного агрегатного состояния, описывающая электромагнитные и тепловые процессы в резонаторах с общим перфорированным основанием. Для заданной мощности генератора, пороговой мощности, зависящей от напряженности электрического поля (ЭП), и с учетом изменения коэффициента затухания электромагнитных волн в процессе нагрева, проведена теоретическая оценка оптимального объема сырья, в котором происходит обеззараживание молозива животных. Эти показатели согласованы с конструктивными параметрами оригинальных объемных резонаторов.

С учетом основных критериев проектирования СВЧ установок непрерывно-поточного действия, таких как обеспечение высокой собственной добротности резонатора, высокой напряженности ЭП и электромагнитной безопасности, разработана двухрезонаторная СВЧ установка.

2.3 Дифференциальные уравнения массотеплопереноса в резонаторе в процессе дефростации и разогрева сырья

2.3.1 Моделирование диэлектрического нагрева сырья с учетом фазовых переходов

В пищевой промышленности для размораживания сырья широко применяют СВЧ энергию. Появлению новых областей применения СВЧ энергии спо-

собствует ряд специфических свойств электромагнитных колебаний сантиметрового диапазона, которые позволяют значительно улучшить существующие технологические процессы, в том числе дефростацию молозива животных. Известно, что при рациональном подборе параметров объемных резонаторов на частоте 2450 МГц происходит преобразование СВЧ энергии в тепловую энергию и получить относительно равномерное выделение тепла в объеме замороженного сырья. Эффективность преобразования энергии электромагнитного поля в тепло зависит от частоты колебаний, квадрата напряженности электрического поля и фактора диэлектрических потерь сырья. Достичь равномерности нагрева сырья с заданным распределением температур по его объему с многократным ускорением процесса можно при комплексном сочетании многих факторов. Например, с использованием не стандартных конструктивных исполнений резонаторов, позволяющих реализовать процессы с учетом фазовых превращений сырья.

Многообразие форм связи и электрофизических свойств вязкого сырья приводит к изучению нелинейных задач теплообмена [157], связанных с процессами фазовых превращений (процессы размораживания молозива).

Известно, что задачи теплопереноса с подвижными границами, вызванными изменением агрегатного состояния вещества, решаются по методике Стефана, сформулированной для фазовых переходов. Решение задачи сводится к уравнению теплопроводности в области с заранее неизвестной границей, разделяющей твердую и жидкую фазы и имеющей температуру, равную температуре фазового превращения. Подвижная граница фаз обеспечивает нелинейность задачи [220].

Решения таких задач имеются в работах Афанасьева А. М., Макарова В. Н., Самарского А. А. и др. Анализ этих работ показывает, что отсутствуют решения для процессов дефростации и разогрева молозива животных. *Поэтому разработка математических моделей, обеспечивающих эффективность, равномерность и экономичность диэлектрического нагрева с учетом фазового перехода, является актуальной задачей.*

Граничные условия: придать динамике движения фазовой границе заданный характер и свести нелинейную задачу Стефана к линейной.

Рассматривается задача размораживания сырья при помощи плоской электромагнитной волны, при различных значениях мощности, частоты ЭМП. Замороженное сырье, при диэлектрическом нагреве до определенной температуры, переходит из твердого состояния в жидкое. Оценим по методике Тахаува А. А. поведение температурного поля и продолжительность полного размораживания сырья [135]. Для этого обозначим символами h_1, h_2 высоту каждого слоя; $i = 1, 2, 3$ – электрофизические параметры каждого слоя сырья, $i_0 = 0$ соответствует воздуху; $i_0 = 1$ – жидкой фазе; $i = 3$ соответствует разделительной поверхности; ε_i – диэлектрическая проницаемость i -го слоя, $\text{tg}\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь в i -м слое (рис. 2.5).

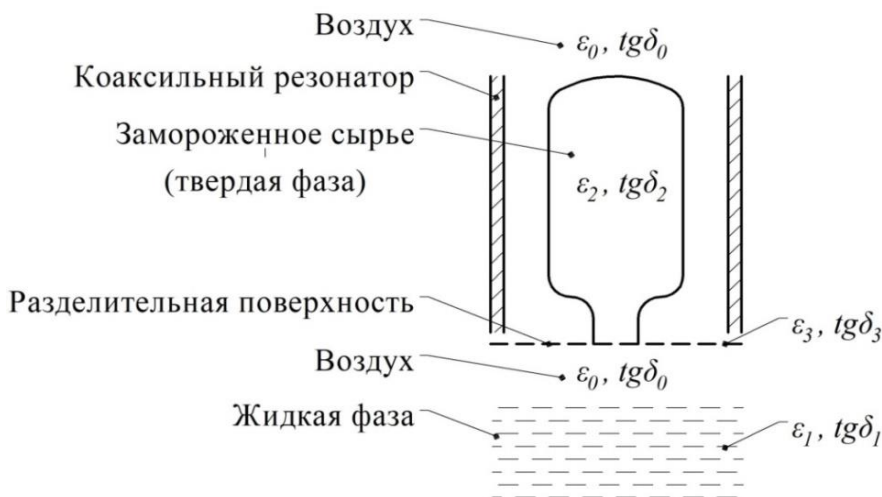


Рисунок 2.5 – Схематическое изображение процесса

В i -ом слое амплитуды электрического (E_i) и магнитного полей (H_i) полей можно представить: $E_i(z) = b_i \cdot e^{-ik_i \cdot z} + r_i \cdot e^{-ik_i \cdot z}$; $H_i(z) = b_i \cdot e^{-ik_i \cdot z} - r_i \cdot e^{(-ik_i \cdot z)/w_i}$, (2.37)

где $b_0 = 1$, $r_3 = 0$, $k_i = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\varepsilon_i \cdot \mu_i}$ – комплексное волновое число в i -ом слое, b_i и r_i – коэффициенты прохождения и отражения соответственно в i -ом слое, w – волновое сопротивление в i -ом слое.

Плотность мощности тепловых потерь $p = E^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \text{tg}\delta$,

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – диэлектрическая постоянная вакуума, f – частота ЭМП, Гц, E – напряженность ЭП, В/м.

Для определения температурного поля при *размораживании* сырья необходимо решить систему уравнений теплопроводности с начальными и граничными условиями. Для определения температурного поля при *разогреве* сырья необходимо решить систему уравнений теплопроводности с другими начальными и граничными условиями на первом этапе с соответствующими электрофизическими параметрами.

Системы уравнений теплопроводности [135]:

$$\eta = \begin{cases} c_2 \cdot \rho_2 \cdot \frac{\partial T^{(2)}}{\partial t} = \lambda_2 \cdot \frac{\partial^2 \cdot T^{(2)}}{\partial \cdot z^2} + q_2(z), t > 0, 0 < z < h_2, \\ c_2 \cdot \rho_2 \cdot \frac{\partial T^{(2)}}{\partial t} = \lambda_2 \cdot \frac{\partial^2 \cdot T^{(2)}}{\partial \cdot z^2} + q_2(z), t > 0, 0 < z < h_2 \end{cases} \quad (2.38)$$

$$\text{с начальными условиями: } T(z, 0) = T_{нач}, 0 < z < h_2, T(z, 0) = T_{нач}, z > h_2 \quad (2.39)$$

$$\text{и граничными условиями:} \quad \begin{aligned} -\lambda_2 \frac{\partial T^{(2)}}{\partial z}(0, t) &= k_2(T^{(2)}(0, t) - T_o), \\ \lambda_2 \frac{\partial T^{(2)}}{\partial z}(h_2, t) &= \lambda_3 \frac{\partial T^{(3)}}{\partial z}(h_2, t), T^{(2)}(h_2, t) = T^{(3)}(h_2, t), \end{aligned} \quad (2.40)$$

где $\rho_i \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right], c_i \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right], \lambda_i \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right], k_i \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$ – плотность, коэффициенты теплоемкости, теплопроводности, теплоотдачи среды соответственно, $T_{нач}$ – начальная температура.

На втором этапе задача ставится в виде системы уравнений теплопроводности:

$$\begin{cases} c_1 \cdot \rho_1 \cdot \frac{\partial T^{(1)}}{\partial t} = \lambda_1 \cdot \frac{\partial^2 \cdot T^{(1)}}{\partial \cdot z^2} + q_1(z, t), t > 0, 0 < z < \xi(t), \\ c_2 \cdot \rho_2 \cdot \frac{\partial T^{(2)}}{\partial t} = \lambda_2 \cdot \frac{\partial^2 \cdot T^{(2)}}{\partial \cdot z^2} + q_2(z, t), t > 0, \xi(t) < z < h'_2, \\ c_3 \cdot \rho_3 \cdot \frac{\partial T^{(3)}}{\partial t} = \lambda_3 \cdot \frac{\partial^2 \cdot T^{(3)}}{\partial \cdot z^2} + q_3(z, t), t > 0, z > h'_2. \end{cases} \quad (2.41)$$

с начальными условиями:

$$T^{(1)}(\xi(t_i), t_i) = T_i, 0 < z < \xi(t_i), T^{(2)}(z, t_{нач}) = T^{(2)}(z, t_{нач}), \xi(t_{нач}) < z < h'_2 \quad (2.42)$$

$$\text{и граничными условиями:} \quad \begin{aligned} -\lambda_1 \frac{\partial T^{(1)}}{\partial z}(0, t) &= k_1(T^{(1)}(0, t) - T_o), \\ \lambda_2 \frac{\partial T^{(2)}}{\partial z}(h'_2, t) &= \lambda_3 \frac{\partial T^{(3)}}{\partial z}(h_2, t), T^{(2)}(h'_2, t) = T^{(3)}(h'_2, t), \end{aligned} \quad (2.43)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=\xi-0} - \lambda_2 \frac{\partial T^{(2)}}{\partial z} \Big|_{z=\xi+0} = \rho_2 \cdot L_2 \frac{\partial \xi(t)}{\partial t}, \quad T^{(1)}(\xi, t) = T^{(2)}(\xi, t) = T_i. \quad (2.44)$$

где L_2 – удельная теплота размораживания сырья; $\partial \xi(\tau) / \partial \tau$ – скорость движения границы фазового перехода; $\xi(\tau) = h_i$ – функция, определяющая изменение толщины твердой фазы сырья.

Уравнение (2.44) – это уравнение Стефана, характеризующее поглощение энергии на размораживание сырья при движении границы твердой фазы. Такие уравнения можно решить с использованием алгоритма шага по времени, что позволит определить продолжительность полного размораживания и разогрева.

2.3.2 Динамика диэлектрического нагрева молозива с учетом изменения электрофизических параметров при воздействии ЭМП СВЧ

Для исследования динамики нагрева коровьего молозива необходимо учесть изменения его электрофизических параметров в процессе воздействия ЭМП СВЧ, а именно изменения в зависимости от температуры диэлектрической проницаемости (ε), тангенса угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg} \delta$), фактора диэлектрических потерь (k), теплоемкости (C) и плотности (ρ). Эти характеристики анализированы в первом разделе.

Электрофизические параметры молозива описываются, в зависимости от температуры следующими эмпирическими выражениями:

- 1) фактор диэлектрических потерь при температуре (0...–12 °С)

$$k = 25,54 \cdot e^{0,19 \cdot T};$$

- фактор диэлектрических потерь при температуре (0...40 °С)

$$k = 27,308 \cdot e^{-0,021 \cdot T};$$

- 2) теплоемкость при температуре (0-50 °С) $C = 3860 \cdot e^{0,0006 \cdot T};$

- 3) плотность молозива $\rho = 1043 \text{ кг/м}^3$.

1. Динамика разогрева молозива животных

Известны формулы, описывающие мощность диэлектрических потерь через диэлектрические параметры сырья (k) и электродинамические параметры системы (E, f), а также через физические параметры сырья (2.1):

$$\begin{aligned}
P_{y\theta} &= \frac{\Delta T}{\Delta \tau} \cdot \rho \cdot C \frac{1}{\eta}, \quad \frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{P_{y\theta} \cdot \eta}{\rho \cdot C} = \frac{5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 \cdot \eta}{\rho \cdot C}, \\
\frac{\Delta T}{\Delta \tau} &= \frac{5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot E^2 \cdot 27,308 \cdot e^{-0,021 \cdot T} \cdot \eta}{1043 \cdot 3860 \cdot e^{0,0006 \cdot T}}, \quad (2.45) \\
\frac{\Delta T}{\Delta \tau} &= \frac{5,55 \cdot 10^{-11} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot E^2 \cdot 27,308 \cdot e^{-0,021 \cdot T} \cdot 0,76}{1043 \cdot 3860 \cdot e^{0,0006 \cdot T}}, \\
\frac{\Delta T}{\Delta \tau} &= 0,07 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \cdot e^{-0,0216 \cdot T}, \quad \Delta \tau = \frac{\Delta T}{0,07 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \cdot e^{-0,0216 \cdot T}}, \\
\Delta \tau &= 14,286 \cdot 10^5 \cdot \frac{\Delta T \cdot e^{0,0216 \cdot T}}{E^2}, \quad d\tau = 14,286 \cdot 10^5 \cdot \frac{e^{0,0216 \cdot T}}{E^2} \cdot dT, \\
\int d\tau &= \frac{14,286 \cdot 10^5}{E^2} \cdot \int e^{0,0216 \cdot T} \cdot dT, \quad \tau = \frac{14,286 \cdot 10^5}{E^2} \cdot e^{0,0216 \cdot T}, \\
e^{0,0216 \cdot T} &= \frac{\tau \cdot E^2}{14,286 \cdot 10^5}, \quad T = 46,3 \cdot \ln \left[\frac{\tau \cdot E^2}{14,286 \cdot 10^5} \right], \\
T &= 4,63 \cdot \ln (7 \cdot 10^{-7} \cdot E^2 \cdot \tau), \quad (2.46)
\end{aligned}$$

Например, при напряженности ЭП, равной $6 \cdot 10^4$ В/м, и варьировании продолжительностью воздействия от 0,166 до 1,0 ч с, температура нагрева молозива составит:

$$\begin{aligned}
T &= 4,63 \cdot \ln (7 \cdot 10^{-7} \cdot E^2 \cdot \tau), \quad T = 4,63 \cdot \ln (7 \cdot 10^{-7} \cdot 36 \cdot 10^8 \cdot \tau), \quad T = 4,63 \cdot \ln (2520 \cdot \tau), \\
T &= 4,63 \cdot \ln (2520 \cdot 0,166) = 28 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad T = 4,63 \cdot \ln (2520 \cdot 0,333) = 31 \text{ } ^\circ\text{C}, \\
T &= 4,63 \cdot \ln (2520 \cdot 0,5) = 33 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad T = 4,63 \cdot \ln (2520 \cdot 1) = 36 \text{ } ^\circ\text{C},
\end{aligned}$$

при напряженности $12 \cdot 10^4$ В/м:

$$\begin{aligned}
T &= 4,63 \cdot \ln (7 \cdot 10^{-7} \cdot E^2 \cdot \tau), \quad T = 4,63 \cdot \ln (7 \cdot 10^{-7} \cdot 144 \cdot 10^8 \cdot \tau), \quad T = 4,63 \cdot \ln (10080 \cdot \tau), \quad (2.47) \\
T &= 4,63 \cdot \ln (10080 \cdot 0,166) = 34,4 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad T = 4,63 \cdot \ln (10080 \cdot 0,333) = 37,6 \text{ } ^\circ\text{C}, \\
T &= 4,63 \cdot \ln (10080 \cdot 0,5) = 39,5 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad T = 4,63 \cdot \ln (10080 \cdot 1) = 42,7 \text{ } ^\circ\text{C},
\end{aligned}$$

Динамика разогрева молозива при разной напряженности ЭП приведена на рис. 2.6. Весь объем сырья при напряженности ЭП 0,6 кВ/см разогреется за 1 ч., а при напряженности ЭП, равной 1,2 кВ/см – за 28-30 мин., при напряженности ЭП 3,8 кВ/см разогреется за 7 мин.

Эмпирическая формула, описывающая изменение фактора диэлектрических потерь замороженного сырья от температуры (в диапазоне отрицательных температур $-10...0$ °C):

$$k = 24,75 \cdot e^{0,19 \cdot T}, \text{ теплоемкость } C = 2000 \text{ Дж/кг}\cdot\text{°C}, \rho = 900 \text{ кг/м}^3.$$

Если учесть, что удельная мощность, генерируемая в единице объема сырья, растет прямо пропорционально фактору диэлектрических потерь ($P = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 \cdot \eta \cdot V, \text{ Вт/м}^3$), то изменение объема замороженного сырья в процессе воздействия ЭМП СВЧ обратно пропорционально фактору диэлектрических потерь. Эта зависимость описывается эмпирическим выражением:

$$V = 13,11 \cdot e^{0,172 \cdot \tau},$$

где τ – продолжительность, мин; V – объем замороженного сырья в резонаторе, м³.

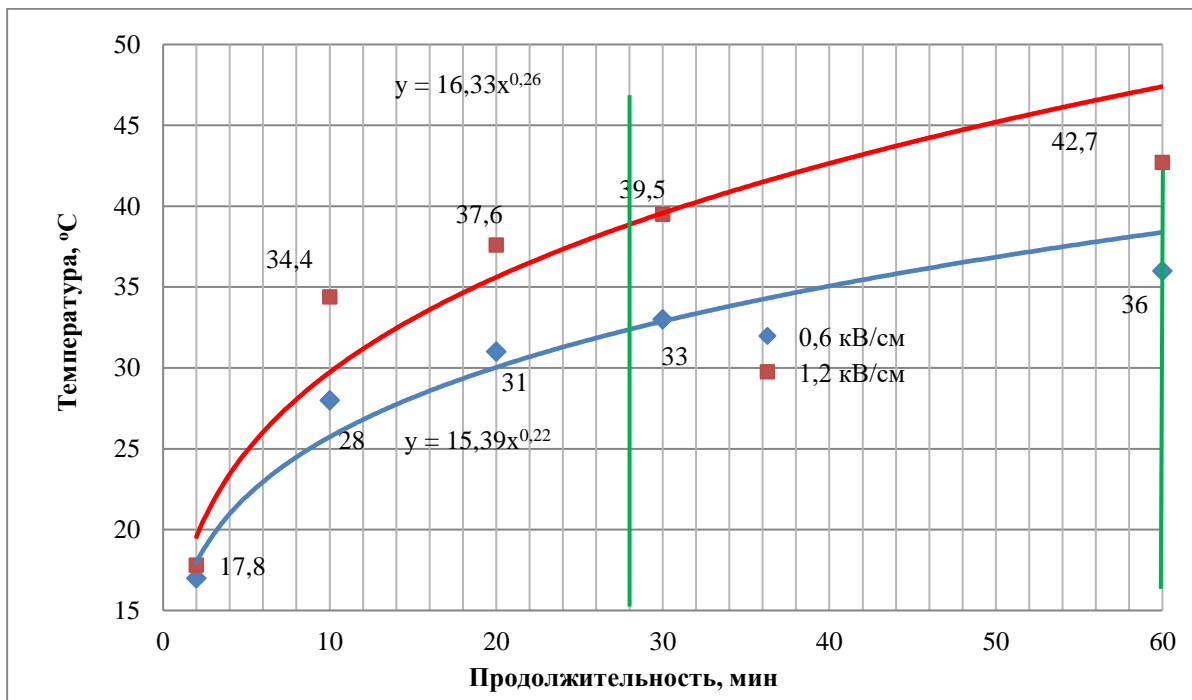


Рисунок 2.6 – Динамика разогрева молока при разной напряженности электрического поля: 0,6 кВ/см (нижний график); 1,2 кВ/см (верхний график)

График изменения объема замороженного молока в процессе воздействия ЭМП СВЧ при мощности генератора 2400-2550 Вт приведен на рис. 2.7.

2. Динамика размораживания коровьего молока

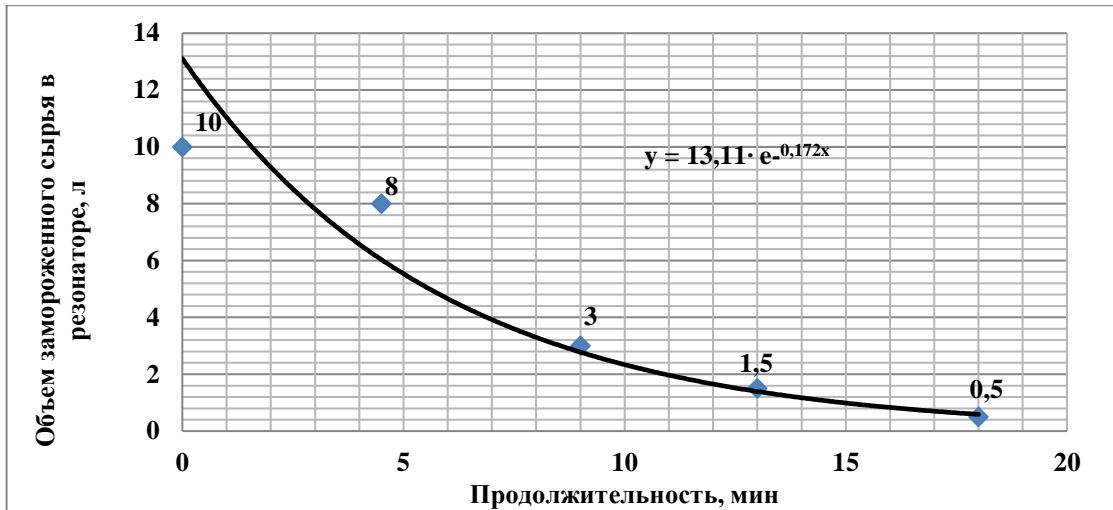


Рисунок 2.7 – Изменение объема замороженного молозива в процессе воздействия ЭМП СВЧ, если мощность генератора 2400-2550 Вт

При напряженности 1,2 кВ/см:

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot (4 \dots 27) \cdot (1,2 \cdot 10^3)^2 = (7832,1 \dots 52867) \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot (1,2 \cdot 10^3)^2 = 15344 \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot (1,2 \cdot 10^3)^2 = 39168 \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

При напряженности 0,6 кВ/см:

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot (4 \dots 27) \cdot (0,6 \cdot 10^3)^2 = (1958 \dots 13216) \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot (0,6 \cdot 10^3)^2 = 3916 \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot (0,6 \cdot 10^3)^2 = 9790 \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

Пользуясь формулой удельной мощности $P_{y\partial} = \frac{\Delta T}{\Delta \tau} \cdot \rho \cdot C \frac{1}{\eta}$, при постоянном значении

теплоемкости замороженного молозива, равной 2000 Дж/кг·°С и плотности 900 кг/ч, вычислим продолжительность размораживания.

$$\tau = \frac{T \cdot \rho \cdot C}{P_{y\partial} \cdot \eta} = \frac{T \cdot 900 \cdot 2000}{P_{y\partial} \cdot 0,76} = 2,37 \cdot 10^6 \cdot \frac{T}{P_{y\partial}}. \quad (2.48)$$

$$\tau = 2,37 \cdot 10^6 \cdot T / P_{y\partial} = 2,37 \cdot 10^6 \cdot 2,5 / 9790 = 605 \text{ с} = 10 \text{ мин. (если 0,6 кВ/см)}$$

$$\tau = 2,37 \cdot 10^6 \cdot T / P_{y\partial} = 2,37 \cdot 10^6 \cdot 2,5 / 39168 = 151 \text{ с} = 2,5 \text{ мин. (если 1,2 кВ/см)}.$$

Графики удельной мощности, выделяемой в единице объема молозива в зависимости от его температуры при разных напряженностях ЭП, приведены на рис. 2.8. Результаты теоретических исследований показывают, что полное раз-

мораживание сырья при напряженности электрического поля 0,6 кВ/см возможно за 10 мин, если генерируется удельная мощность в единице объема сырья 10000 Вт/м³. При напряженности ЭП 1,2 кВ/см и удельной мощности 40000, продолжительность размораживания сократится до 2,5-3 мин.

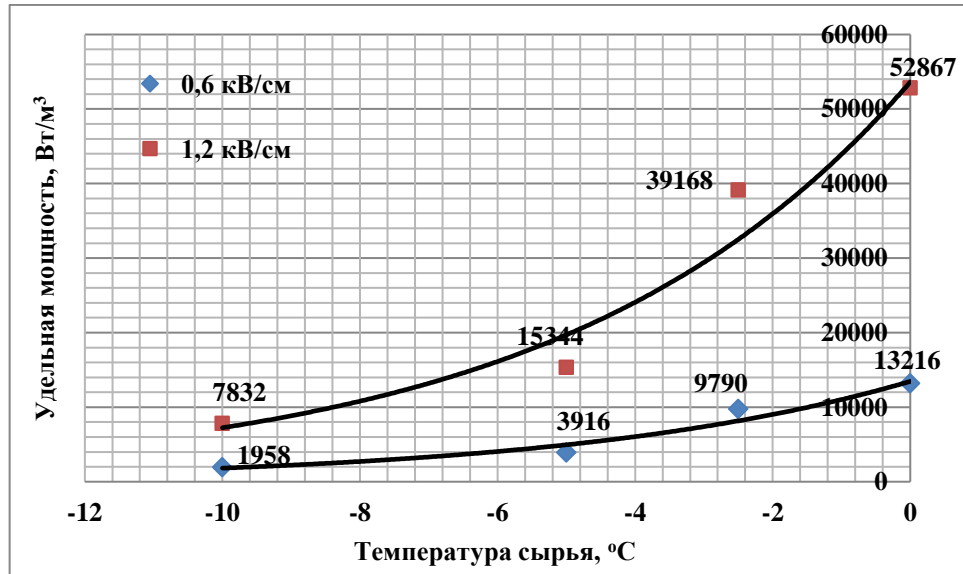


Рисунок 2.8 – Удельная мощность, выделяемая в единице объема молозива в зависимости от его температуры при разных напряженностях ЭП: 0,6 кВ/см; 1,2 кВ/см

2.3.3 Динамика размораживания молозива и накопления готовой продукции в процессе диэлектрического нагрева

Определенный объем молозива замороженного (Φ) под воздействием ЭМП СВЧ в одном резонаторе переходит в жидкую фазу (Φ) (происходит фазовое превращение, 0-2 °C); далее под воздействием ЭМП СВЧ в другом резонаторе нагревается до 39-40 °C, т.е. превращается в готовую продукцию (Π).

Выведем уравнение, позволяющее оценить изменения количества вещества (Π) от времени τ , на основе которого можно было бы определить количества жидкого молозива (Π) температурой 40 °C. Данную задачу решали по методике Пономарева К. К. [158, стр. 453].

При этом граничными условиями являются:

1) скорость превращения замороженного молозива в любой момент времени пропорциональна начальному его количеству;

2) скорость образования готовой продукции (Π) в любой момент времени пропорциональна наличному к этому времени количеству молозива (Φ) с температурой 0-2 °С;

3) скорость накопления жидкой фазы (Φ) равна разности скоростей превращения замороженного молозива (\mathcal{Z}) и скорости образования готовой продукции (Π) с температурой 40 °С.

Для решения введены обозначения:

- 1) количество замороженного сырья (\mathcal{Z}) в момент τ обозначим через x ;
- 2) количество молозива при фазовом переходе (Φ) в момент τ обозначим y ;
- 3) количество готовой продукции (Π) в момент τ обозначим z ;
- 4) введем коэффициенты пропорциональности, соответственно k_1, k_2 .

Замороженное сырье объемом 1 литр, следовательно, $x + y + z = 1$.

Скорость превращения замороженного сырья (\mathcal{Z}): $-dx / d\tau = k_1 \cdot x$.

Скорость образования готовой продукции (Π): $-dz / d\tau = k_2 \cdot y$. (2.49)

Скорость накопления молозива при фазовом переходе (Φ):

$$dy / d\tau = -dx / d\tau - dz / d\tau = k_1 \cdot x - k_2 \cdot y. \quad (2.50)$$

Составим систему дифференциальных уравнений процесса перехода замороженного сырья в готовую продукцию для определения величины $z(\tau)$:

$$dx / d\tau = -k_1 \cdot x; \quad dy / d\tau = -k_1 \cdot x - k_2 \cdot y; \quad dz / d\tau = k_2 \cdot y. \quad (2.51)$$

Для этого дифференцируем уравнение $dz / d\tau = k_2 \cdot y$ и получаем

$$d^2 z / d\tau^2 = k_2 \cdot dy / d\tau. \quad (2.52)$$

С учетом, что $dy / d\tau = -k_1 \cdot x - k_2 \cdot y$, уравнение преобразуем:

$$d^2 z / d\tau^2 = k_1 \cdot k_2 \cdot x - k_2^2 \cdot y. \quad (2.53)$$

Правую часть уравнения преобразуем:

$$d^2 z / d\tau^2 = k_1 \cdot k_2 \cdot x - k_2^2 \cdot y + k_1 \cdot k_2 \cdot y - k_1 \cdot k_2 \cdot y = k_1 \cdot k_2 \cdot (x + y) - k_2 \cdot y \cdot (k_1 + k_2). \quad (2.54)$$

С учетом, что $k_2 \cdot y = dz / d\tau$, и $(x+y) = (1-z)$, то

$$d^2 z / d\tau^2 = k_1 \cdot k_2 \cdot (1-z) - (k_1 + k_2) \cdot dz / d\tau. \quad (2.55)$$

$$d^2 z / d\tau^2 + (k_1 + k_2) \cdot dz / d\tau + k_1 \cdot k_2 \cdot (z-1) = 0. \quad (2.56)$$

Обозначим $(z-1) = u$, тогда получим линейное дифференциальное уравнение:

$$d^2u/d\tau^2 + (k_1 + k_2) \cdot du/d\tau + k_1 \cdot k_2 \cdot u = 0. \quad (2.57)$$

Решение данного уравнения: $u = C_1 \cdot e^{-k_1 \cdot \tau} + C_2 \cdot e^{-k_2 \cdot \tau}$. $z - 1 = C_1 \cdot e^{-k_1 \cdot \tau} + C_2 \cdot e^{-k_2 \cdot \tau}$.

$$z = C_1 \cdot e^{-k_1 \cdot \tau} + C_2 \cdot e^{-k_2 \cdot \tau} + 1. \quad (2.58)$$

С учетом начальных условий 1) $\tau = 0, z = 0$; 2) при $\tau = 0, u = 0$, следовательно, и $dz/d\tau = 0$. Дифференцируя равенство 2.10, получим

$$dz/d\tau = -k_1 \cdot C_1 \cdot e^{-k_1 \cdot \tau} - k_2 \cdot C_2 \cdot e^{-k_2 \cdot \tau}. \quad (2.59)$$

$$0 = C_1 \cdot e^{-k_1 \cdot 0} + C_2 \cdot e^{-k_2 \cdot 0}, \quad 0 = -k_1 \cdot C_1 \cdot e^{-k_1 \cdot 0} - k_2 \cdot C_2 \cdot e^{-k_2 \cdot 0}. \quad (2.60)$$

Откуда $C_1 + C_2 = -1$, $k_1 \cdot C_1 - k_2 \cdot C_2 = 0$. Определим постоянные интегрирования:

$$C_1 = k_2 / (k_1 - k_2), \quad C_2 = -k_1 / (k_1 - k_2). \quad (2.61)$$

$$z = [k_2 / (k_1 - k_2)] \cdot e^{-k_1 \cdot \tau} + [k_1 / (k_1 - k_2)] \cdot e^{-k_2 \cdot \tau} + 1 = 1 - [(k_1 \cdot e^{-k_2 \cdot \tau} - k_2 \cdot e^{-k_1 \cdot \tau}) / (k_1 - k_2)]. \quad (2.62)$$

Итак, изменение объема сырья в процессе диэлектрического нагрева можно описать уравнением: $z = 1 - [(k_1 \cdot e^{-k_2 \cdot \tau} - k_2 \cdot e^{-k_1 \cdot \tau}) / (k_1 - k_2)]$. (2.63)

Определив экспериментальным способом коэффициенты пропорциональности k_1, k_2 , можно определить динамику накопления разогретого молозива во втором резонаторе.

2.4 Определение собственной добротности коаксиального резонатора

Если коаксиальный резонатор расположить в горизонтальной плоскости и разделить перфорированными диэлектрическими пластинами кольцевой объем пополам, то в верхней части коаксиального резонатора будет находиться замороженное сырье, а жидкое молозиво, просачиваясь через перфорированные пластины, окажется в нижней части коаксиального резонатора (рис. 2.4). При расположении волноводов и магнетронов на боковой поверхности наружного цилиндра, со сдвигом по высоте и по периметру на 120 градусов, в коаксиальном резонаторе возбуждается бегущая волна. Но доза воздействия ЭМП СВЧ будет одинакова в обеих частях (верхняя и нижняя) коаксиального резонатора. Управлять дозой воздействия ЭМП СВЧ в зависимости от агрегатного состояния сложно. Ниже проанализируем электродинамические параметры коаксиального резонатора, в том числе напряженность электрического поля и собственную длину волны. Собственную длину волны в кольцевом объеме коакси-

ального резонатора можно определить по известной формуле [11, 271]:

$$\lambda = 1 / \sqrt{(1 / \lambda_{кр})^2 + (p / l_{cp})^2}, \quad (2.64)$$

где $p = 1, 2, 3, \dots$; $\lambda_{кр}$ – критическая длина волны, распространяющейся в данном резонаторе; l_{cp} – средний периметр коаксиального резонатора.

Для T_{011} волны, длина волны равна $\lambda = l/p$. Пользуясь методикой Арутюняна Т. А. [48] и предложенным им уравнением определим резонансную частоту в зависимости от размеров разработанного коаксиального резонатора (рис. 2.5) и от модовых чисел m, n, s при заполнении сырьем. Если коаксиальный резонатор пустой, то при диэлектрической проницаемости воздуха $\varepsilon = 1$ уравнение можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\omega^2}{c^2} - \frac{\pi^2}{d_o^2} \right)^2 - R_o^2 \cdot \frac{2 \cdot \pi^2}{d_o^3 \cdot R} \cdot \left(\frac{\omega^2}{c^2} - \frac{\pi^2}{d_o^2} \right) + \frac{m^2 \cdot 2 \cdot \pi^2}{d_o^3} + \left(\frac{2 \cdot \pi^2}{d_o^3 \cdot R} \right)^{\frac{3}{2}} = 0 \\ \left(\varepsilon \cdot \frac{\omega^2}{c^2} - \frac{\pi^2}{d_o^2} \right)^2 - R_o^2 \cdot \frac{2 \cdot \pi^2}{d_o^3 \cdot R} \cdot \left(\varepsilon \cdot \frac{\omega^2}{c^2} - \frac{\pi^2}{d_o^2} \right) + \frac{m^2 \cdot 2 \cdot \pi^2}{d_o^3} + \left(\frac{2 \cdot \pi^2}{d_o^3 \cdot R} \right)^{\frac{3}{2}} = 0 \end{aligned} \quad (2.65)$$

где c – скорость света, м/с; остальные обозначения приведены на рис. 2.5.

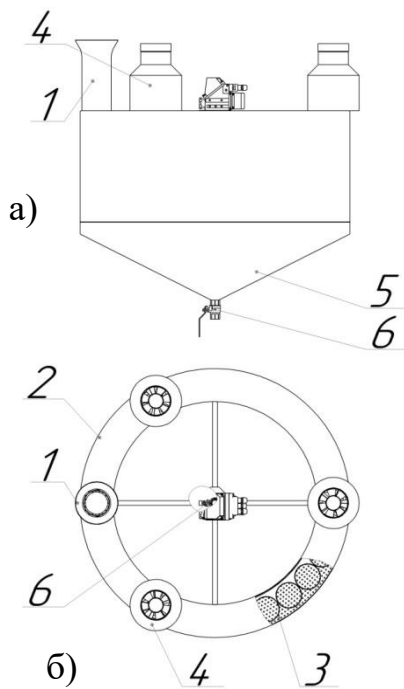
Если в коаксиальном резонаторе находится коровье молозиво, то следует учесть его диэлектрическую проницаемость. Добротность коаксиального резонатора можно вычислить из выражения [48]

$$Q = \frac{\pi \cdot f \cdot a}{c \cdot \sqrt{f / \sigma}} \cdot \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot k^2}{\left((2 \cdot \pi \cdot f)^2 / c^2 - k^2 \right)^2 \cdot a \cdot b} \right), \quad (2.66)$$

где c – скорость света, м/с ($3 \cdot 10^8$ м/с); σ – проводимость стенок резонатора, См/м (для алюминия $\sigma = 35 \cdot 10^6$ См/м); $k = 3,5$ – коэффициент, учитывающий щели; a, b – диаметры цилиндров, м.

$$Q = \frac{3,14 \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 0,1}{3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{\frac{2450 \cdot 10^6}{35 \cdot 10^6}}} \cdot \left(1 + \frac{3,14^2 \cdot 3,5^2}{\left(\frac{(2 \cdot 3,14 \cdot 2450 \cdot 10^6)^2}{(3 \cdot 10^8)^2} - 3,5^2 \right)^2 \cdot 0,1 \cdot 0,35} \right) = 3063. \quad (2.67)$$

Определим допустимую плотность потока электромагнитного излучения за



пределами установки. Плотность энергии электромагнитной волны равна $W = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E^2$. Схематическое изображение СВЧ установки с коаксиальным и коническим резонаторами представлено на рис. 2.12.

Рисунок 2.12 – Схематическое изображение СВЧ установки с коаксиальным и коническим резонаторами: а) вид спереди; б) вид сверху; 1 – приемный патрубок; 2 – коаксиальный резонатор; 3 – пластина диэлектрическая перфорированная; 4 – вентиляторы, магнетроны с волноводом; 5 – конический резонатор; 6 – запредельный волновод с шаровым краном

Плотность потока излучения равна:

$$I = W \cdot c = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E^2 \cdot c, I = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 10^8 = 2,39 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2 = \mathbf{2,4 \text{ мкВт/см}^2},$$

где c – скорость света, м/с;

По нормативным данным разрешается 10 мкВт/см^2 [196, стр. 65]. Если считать, что напряженность ЭП в резонаторе, заполненном воздухом, равна $0,2 \text{ кВ/см}$, то:

$I = W \cdot c = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E^2 \cdot c = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot (2 \cdot 10^4)^2 \cdot 3 \cdot 10^8 = 1,06 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$, если напряженность ЭП $0,6 \text{ кВ/см}$, то плотность потока $9 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$. Ниже по программе CST Studio Suite 2017 эти значения подтверждены. Плотность потока излучений в сырье, с диэлектрической проницаемостью 53 (при температуре $0-1 \text{ }^\circ\text{C}$), составляет:

$$I = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 53 \cdot (2 \cdot 10^4)^2 \cdot 3 \cdot 10^8 = 56,31 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2.$$

$$P_{\text{уд}} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 27 \cdot E^2 = 3,67 \cdot E^2,$$

$$P_{\text{уд}} = \frac{\Delta T}{\Delta \tau} \cdot \rho \cdot C \cdot \frac{1}{\eta} = 0,1 \cdot 1017 \cdot 3860 \cdot \frac{1}{0,7} = 56080 \text{ Вт/м}^3,$$

$$3,67 \cdot E^2 = 56080; \quad E = \sqrt{\frac{56080}{3,67}} = 123 \text{ В/м} = 1,23 \text{ кВ/см}. \quad (2.68)$$

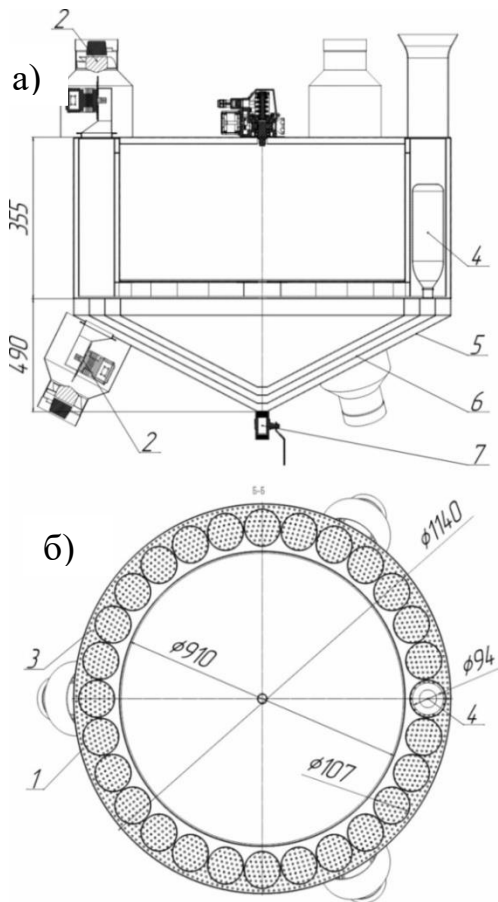
Напряженность ЭП меньше половины пробивной напряженности электрического поля (15 кВ/см). При скорости нагрева коровьего молозива $0,1^\circ\text{C/с}$

размораживание с -10 и разогрев до 39°C (т.е. приращение температуры составляет 49°C) происходит за 8 мин., если напряженность ЭП составляет $1,23$ кВ/см. Но напряженность ЭП, при объеме призматического резонатора микроволновой печи 21-27 л, составляет $0,6$ кВ/см.

Следовательно, следует проектировать оригинальные объемные резонаторы, например, квазистационарные тороидальные резонаторы или биконические, где можно обеспечить высокую напряженность ЭП. Или другое решение, когда в один объемный резонатор направить несколько излучателей и за счет интерференции электрических полей можно обеспечить высокую напряженность ЭП.

Согласование технических и технологических параметров установки

Установка содержит два резонатора (рис. 2.13). В первом коаксиальном резонаторе замороженное сырье в пластиковых бутылках передвигается за счет мотор-редуктора. Продолжительность дефростации молозива составляет **17,7**



мин., т.е. за один оборот в коаксиальном резонаторе молозиво стекает с бутылки во второй конический резонатор. Поэтому, вычислим частоту вращения мотор-редуктора. Средний периметр кольцевого объема (кратен половине длины волны, $52 \cdot \lambda/2$): $l_{cp} = 2 \cdot \pi \cdot R_{cp} = 6,28 (57-5,75) = 318,24$ см.

$$v = 318,24/17,7 \text{ мин} = 18 \text{ см/мин.}$$

$$\omega = v/R_{cp} = 18/51,25 = 0,35 \text{ об/мин.}$$

Рисунок 2.13 – Схематическое изображение коаксиального и конического резонаторов:

а) конический резонатор; б) коаксиальный резонатор; 1 – коаксиальный резонатор; 2 – магнетроны; 3 – диэлектрическое перфорированное основание; 4 – пластиковая бутылка с сырьем; 5 – конический резонатор; 6 – диэлектрические тарелки; 7 – шаровый кран

Высота коаксиального резонатора 355 мм, высота конического резонатора 350 мм, сечение кольцевого объема 115 мм, диаметр контейнера 107 мм. Средний периметр кольцевого объема 318,24 см. Средняя длина кратна 26 длины волны. Установили мотор-редуктор МЭО-6,3/12,5-0,25М-99 У3,1 и цепную передачу. Используя преобразователь частоты OMRON Varispeed CIMR-F7, достигали необходимую частоту вращения вала привода 0,35 об/мин. Технические характеристики установки, полученные расчетным путем, приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Технические характеристики установки

Наименование	Параметры
Количество резонаторов, шт.	2
Общее количество магнетронов, шт.	6
Мощность магнетронов, Вт	750-800
Мощность мотора редуктора, Вт (МЭО-6,3/12,5-0,25М-99 У3,1)	0,25
Частота вращения контейнеров, об/мин	0,35
Продолжительность нахождения сырья в коаксиальном резонаторе, мин.	17,7
Высота резонатора, м	0,355
Диаметр наружного цилиндра, м	1,14
Диаметр внутреннего цилиндра, м	0,86
Высота конического резонатора, м	0,33
Количество контейнеров, шт.	26
Объем пластиковых бутылок, л	1,0

2.5 Оценка равномерного распределения мощности излучения в СВЧ-размораживателе непрерывно-поточного действия с металлодиэлектрическим резонатором для дефростации и разогрева молозива животных

Рассмотрим аспекты, связанные с оценкой равномерного распределения мощности СВЧ излучения для достижения максимальной производительности обработки сырья, т.е. за единицу времени воздействовать ЭМПСВЧ на максимальный объем сырья, обеспечивая обеззараживание. Обозначим через Δ такую глубину проникновения ЭМПСВЧ в сырье, на которой плотность потока мощности больше пороговой мощности $P_{пор}$. Тогда:

$$P_{nop} = P_o \cdot e^{-2\alpha \cdot \Delta} / S, \quad (2.69)$$

где P_o – мощность генератора, Вт; $\Delta = 0,01 \cdot e^{0,019 \cdot T}$ – изменение глубины проникновения волны в зависимости от температуры молозива, м; α – коэффициент затухания, $\alpha = \pi \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot \text{tg} \delta / \lambda$, м^{-1} ; $\lambda = 0,1224$ м – длина волны, м.

Если учесть, что диэлектрические параметры жидкого молозива в зависимости от температуры меняются $\varepsilon = 32,88 \cdot e^{0,122 \cdot T}$, $\text{tg} \delta = 0,85 \cdot e^{0,082 \cdot T}$, то коэффициент затухания составит:

$$\alpha = \pi \cdot \sqrt{32,88 \cdot e^{0,122 \cdot T}} \cdot 0,85 \cdot e^{0,082 \cdot T} / 0,1224 = 125,035 \cdot e^{0,143 \cdot T} \text{ м}^{-1}. \quad (2.70)$$

Коэффициент затухания при нулевой температуре молозива ($T = 0$ °С) равен $\alpha = 0,125 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$, а при температуре 40 °С, $\alpha = 3,9 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$. Для жидких биологических систем В. Д. Искин [117, стр. 189] предлагает принять коэффициент затухания, равный $\alpha = 2 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$.

$$P_{nop} = \frac{P_o}{S} \cdot e^{-2\alpha \cdot \Delta} = \frac{2400}{S} \cdot e^{-2 \cdot 125 \cdot e^{0,143 \cdot T} \cdot 0,01 \cdot e^{0,019 \cdot T}} = \frac{2400}{S} \cdot e^{-2,5} = \frac{552}{0,44} = 1254 \text{ Вт}. \quad (\text{при } T = 0).$$

Площадь кольца $S = \pi \cdot (R^2 - r^2) = 3,14 \cdot (0,57^2 - 0,43^2) = 0,44 \text{ м}^2$.

Вычислим объем сырья, где происходит эффективное обеззараживание:

$$V = \frac{S}{2\alpha} \cdot \ln \left(\frac{P_o}{S \cdot P_{nop}} \right) = \frac{0,44}{2 \cdot 125} \cdot \ln \left(\frac{2400}{0,44 \cdot 1254} \right) = 0,0026 \text{ м}^3. \quad (2.71)$$

Если жидкое молозиво толщиной менее 0,6 см, то в кольцевом пространстве на перфорированном диске обеспечивается его обеззараживание ($0,0026/0,44=0,006$ м). Если мощность генератора, пороговая мощность, зависящая от напряженности электрического поля, и коэффициент затухания, считать заданными значениями, то можно оценить оптимальный объем сырья, в котором следует равномерно распределить мощность ЭМП СВЧ для достижения максимальной производительности дефростации и разогрева с обеззараживанием молозива животных.

Найти пороговую мощность можно, зная и критическую напряженность электрического поля (0,6 кВ/м), выше которой начинает снижаться бактериаль-

ная обсемененность сырья. При этом необходимо стремиться увеличить собственную добротность резонатора, тогда:

$$P = \frac{0,27 \cdot \varepsilon_0 \cdot 2\pi \cdot f \cdot V_{\text{резон.}} \cdot E^2}{Q} = \frac{0,27 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6,28 \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 0,16 \cdot (6 \cdot 10^4)^2}{3093} = 6847 \text{ Вт.}$$

$$P = \frac{0,27 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6,28 \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 0,16 \cdot (6 \cdot 10^4)^2}{7000} = 3000 \text{ Вт.}$$

где V – объем резонатора, м³; Q – собственная добротность резонатора; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума.

Если принять собственную добротность равной 7000, то в объеме разрабатываемого резонатора можно обеспечить напряженность электрического поля 0,6 кВ/см при мощности генератора 3000 Вт.

$$P = \frac{0,27 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6,28 \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 0,16 \cdot (6 \cdot 10^4)^2}{7000} = 3000 \text{ Вт.}$$

Поэтому возникает вопрос, в связи с полученными оценками, как технически реализовать равномерное распределение волн в этом объеме. Описание установки приведено ниже, а именно с использованием диэлектрических тарелок (рис. 2.14). Указанные недостатки разработанных объемных резонаторов предлагается устранить с использованием металлодиэлектрического резонатора [186], где отражение от плавно изогнутой границы диэлектрика может быть близким к единице. Известно, что суммарный коэффициент поглощения энергии ЭМП СВЧ достигает максимального значения в тех зонах резонатора, где падающий и отраженный потоки энергии соизмеримы. Потери при отражении от границы с радиусом кривизны металлодиэлектрического резонатора несколько длин волн могут быть на много порядков ниже, чем при отражении неферромагнитного материала [193]. Следовательно, собственная добротность такого резонатора в несколько раз выше, чем у резонаторов из неферромагнитного материала. Поэтому первый резонатор, обеспечивающий дефростацию молозива, предлагается сконструировать в виде металлодиэлектрического резонатора. Для ускорения скорости нагрева молозива в жидком состоянии, т. е. во втором резонаторе, толщину слоя предлагается согласовать с глубиной проникно-

вения волны, путем использования соосно расположенных радиопрозрачных конических тарелок.

Двухрезонаторный СВЧ-размораживатель (патент № 2762645) непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных (рис. 2.14) представлен из трех соосно, вертикально расположенных цилиндров. Это наружный экранирующий неферромагнитный цилиндрический корпус 1, радиопрозрачный пустой цилиндр 5 и диэлектрический сплошной цилиндр 6.

Боковая поверхность экранирующего неферромагнитного цилиндрического корпуса представлена в виде выпуклых полуцилиндров радиусом, кратным половине длины волны, и на ней со сдвигом на 120 градусов установлены магнетроны 8. А боковая поверхность диэлектрического сплошного цилиндра представлена в виде вогнутых полуцилиндров, радиусом, кратным половине длины волны.

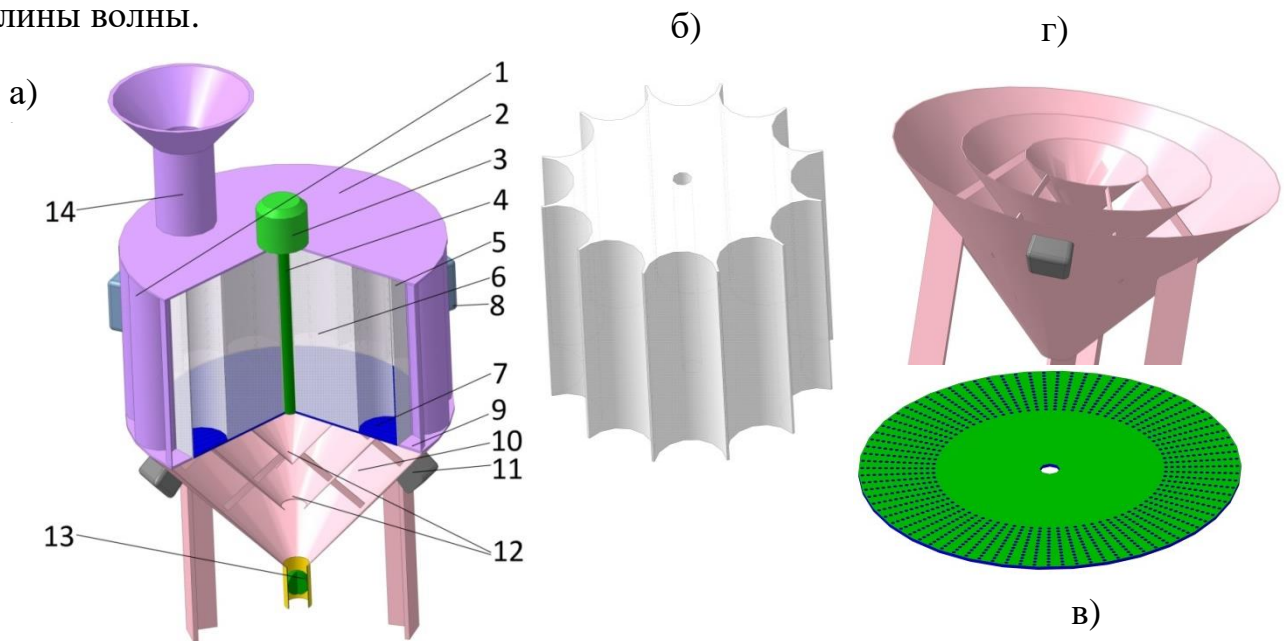


Рисунок 2.14 – СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия с металлодиэлектрическим резонатором для дефростации и разогрева молозива животных: а) общий вид; б) диэлектрический сплошной цилиндр; в) диск неферромагнитный перфорированный; г) конический неферромагнитный резонатор с радиопрозрачными усеченными коническими тарелками; 1 – экранирующий неферромагнитный цилиндрический корпус; 2 – верхнее неферромагнитное основание; 3 – электродвигатель; 4 – вал неферромагнитный; 5 – радиопрозрачный пустой цилиндр; 6 – диэлектрический сплошной цилиндр; 7 – диск неферромагнитный перфорированный; 8, 11 – магнетроны; 9 – кольцевое неферромагнитное основание корпуса; 10 – конический неферромагнитный резонатор; 12 – радиопрозрачные усеченные конические тарелки; 13 – запердельный волновод с шаровым краном; 14 – запердельный волновод для приема сырья

Такие конфигурации экранирующего ферромагнитного цилиндра и сплошного диэлектрического резонатора обоснованы особенностями диэлектрических резонаторов, где возбуждаются колебания с вариациями поля в направлении криволинейной координаты вокруг оси резонатора. Электромагнитные поля формируются волнами, распространяющимися внутри диэлектрика и падающими на боковую криволинейную поверхность под очень пологими углами. При этом их коэффициент отражения близок к единице [186]. На верхнем ферромагнитном основании 2 экранирующего корпуса 1 установлены электродвигатель 3 и запредельный волновод 14 для приема сырья [159]. Запредельный волновод расположен над кольцевым пространством, образованным между радиопрозрачным пустым 5 и диэлектрическим сплошным 6 цилиндрами. Нижним основанием корпуса служит кольцевое ферромагнитное основание 9 и установленный внутри него вращающийся ферромагнитный перфорированный диск 7. К наружному краю кольцевого основания 9 прикреплен конический ферромагнитный резонатор 10, вершиной вниз, а к боковой поверхности резонатора установлены магнетроны 11 со сдвигом на 120 градусов по периметру основания. Внутри конического ферромагнитного резонатора 10 соосно установлены радиопрозрачные усеченные конические тарелки 12. Межтарелочное пространство – не более двух глубин проникновения волны в жидкое молоко. Длина волны составляет 12,24 см. К вершине конического резонатора прикреплен запредельный волновод 13 с шаровым краном для слива продукта. Пространство внутри ферромагнитного цилиндрического корпуса выполняет функцию *металлодиэлектрического* резонатора. Микроволны удерживаются внутри поляризуемого диэлектрика, например, керамики, сапфира и т.п., за счет резкого изменения диэлектрической проницаемости на поверхности, и отражаются между сторонами диэлектрического сплошного цилиндра 6 и экранирующим ферромагнитным цилиндром [186]. Микроволны образуют стоячие волны. Схематическое изображение установки с металлодиэлектрическим резонатором приведено на рис. 2.15. Керамика или сапфир имеют большую диэлектрическую проницаемость и низкий коэффициент рассеивания. Ре-

зонансная частота определяется конструктивными размерами резонатора и диэлектрической проницаемостью материала.

Металлодиэлектрический резонатор работает также, что и неферромагнитные объемные резонаторы, но радиоволны отражаются большим изменением диэлектрической проницаемости, а не проводимостью неферромагнитного материала резонатора, где поверхность становится отражателями, но с потерями (скин-слои). Отражающей поверхностью является граница раздела сырья с диэлектрической проницаемостью больше единицы (воздуха). Электромагнитные колебания в металлодиэлектрических резонаторах можно рассматривать как суперпозицию электрического поля с магнитным полем [192, 252].

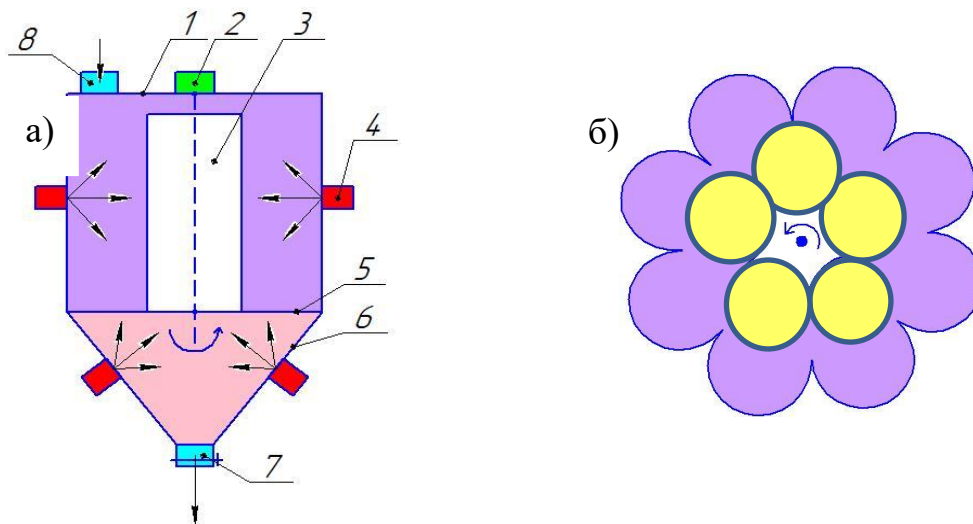


Рисунок 2.15 – Схематическое изображение размораживателя с металлодиэлектрическим резонатором: а) вид спереди; б) вид сверху; 1 – экранирующий корпуса в виде выпуклых полуцилиндров; 2 – электропривод; 3 – диэлектрический сплошной цилиндр; 4 – магнетроны; 5 – общее перфорированное основание; 6 – конический резонатор; 7 – шаровой кран; 8 – запердельный волновод

Небольшое значение тангенса угла диэлектрических потерь позволяет снизить потери в полосе пропускания при высокой температуре и высоком давлении. Металлодиэлектрический резонатор, кроме вышеуказанных специфических свойств, обладает высокой механической прочностью, стабильностью во времени и стойкостью к внешним воздействиям. Электрические параметры сапфира и керамики, предназначенные для изготовления диэлектрического сплошного цилиндра, приведены в табл. 2.3. Тангенс угла диэлектрических по-

терь у этих диэлектриков колеблется от 10^{-2} до 10^{-4} , что позволяет снизить потери, выдерживать высокие механические нагрузки.

Итак, на основе существующих теорий приведена математическая аргументация обеспечения ускорения дефростации молозива и обеззараживания воздействием сантиметровых волн при изменении диэлектрических параметров сырья и с учетом критической напряженности электрического поля [220, 248].

Таблица 2.3 – Электрические параметры диэлектриков

Параметры	Сапфир	Керамика
Удельное электрическое сопротивление, Ом/см ²	10^{11} - 10^{16}	10^{11} - 10^{15}
Диэлектрическая проницаемость	10-11,5	6-12
Диэлектрическая прочность, кВ/см	400	250
Тангенс угла диэлектрических потерь	10^{-4}	$3 \cdot 10^{-4}$ - $3,2 \cdot 10^{-2}$

Разработана СВЧ установка непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения, обеспечивающая дефростацию молозива в металлодиэлектрическом резонаторе и разогрев молозива во втором резонаторе из неферромагнитного материала, с соблюдением послойного разделения жидкости с помощью радиопрозрачных тарелок в соответствии с глубиной проникновения волны для повышения скорости разогрева молозива [196].

Для цилиндрического резонатора с колебаниями H_{011} , резонансная длина волны определяется по формуле $\lambda = \left[\left(\frac{1}{2 \cdot l} \right)^2 + \left(\frac{\mu_{01}}{2 \cdot \pi \cdot a} \right)^2 \right]^{-0.5}$ (2.72)

где $\mu_{01} = 3,832$ – первый корень уравнения Бесселя $J_0'(x) = 0$.

Собственную добротность можно вычислить из выражения, учитывающего добротность, связанную с потерями в боковой поверхности и добротность, связанная с потерями в основаниях цилиндрического резонатора, и учитывающего параметры диэлектрического цилиндра:

$$Q_0 = \frac{1}{\frac{R_s \cdot \lambda_g \cdot \lambda^3}{a \cdot Z_0 \cdot \lambda_{кр}^2} \cdot \frac{1}{\pi \cdot \lambda_g} + \frac{2 \cdot R_s \cdot [1 - (\lambda / \lambda_{кр})^2] \cdot \lambda}{\pi \cdot Z_0 \cdot l}} =$$

$$= \frac{1}{R_s \cdot \left[\frac{\lambda^3}{a \cdot Z_0 \cdot \lambda_{кр}^2 \cdot \pi} + \frac{2 \cdot [1 - (\lambda / \lambda_{кр})^2] \cdot \lambda}{\pi \cdot Z_0 \cdot l} \right]} \quad (2.73)$$

где $\lambda_{кр}$ – критическая длина волн колебаний, $\lambda_{кр} = 2\pi a / \mu_{01}$, Z – волновое сопротивление свободного пространства, $Z = 377$ Ом, R_s – поверхностное сопротивление корпуса цилиндрического резонатора.

2.6 Исследование неравномерности эндогенного нагрева замороженного молозива в тарах, в виде эллипсоида вращения

Исследования проведены на базе конических резонаторов для дефростации и разогрева молозива животных. Для этого

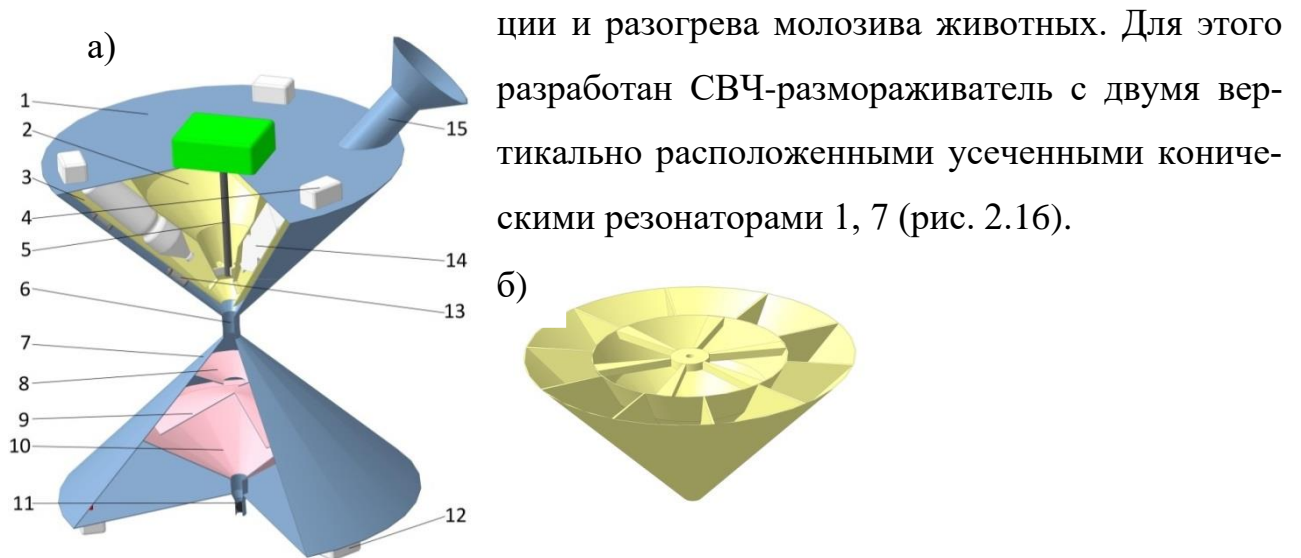


Рисунок 2.16 – СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия с коническими резонаторами с состыкованными вершинами для дефростации и разогрева молозива животных: а) общий вид установки в разрезе; б) диэлектрический контейнер с отсеками; 1 – верхний усечённый конический резонатор; 2, 3 – диэлектрический контейнер; 4, 12 – магнетроны; 5 – диэлектрический вал; 6 – цилиндрическая неферромагнитная муфта; 7 – нижний усечённый конический резонатор; 8 – диэлектрическая направляющая в виде усеченного конуса; 9 – диэлектрическая коническая направляющая; 10 – диэлектрический конический накопитель; 11 – шаровой кран; 13 – опорные ролики, 14 – замороженное сырье; 15 – запредельный волновод

Они состыкованы усеченными вершинами с помощью неферромагнитной цилиндрической муфты 6. На основаниях усеченных конических резонаторов 1, 7 по периметру со сдвигом на 120 градусов установлены магнетроны 4,

12 с воздушным охлаждением, излучатели от которых направлены в соответствующие резонаторы. Внутри верхнего усеченного конического резонатора 1 с соприкосновением на опорные ролики 13, соосно установлен диэлектрический контейнер 2 на диэлектрическом валу 5 от электродвигателя. Диэлектрический контейнер выполнен в виде соосно расположенных усеченных конусов без оснований, где кольцевое пространство разделено на отсеки 3. К внутренней поверхности нижнего усеченного конического резонатора 7 под цилиндрической неферромагнитной муфтой 6 прикреплена диэлектрическая направляющая 8 в виде усеченного конуса без оснований, вершиной вниз.

Под ним расположена диэлектрическая коническая направляющая 9 без основания, вершиной вверх. Под ней (9) к резонатору 7 прикреплен диэлектрический конический накопитель 10 с шаровым краном 11 на вершине. На основании верхнего усеченного конического резонатора предусмотрен заградительный волновод 15, наклоненный в соответствии с углом наклона отсеков 2. Конструктивные размеры усеченных конических резонаторов согласованы с длиной волны, а их вершины усечены диаметром не более четверти длины волны.

Обоснование конфигурации диэлектрической тары для замораживания молозива. Если представить замороженное молозиво в пластиковых бутылках в виде формы *вытянутого эллипсоида вращения*, и принять, что электрическое поле направлено вдоль его оси вращения, то напряженность электрического поля ($E_{вн}$) внутри эллипсоида можно определить по методике А. В. Нетушила [138, стр. 271]:

$$\dot{E}_{вн} = \frac{\dot{E}_0 \cdot \varepsilon'_2}{\varepsilon'_2 + (\tilde{\varepsilon}_1 - \varepsilon'_2) \cdot N}, \quad (2.74)$$

где E_0 – напряженность ЭП внутри резонатора, В/м; ε'_2 – диэлектрическая проницаемость сырья; $\tilde{\varepsilon}_1$ – изменение диэлектрической проницаемости; N – параметр, зависящий от размеров эллипсоида (a, b), см. 2.61.

Для вытянутого эллипсоида напряженность электрического поля внутри него может оказаться значительно выше, чем для сферы, и нагрев такого включения может происходить весьма интенсивно. Тепловое сопротивление уединенного эллипсоида R_m представляет собой обратную величину тепловой про-

водимости, которая рассчитывается аналогично емкости эллипсоида вращения.

Тепловое сопротивление для вытянутого эллипсоида:

$$R_m = \frac{1}{8 \cdot \pi \cdot \lambda_2 \cdot \alpha \cdot \gamma} \ln \left(\frac{1 + \gamma}{1 - \gamma} \right), \quad (2.75)$$

где a – большая полуось эллипсоида, γ – эксцентриситет эллипсоида, который

выражается уравнением
$$\gamma = \sqrt{1 - (b/a)^2}. \quad (2.76)$$

$$N_x = \left(1 - \sqrt{1 - (b/a)^2}\right)^2 \cdot \left(\operatorname{Arth} \left(\sqrt{1 - (b/a)^2} \right) - \sqrt{1 - (b/a)^2} \right) / \left(\sqrt{1 - (b/a)^2} \right)^3, \quad (2.77)$$

Тогда тепловое сопротивление:
$$R_m = \frac{\ln \left[\left(1 + \sqrt{1 - (b/a)^2}\right) / \left(1 - \sqrt{1 - (b/a)^2}\right) \right]}{8 \cdot \pi \cdot \lambda_2 \cdot \alpha \cdot \sqrt{1 - (b/a)^2}}. \quad (2.78)$$

Выделяемая мощность в сырье в форме эллипсоида (пластиковые бутылки) определяется по формуле:

$$P = \frac{8}{3} \cdot \pi^2 \cdot \alpha^3 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - (b/a)^2}\right)^2 \cdot E_{\text{вн}}^2 \cdot f \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \varepsilon_0. \quad (2.79)$$

Формула для повышения температуры эллипсоида относительно окружающей его среды:

$$\Delta T = \frac{P}{R_m} = \frac{E_0^2 \cdot \alpha^2 \cdot \omega \cdot \varepsilon_1'' \cdot \varepsilon_0 \cdot (1 - \gamma^2)}{6 \cdot \lambda_2 \cdot \gamma} \cdot \left[\ln \left(\frac{1 + \gamma}{1 - \gamma} \right) / \left| 1 + N \frac{(\tilde{\varepsilon}_1 - \varepsilon_2')}{\varepsilon_2'} \right|^2 \right]. \quad (2.80)$$

Если рассчитать повышение температуры эллипсоида вращения, объем которого равен объему сферы, то при эксцентриситете эллипса:

$$\gamma = 0,936, a = 200 \text{ мм}, b = 70 \text{ мм}, \text{ получаем для } \operatorname{tg} \delta = 0,4: \Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\text{а для } \operatorname{tg} \delta = 0,84, \Delta T = 12 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Изменение тангенса угла диэлектрических потерь замороженного молозива, жирностью 4,5-6,4 %, температурой от -15 до 0 $^\circ\text{C}$, описывается эмпирическим выражением $\operatorname{tg} \delta = 0,85 \cdot e^{0,082 \cdot T}$. Таким образом, изменение агрегатного состояния молозива приводит к значительному изменению его нагрева. Сравнение результатов расчета для сферы и для эллипсоида показывает, что простое растяжение сферы в направлении электрического поля в 2 раза может изменить температуру сырья более чем в 5 раз. Условием выделения максимальной мощности сырья в виде эллипсоида является максимум функции:

$$\varphi(\varepsilon_1', \varepsilon_1'') = \frac{\varepsilon_1''}{(\varepsilon_1'')^2 + \left[\varepsilon_2' \cdot \left(\frac{1}{N} - 1 \right) + \varepsilon_1' \right]^2}. \quad (2.81)$$

Максимальное значение функции $\varphi(\varepsilon_1', \varepsilon_1'')$ имеет место при следующем усло-

вии [138]:

$$\varepsilon_1'' = \left[\varepsilon_1' + \left(\frac{1}{N} - 1 \right) \cdot \varepsilon_2' \right]. \quad (2.82)$$

2.7 Исследование напряженности электрического поля в конденсаторной части тороидальных резонаторов (патент № 2753424)

Известно, что электродинамический анализ возможен, если объемные резонаторы имеют стандартные геометрические формы. Но для дефростации молозива животных нами предлагаются оригинальные резонаторы. Например, квазистационарные тороидальные резонаторы (рис. 2.17), резонаторы магнетронного типа (патент № 2732722). Их расчет можно производить только приближенными методами. В этих случаях объемный резонатор заменяется некоторым эквивалентным контуром, имеющим ту же собственную длину волны. В квазистационарном тороидальном резонаторе происходит пространственное разделение электрических и магнитных полей у колебания с наименьшей собственной частотой. Поэтому в первом приближении этот резонатор можно рассматривать как колебательный контур с сосредоточенными параметрами. В тороидальной части (индуктивном элементе контура) концентрируется энергия магнитного поля, а в конденсаторной части (емкостном элементе контура) резонатора – энергия электрического поля. Магнитное поле описывается силовыми линиями в виде концентрических окружностей, заполняющих объем тороида. Величину емкости можно определить как емкость плоского конденсатора: $C = \varepsilon_o \cdot \pi \cdot r_o^2 / d$, (2.83) где r_o – радиус основания, м; d – расстояние между основаниями, м.

Собственную длину волны в тороидальном резонаторе можно определить

по известной формуле:

$$\lambda_o = \pi \cdot r_o \cdot \sqrt{\frac{2}{d} \cdot \int_s \frac{ds}{r}}, \quad (2.84)$$

где S – площадь поверхности квазистационарного тороидального резонатора, м^2 ; r – изменение по радиусу, м .

Из формулы видно, что увеличение радиуса основания, уменьшение зазора между основаниями и увеличение площади сечения тороида приводит к росту собственной длины волны. Для тороида с прямоугольным сечением собственная частота определяется по формуле [218]:

$$\omega_o = \sqrt{\frac{2d}{\varepsilon_o \cdot \mu_o \cdot r_o^2 \cdot d_1 \cdot \ln(r_1 / r_2)}}, \quad (2.85)$$

где $\mu_o = \frac{10^{-9}}{36 \cdot \pi} \text{Гн/м}$ – магнитная проницаемость вакуума; $\varepsilon_o = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{Ф/м}$ – диэлектрическая проницаемость вакуума; r_o, r_1, r_2 – соответственно радиусы, м ; d_1, d – расстояние между основаниями, м .

Разработана СВЧ установка с двумя резонаторами для размораживания и разогрева молозива воздействием ЭМП СВЧ разной дозой, при отрицательном и положительном диапазоне температур (рис. 2.17).

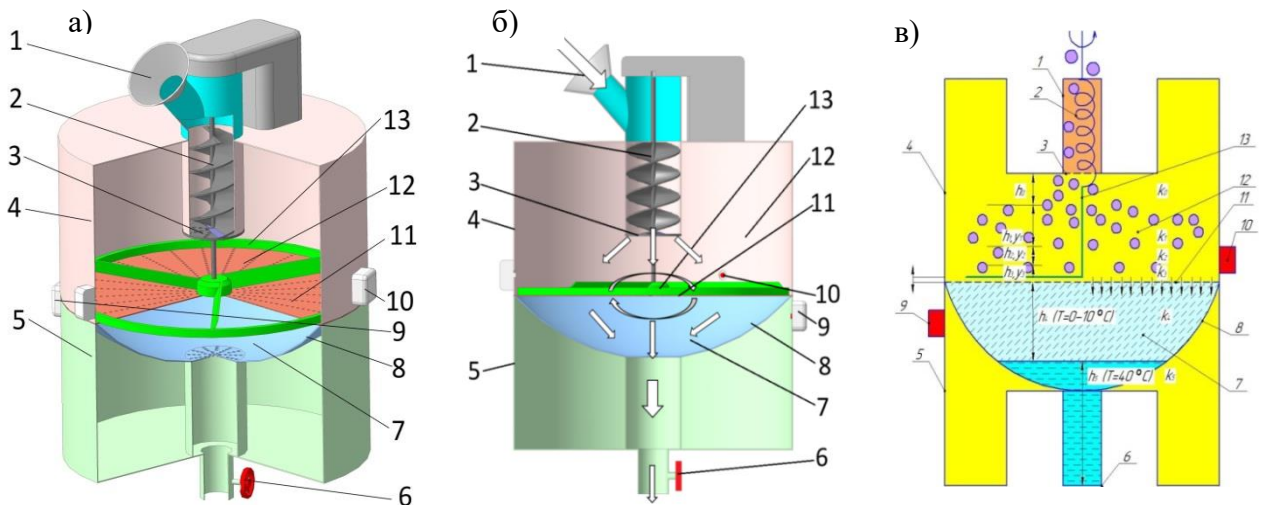


Рисунок 2.17 – СВЧ установка с тороидальными резонаторами: а) общий вид; б) схематическое изображение; в) схема процесса; 1 – загрузочное устройство, 2 – нагнетательный шнек, 3 – нож с решеткой; 4 – верхний резонатор; 5 – нижний резонатор; 6 – шаровый кран; 7 – конденсаторная часть нижнего резонатора; 8 – диэлектрическая тарелка без дна; 9 – магнетроны на нижнем резонаторе; 10 – магнетроны на верхнем резонаторе; 11 – общее перфорированное основание резонаторов; 12 – конденсаторная часть верхнего резонатора; 13 – диэлектрический перемешивающий механизм

Как уже было отмечено, причина разделения процессов заключается в том, что характер изменения фактора диэлектрических потерь молозива в замороженном и жидком состоянии с увеличением температуры нагрева противополо-

ложный: один резонатор – для дефростации от $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до 0 , другой резонатор – для разогрева до $39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Резонаторы должны разделять замороженное сырье от жидкого молозива при температуре, равной температуре фазового превращения. Рассмотрим процессы дефростации и разогрева молозива животных в квазистационарных тороидальных резонаторах. СВЧ-размораживатель содержит два вертикально установленных, состыкованных с общим перфорированным основанием, квазистационарных тороидальных резонатора, верхний и нижний. Над перфорированным основанием установлен диэлектрический перемешивающий механизм с диэлектрическим валом, пристыкованным к валу шнека. В центральную часть верхнего резонатора установлен нагнетательный шнек измельчающего механизма. В конденсаторную часть нижнего квазистационарного тороидального резонатора установлена диэлектрическая тарелка без дна. Магнетроны с воздушным охлаждением со сдвигом на 120 градусов установлены на поверхностях резонаторов в области их конденсаторных частей. Под воздействием ЭМП СВЧ жидкое сырье разогревается и стекает через перфорированное основание нижнего резонатора 5. В конденсаторных частях обоих резонаторов возбуждается электрическое поле высокой напряженности, достаточное для снижения бактериальной обсемененности продукта. В конденсаторную часть нижнего квазистационарного тороидального резонатора установлена диэлектрическая тарелка без дна. Магнетроны с воздушным охлаждением со сдвигом на 120 градусов установлены на поверхностях резонаторов в области их конденсаторных частей. Под воздействием ЭМП СВЧ жидкое сырье разогревается и стекает через перфорированное основание нижнего резонатора 5. В конденсаторных частях обоих резонаторов возбуждается электрическое поле высокой напряженности,

Под воздействием ЭМП СВЧ замороженное сырье в первом квазистационарном тороидальном резонаторе переходит из твердого состояния в жидкое. Расчет квазистационарных тороидальных резонаторов проводили приближенно и с помощью программы CST Studio 2017. Емкость конденсаторной части резонаторов определяли по формулам:

$$C_1 = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_i \cdot \frac{\pi \cdot (D)^2}{h_1}, \quad C_2 = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_i \cdot \frac{(D)^2}{h_2}. \quad (2.86)$$

Индуктивность, образованная стенками резонатора

$$L_1 = \frac{\mu_o \cdot l}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{D}{d}, \quad L_2 = \frac{\mu_o \cdot l}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{D}{d}, \quad (2.87)$$

где D – диаметр основания резонатора; d – малое основания конденсатора;

l – высота тороидальной части резонатора; h – зазор между основаниями;

r – активное сопротивление резонатора; μ – магнитная проницаемость.

Собственная добротность резонатора [82]:

$$Q_1 = \sqrt{L_1 / C_1} / r, \quad Q_2 = \sqrt{L_2 / C_2} / r_2. \quad (2.88)$$

При резонансе средняя энергия электрического поля: $C \cdot V^2 / 4$ равняется средней энергии магнитного поля $L \cdot I^2 / 4$; резонансная частота определяется реактивными параметрами контура L (индуктивностью, Гн) и C (емкостью, Ф):

$$f = 1 / 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}.$$

Если в объемный резонатор направить три излучателя от магнетронов, то необходимо учитывать, что к эквивалентной цепи резонатора подводится энергия на частоте резонанса от трех источников электромагнитного поля, и в контуре будет происходить накопление энергии. Но энергия в контуре будет уменьшаться из-за потерь. Потери в резонансном контуре моделируется в виде проводимости G . Объемные резонаторы также можно представить в виде эквивалентной схемы на сосредоточенных элементах, но при этом необходимо учесть, что L и C зависят от типа колебаний волн. Когда подключен энергетический источник к резонатору, энергия возрастает от нуля до конечной величины W_o по следующей закономерности: $W(\tau) = W_o \cdot (1 - e^{-j \cdot \delta \cdot \tau})$, (2.89)

где $\delta = 2 \cdot \pi \cdot f / 2 \cdot Q$ – декремент затухания, характеризующий скорость затухания энергии в резонаторе.

Для параллельной резонансной цепи на резонансной частоте добротность зависит от мощности потерь $P = C \cdot V^2 / 2$ и определяется по формуле:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot f / P_1 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C / G = 1 / G \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L. \quad (2.90)$$

На резонансной частоте ток протекает через проводимость G и потери в

резонаторе имеют максимальное значение (рис. 2.18).

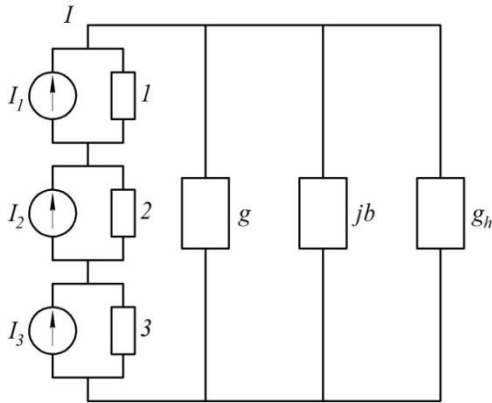


Рисунок 2.18 – Эквивалентная цепь резонатора с тремя магнетронами: 1, 2, 3 – комплексные проводимости, См

Собственную добротность резонатора можно определить и по формуле: $Q = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L / R$.

Объемный резонатор представляет собой колебательную систему, геометрические размеры которой во всех измерениях могут быть соизмеримы с длиной волны или превосходить ее. Рассмотреть объемный резонатор простой геометрической формы как колебательный контур можно при решении практических задач. Любая сложная конфигурация объемного резонатора увеличивает эквивалентную индуктивность и активное сопротивление, а это, в свою очередь, ведет к понижению резонансной частоты и уменьшению собственной добротности резонатора. Чем сложнее форма поперечного сечения резонатора при равных внутренних объемах, тем ниже его резонансная частота и собственная добротность. В объемном резонаторе формируется стоячая волна, являющаяся результатом многократных отражений волн от стенок резонатора. Полые резонаторы характеризуются произвольным количеством резонансных частот, определяемых волновыми размерами резонатора. Порядок величины собственной добротности можно определить из соотношения:

$$Q = 2 \cdot V / \left(\sqrt{1 / \pi \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu_0 \cdot \mu_c} \right) \cdot \mu_c \cdot S, \quad (2.91)$$

где σ – удельная проводимость стенок резонатора; $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная проницаемость воздуха; μ_c – относительная магнитная проницаемость стенок.

Мощность излучения от нескольких генераторов в одном резонаторе определяется по методике Баскакова С. И. [59]: $P_{\Sigma} = \frac{1}{120 \cdot \pi} \int_S \frac{E_m^2}{2} dS$, (2.92)

где E_m – амплитудное значение результирующей напряженности ЭП.

Результирующее значение напряженности ЭП по принципу суперпозиции равно векторной сумме напряженностей всех электрических полей:

$$\vec{E}_m = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3, \quad (2.93)$$

где $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3$, – векторы напряженностей электрических полей.

Амплитудное значение напряженности электрического поля зависит от меридионального угла и определяется по формуле:

$$E_m(\theta) = \frac{60 \cdot I_{mA}}{r \cdot \sin k \cdot l} \cdot \frac{\cos(k \cdot l \cos \theta) - \cos(k \cdot l)}{\sin \theta}, \quad (2.94)$$

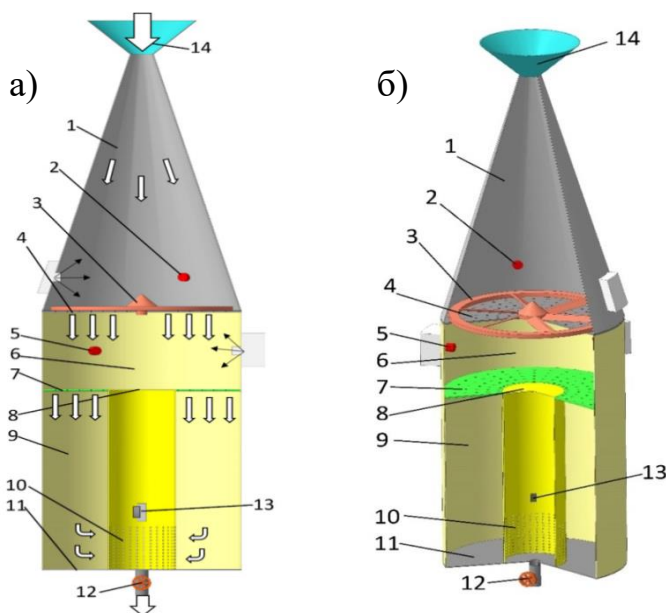
где I_{mA} – амплитуда тока в пучности; l – длина излучателя; составляющая поле на расстоянии r ; $k = 2\pi/\lambda$; λ – длина волны.

Подставляя последнее выражение в предыдущее, получаем:

$$P_\Sigma = \frac{15 \cdot I_{mI}^2}{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \left[\frac{\cos(k \cdot l \cos \theta) - \cos(k \cdot l)}{\sin \theta} \right]^2 \sin \theta \cdot d\varphi \cdot d\theta. \quad (2.95)$$

2.8 Исследование электродинамических параметров СВЧ-размораживателя с состыкованными коническим и тороидальным резонаторами (патент № 2752938)

Установка (рис. 2.19) содержит усеченный конический резонатор 1 над



тороидальным резонатором 6, 9 с общим перфорированным неферромагнитным основанием 4. Магнетроны 2, 5 расположены со сдвигом на 60 градусов по периметру на наружных поверхностях каждого резонатора так, что излучатели направлены с чередованием по обе стороны перфорированного неферромагнитного основания 4.

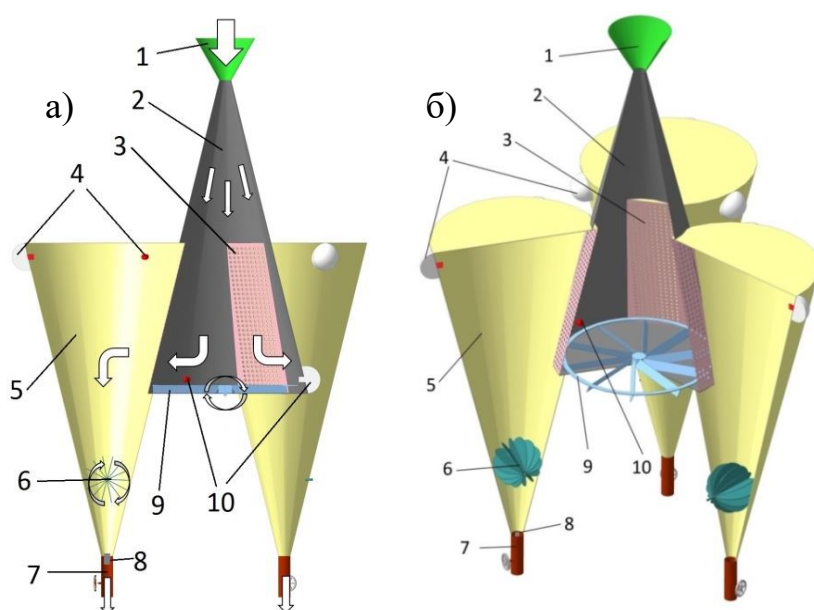
Рисунок 2.19 – СВЧ установка для размораживания и разогрева коровьего молока: а) схема технологического процесса; б) общий вид в разрезе; 1 – приемная емкость; 2 – магнетроны на коническом резонаторе; 3 – диэлектрический перемешивающий; 4 – перфорированное основание конического резонатора; 5 – магнетроны на поверхности конденсаторной части; 6 – конденсаторная часть тороидального резонатора; 7 – диэлектрическое перфорированное основание; 8 – неферромагнитное основание внутреннего цилиндра; 9 – кольцевая часть тороидального резонатора; 10 – перфорированная нижняя часть боковой стенки внутреннего цилиндра; 11 – неферромагнитное основание; 12 – шаровой кран; 13 – датчик температуры; 14 – приемная емкость

Над основанием установлен перемешивающий диэлектрический механизм 3 с электроприводом. Тороидальный резонатор представлен конденсаторной частью 6, отделенной перфорированным диэлектрическим кольцевым основанием 7 от кольцевой части 9 резонатора, средним периметром, кратным половине длины волны. Кольцевой резонатор представлен в виде соосно расположенных ферромагнитных цилиндров – наружного и внутреннего. Нижнее ферромагнитное основание 11 наружного цилиндра закрывает и нижнее основание внутреннего цилиндра. Верхнее основание 8 внутреннего цилиндра выполнено из ферромагнитного материала. Его нижняя часть боковой поверхности 10 перфорирована. Внутри внутреннего цилиндра установлен датчик температуры 13, а на нижнем основании – шаровой кран 12. К усеченной вершине конического резонатора 1, на уровне диаметра, равном четверти длины волны, присоединена приемная емкость 14 с заслонкой. Использование изобретения позволит ускорить процессы размораживания и разогрева коровьего молозива.

2.9 Исследование электродинамических параметров СВЧ-размораживателя с коническими резонаторами (патент № 2752941)

Установка содержит вертикально расположенные конические резонаторы 5 (рис. 2.20). Основной резонатор установлен с усеченной вершиной, направленной вверх. Основной резонатор 2 углублен секторами боковой поверхности со сдвигом на 120 градусов в остальные дополнительные резонаторы, чьи вершины направлены вниз. У основного резонатора 2 части секторов боковой поверхности 4, углубленные в дополнительные резонаторы 5, перфорированы в области нижнего основания. По периметрам оснований всех резонаторов 2 и 5 со сдвигом на 120 градусов установлены магнетроны 4 и 10 с воздушным охлаждением. Над основанием основного резонатора расположен диэлектрический перемешивающий механизм с электроприводом 9. В дополнительных резонаторах в области вершин с шаро-

выми кранами 7 и датчиками температуры 8 установлены также диэлектрические перемешивающие устройства 6 с электроприводами. На усеченной вершине основного резонатора 2 установлена приемная емкость 1 с заслонкой. Высоты всех резонаторов и периметры их оснований кратны половине длины волны. Использование изобретения позволит разделить процессы размораживания и разогрева молозива животных. При этом критическое сечение располагается на значительном расстоянии от вершины резонатора 2, что позволяет создавать отверстия для введения сырья, практически не нарушая в



нем структуру электромагнитного поля. Отверстие на уровне критического сечения конического резонатора 2 позволяет загружать куски замороженного сырья с соблюдением электромагнитной безопасности, т.е. при обеспечении радиогерметичности установки.

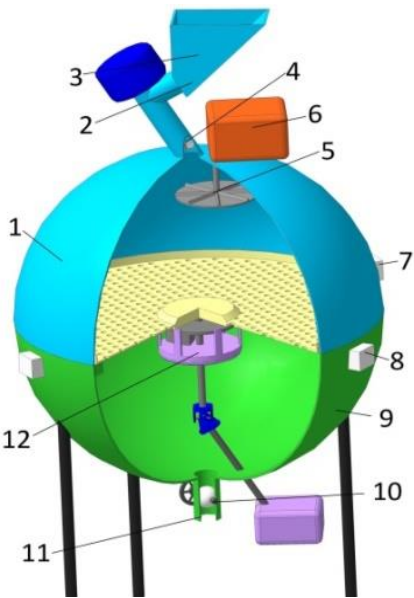
Рисунок 2.20 – СВЧ-размораживатель с коническими резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных: а) схема технологического процесса; б) общий вид в разрезе; 1 – приемная емкость; 2 – основной конический резонатор с перфорированными частями 3 боковой поверхности; 4 – магнетроны по периметрам оснований дополнительных конических резонаторов 5; 6 – диэлектрические перемешивающие устройства с электроприводами; 7 – шаровые краны с электроприводами; 8 – датчики температуры; 9 – диэлектрический перемешивающий механизм с электроприводом; 10 – магнетроны по периметру основания основного конического резонатора

2.10 Исследование электродинамических параметров СВЧ-размораживателя с состыкованными полусферическими резонаторами (патент 2779598)

Известно, что сферический резонатор является наилучшим по добротности полым резонатором, так как обеспечивает максимальное отношение объема к площади поверхности. В СВЧ технике сферические резонаторы не нашли широкого применения из-за трудности в изготовлении, так и своеобразной геомет-

рии получающихся в них полей. В таком резонаторе возможно возбуждение колебаний $E(TM)$ типа (радиальная составляющая $H_z = 0$) и $H(TE)$ типа (радиальная составляющая $E_z = 0$). Электрические силовые линии простейших видов колебаний в таком резонаторе лежат в меридиональных плоскостях.

Расчет собственных длин волн и добротности сферического резонатора радиусом R (м) для простейших видов колебаний E_{011} и H_{011} можно по следующим формулам: 1) если E_{011} , то собственная добротность $Q = 12900 \cdot \sqrt{R}$;



2) если H_{011} , то собственная добротность $Q = 22500 \cdot \sqrt{R}$; Например, при радиусе сферы 0,306 м, собственная добротность равна 7135 (E_{011}) и 12446 (H_{011}). Разработанная СВЧ установка (рис. 2.21) непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных содержит полусферические резонаторы 1, 9 с общим перфорированным вибрирующим основанием 6 в горизонтальной плоскости.

Рисунок 2.21 – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных:

1 – верхний полусферический резонатор; 2 – измельчитель с загрузочной емкостью 3 и шнеком 4; 5 – диэлектрический диск; 6 – перфорированное основание из неферромагнитного материала; 7 – магнетроны с волноводами на верхнем полусферическом резонаторе; 8 – магнетроны с волноводами на нижнем полусферическом резонаторе; 9 – нижний полусферический резонатор; 10 – шаровой кран; 11 – запердельный волновод; 12 – вибратор диэлектрический

Внутри верхнего резонатора 1 под измельчающим механизмом 2, 4, состыкованным с резонатором и расположенным с наружной стороны, установлен высокоскоростной диэлектрический диск 5 с радиально расположенными острыми ребрами. Под перфорированным основанием расположен вибратор 12. Внизу нижнего полусферического резонатора 9 установлен запердельный волновод 11 с шаровым краном 10. Магнетроны 7, 8 с волноводом расположены по периметрам обоих резонаторов 1, 9 со сдвигом на 120 градусов. Загрузочная емкость 3 пристыкована с измельчающему механизму 2, 4.

Для технических расчетов средний диаметр замороженных частиц молозива при разбрасывании с помощью высокоскоростного диска, можно определить по формуле С. И. Шапиро [78, стр. 207]: $\delta_{cp} = 98,5 \cdot (1/n) \sqrt{\sigma_{жс} / (R_d \cdot \gamma_{жс})}$, или по формуле Фрасера:

$$\delta_{cp} = 0,55 \cdot (G \cdot v_{жс} / D_d)^{0,2} \cdot (1/n)^{0,6} \cdot (1/\rho_{жс})^{0,3} (\sigma_{жс} / \Pi)^{0,1}, \text{ м}, \quad (2.96)$$

где G – расход жидкости, м³/ч (0,1); $v_{жс}$ – коэффициент кинематической вязкости, м²/с ($9 \cdot 10^{-5}$); n – частота вращения диска, об/с (1500-2000); D_d – диаметр диска, м; Π – смоченный периметр диска, м; $\rho_{жс}$ – плотность замороженных частиц, кг/м³ (980 кг/м³); $\rho_{ж}$ – удельный вес, Н/м³.

$$\delta_{cp} = 98,5 \cdot (1/n) \cdot \sqrt{\sigma_{жс} / (R_d \cdot \rho_{жс})} = 98,5 \cdot (1/1500) \cdot \sqrt{75 \cdot 10^{-3} / 0,2 \cdot 9800} = 2,5 \text{ мм}.$$

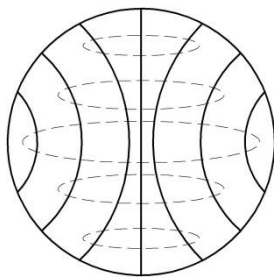
Для того, чтобы температура молозива не превышала критического значения, необходимо правильно установить допустимую напряженность ЭП. Рабочую напряженность электрического поля (E) можно определить, приравняв тепловыделение количеству отводимого тепла, при заданной температуре поверхности сырья:

$$P \cdot tg\delta = (E \cdot h)^2 \cdot \omega \cdot C \cdot tg\delta = \sigma \cdot S \cdot (t_{раб} - t_o), \quad (2.97)$$

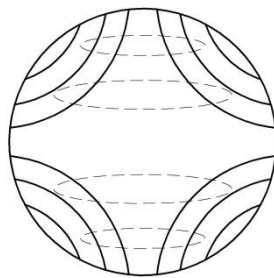
где P – мощность, Вт; $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – угловая частота; C – емкость, Ф; $tg\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь при рабочей температуре; σ – коэффициент теплоотдачи, Вт/см²·°С; S – поверхность сырья, см²; $t_{раб}$, t_o – температуры поверхности сырья и окружающей среды, °С; h – толщина сырья, см.

Формула позволяет рассчитать напряженность электрического поля с известной электрической емкостью и теплопроводностью сырья. Или определить необходимую мощность для тепловой обработки через площадь поверхности

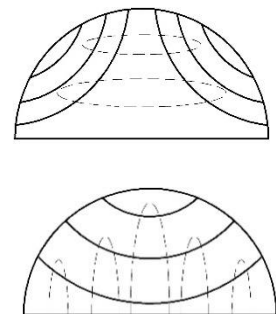
сырья и коэффициента теплоотдачи: $P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot (E \cdot h)^2 = \frac{\sigma \cdot S \cdot (t_{раб} - t_o)}{tg\delta}$. (2.98)



а) мода E_{011}



б) мода E_{012} ,



в) мода E_{011}

Рисунок 2.22 – Структура электрического поля а, б) в сфере; в) в полусфере мода E_{011} , мода E_{012}

Электродинамические параметры полусферического резонатора приведены на рис. 2.23.

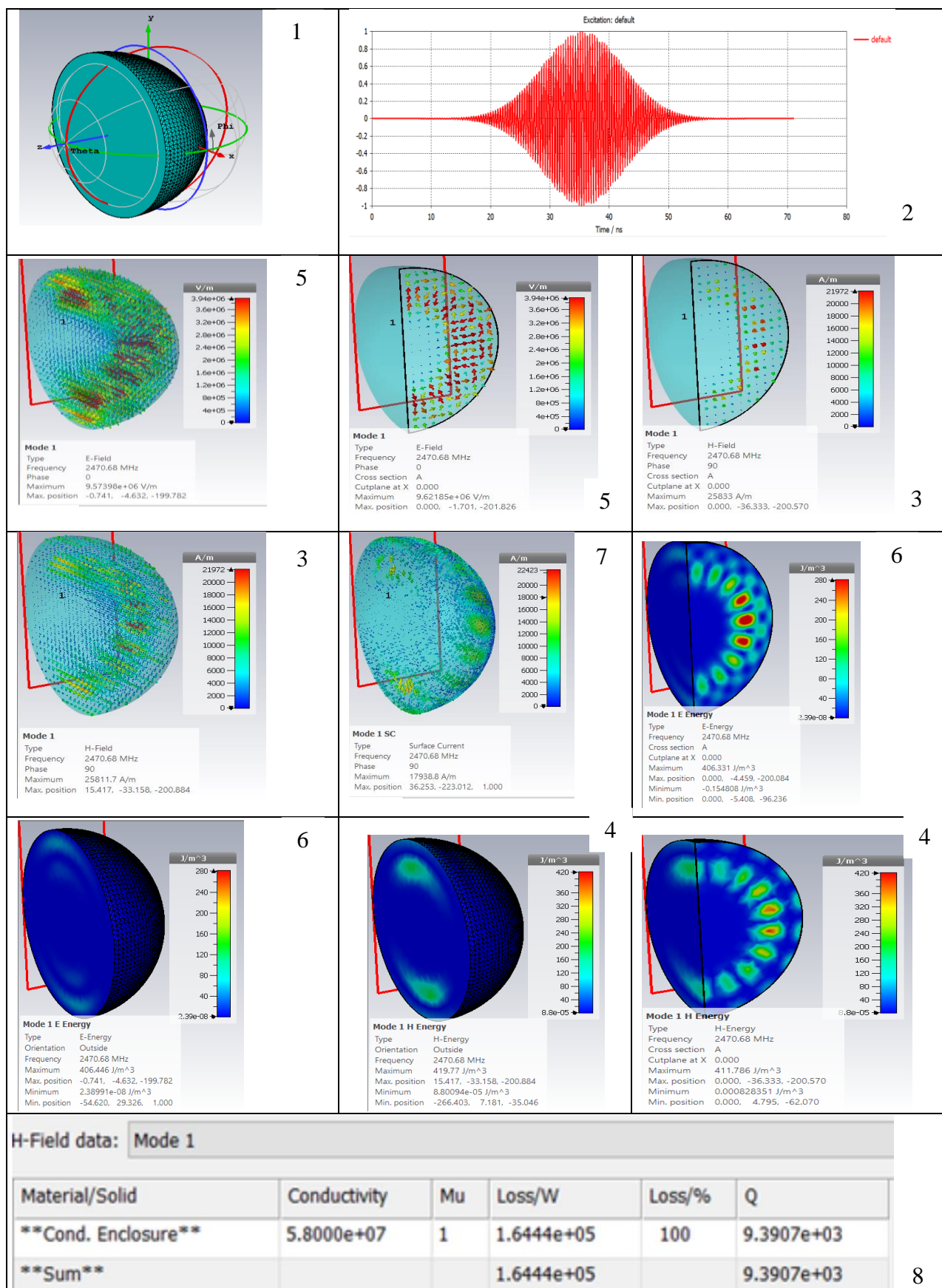


Рисунок 2.23 – Электродинамические параметры полусферического резонатора: 1) распределение ЭМП по осям x, y, z; 2) колебания сигнала возбуждения, нс; 3) распределение напряженности магнитного поля, А/м; 4) энергия излучения магнитной составляющей поля, Вт/м³; 5) распределение напряженности электрического поля, В/м; 6) энергия излучения электрической составляющей поля, Вт/м³; 7) поверхностные токи, А/м; 8) собственная добротность резонатора

2.11 Исследование параметров СВЧ-размораживателя со сдвоенными коаксиальными резонаторами (патент № 2777113)

СВЧ-размораживатель (рис. 2.24) со сдвоенными коаксиальными резонаторами для дефростации и разогрева молочива животных в горизонтальной плоскости содержит состыкованные с общим основанием 3 верхний 2 и нижний 1 коаксиальные резонаторы. В кольцевых пространствах обоих резонаторов имеются поярусно расположенные диэлектрические кольцевые перегородки 5, на которых фиксированы толстостенные молокопроводы 6, диаметром две глубины проникновения волны, свернутые в кольцо, продолжения которых через диэлектрическую кольцевую перегородку 5 проходят на последующие ярусы.

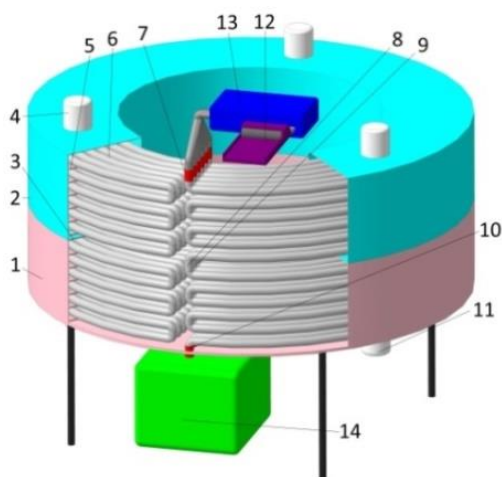


Рисунок 2.24 – СВЧ-размораживатель со сдвоенными коаксиальными резонаторами: 1 – нижний кольцевой резонатор; 2 – верхний кольцевой резонатор; 3 – общее основание резонаторов; 4 – магнетроны на верхнем резонаторе; 5 – диэлектрические кольцевые перегородки; 6 – молокопровод; 7 – запердельный волновод на верхнем резонаторе; 8 – неферромагнитная сетка; 9 – диэлектрическая втулка; 10 – запердельный волновод на нижнем резонаторе; 11 – магнетроны на нижнем резонаторе; 12 – измельчитель; 13 – насос для вязкой жидкости; 14 – емкость для приема продукта

Продолжение молокопроводов с перегородки последнего яруса верхнего резонатора пропущено через диэлектрические втулки 9, установленные в общее основание 3 резонаторов 1,2, и на этом уровне в молокопроводах имеются неферромагнитные сетки 8. А продолжения молокопроводов с перегородки последнего яруса нижнего коаксиального резонатора проходят через запердельные волноводы 10, пристыкованные к основанию нижнего резонатора, и попадают в приемную емкость 14. На монтажном каркасе есть измельчитель 12 с насосом 13, соединенным через общий молокопровод с молокопроводами и расположенными в запердельных волноводах 7 верхнего резонатора 2. Электродинамические параметры коаксиального резонатора приведены на рис. 2.25.

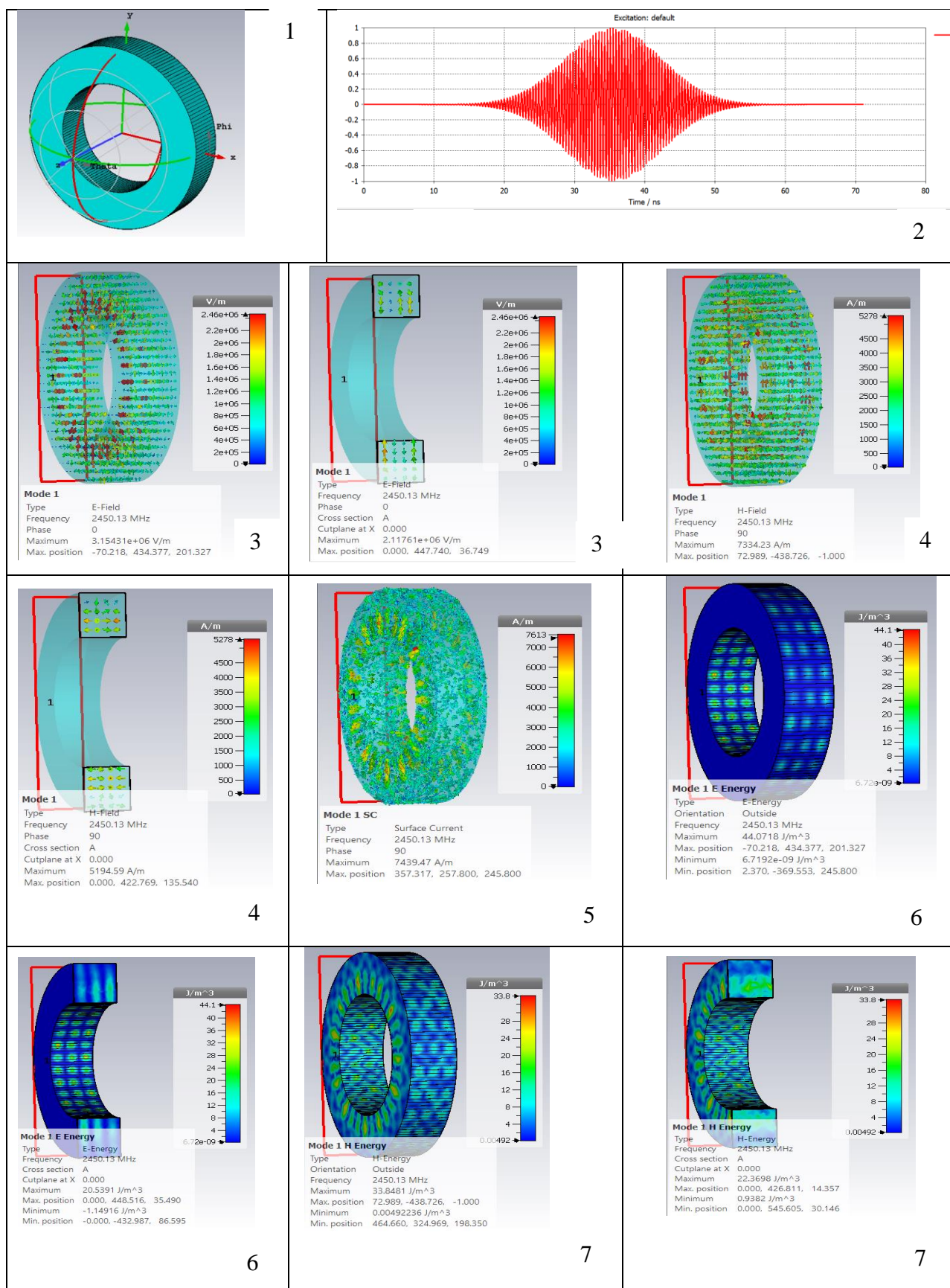
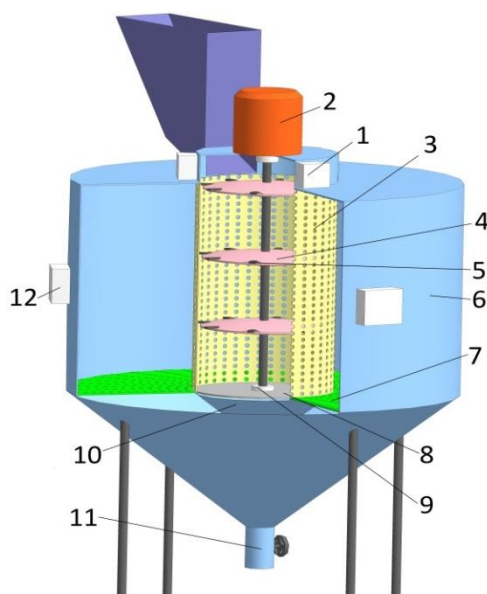


Рисунок 2.25 – Электродинамические параметры полусферического резонатора: 1) распределение ЭМП по осям x, y, z ; 2) колебания сигнала возбуждения, нс; 3) распределение напряженности магнитного поля, А/м; 3) распределение напряженности электрического поля, В/м; 4) распределение напряженности магнитного поля, А/м; 5) поверхностные токи, А/м; 6) энергия излучения электрической составляющей поля, Вт/м³; 7) энергия излучения магнитной составляющей поля, Вт/м³

2.12 Исследование параметров СВЧ-размораживателя с соосно состыкованными цилиндрическим и коаксиальным резонаторами (патент 2780835)

СВЧ-размораживатель (рис. 2.26) содержит соосно расположенные в коаксиальном неферромагнитном резонаторе 6 перфорированный неферромагнитный цилиндрический резонатор 3 и молотковую дробилку 4, 5, 9. Молотковая дробилка представлена из поярусно расположенных двояковыпуклых керамических дисков 4 на диэлектрическом валу 9, и диэлектрическими молотками 5, закрепленными шарнирно. Нижнее кольцевое основание 7 коаксиального резонатора 6 перфорировано (рис. 2.27), а под ним установлена неферромагнитная коническая приемная емкость 10 с шаровым краном 11, а неферромагнитная загрузочная емкость 13 с заслонкой пристыкована к верхнему основанию резонатора 3.

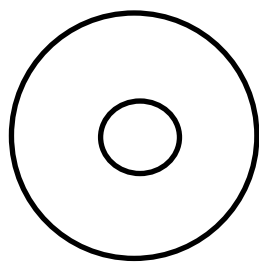


Магнетроны 1, 12 воздушного охлаждения прикреплены через волноводы к боковым поверхностям обоих резонаторов 3, 6 со сдвигом на 120 градусов. Диаметр цилиндрического резонатора 3 и средний периметр коаксиального резонатора 6 кратны половине длины волны. Электродинамические параметры приведены на рис. 2.28, 2.29.

Рисунок 2.26 – СВЧ-размораживатель с соосно состыкованными цилиндрическим и коаксиальным резонаторами: 1 – магнетроны на поверхности цилиндрического резонатора; 2 – электропривод молотковой дробилки; 3 – перфорированный цилиндрический резонатор; 4 – двояковыпуклые керамические диски; 5 – диэлектрические молотки; 6 – коаксиальный резонатор; 7 – перфорированное основание резонатора; 9 – диэлектрический вал; 10 – коническая приемная емкость; 11 – шаровой кран; 12 – магнетроны на поверхности коаксиального резонатора; 13 – загрузочная емкость с заслонкой

Резонансную частоту вычислим по методике Баскакова С. И. [59]

В коаксиальном резонаторе кольцевая полость (рис. 2.27) имеет размеры: диаметры $D = 779,62$ мм, $d = 306$ мм ($5 \cdot \lambda/2$), высота $h = 366$ мм ($6 \cdot \lambda/2$), средний периметр кольцевого пространства $l = 2\pi R = 2448$ мм ($40 \cdot \lambda/2$).



Определим, какой тип колебаний в резонаторе является основным, вычислим резонансную частоту.

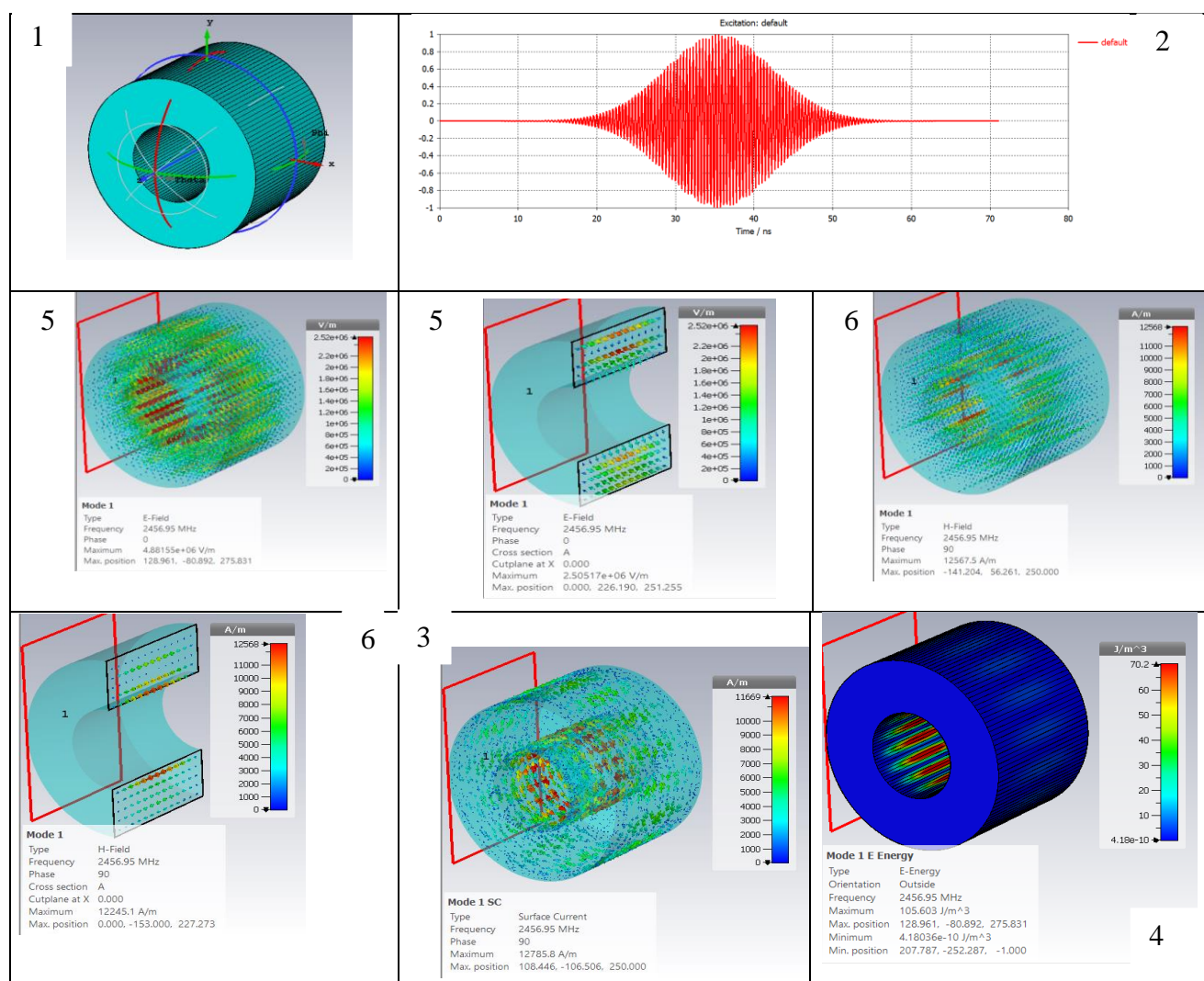
Рисунок 2.27 – Кольцевая полость коаксиального резонатора

В коаксиальном резонаторе низшими типами являются колебания, имеющие наиболее простую структуру поля, это колебания типа E_{010} . Для этих видов колебаний резонансную частоту можно определить по известной формуле, если отношение диаметров примерно равно двум, то можно корень уравнения

$$\text{будет } 3,123: \omega_p = \frac{2 \cdot 3,123}{d \cdot \sqrt{\epsilon_o \cdot \mu_o}} = \frac{6,246}{0,306 \cdot \sqrt{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1,256 \cdot 10^{-6}}} = \frac{6,246}{1,02 \cdot 10^{-9}} = 6,12 \cdot 10^9 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$f = \frac{\omega_p}{2 \cdot \pi} = \frac{6,12 \cdot 10^9}{6,28} = 974 \cdot 10^6 \text{ Гц.} \quad (2.99)$$

Таким образом, в коаксиальном резонаторе резонансная частота равна 974 МГц.



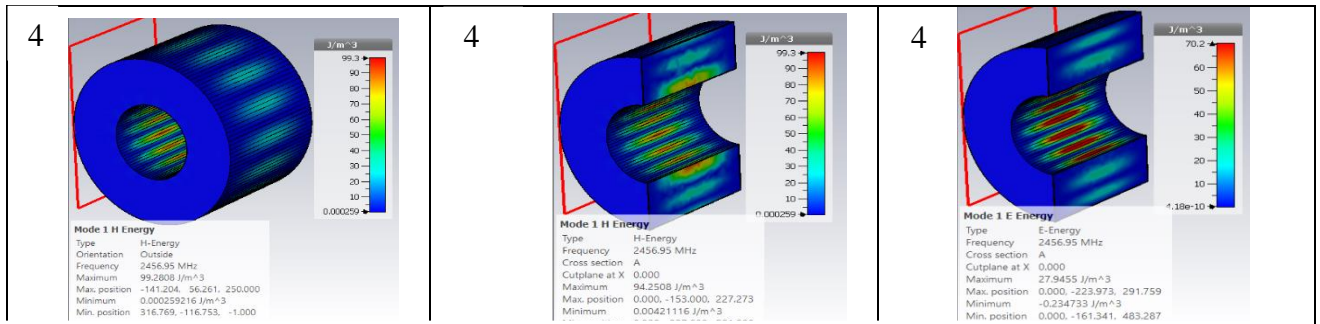


Рисунок 2.28 – Электродинамические параметры коаксиального резонатора: 1) распределение ЭМП по осям x, y, z ; 2) колебания сигнала возбуждения, нс; 3) распределение напряженности магнитного поля, А/м; 4) распределение плотности тока, A/m^3 ; 5) распределение напряженности электрического поля, В/м; 6) распределение напряженности магнитного поля, А/м

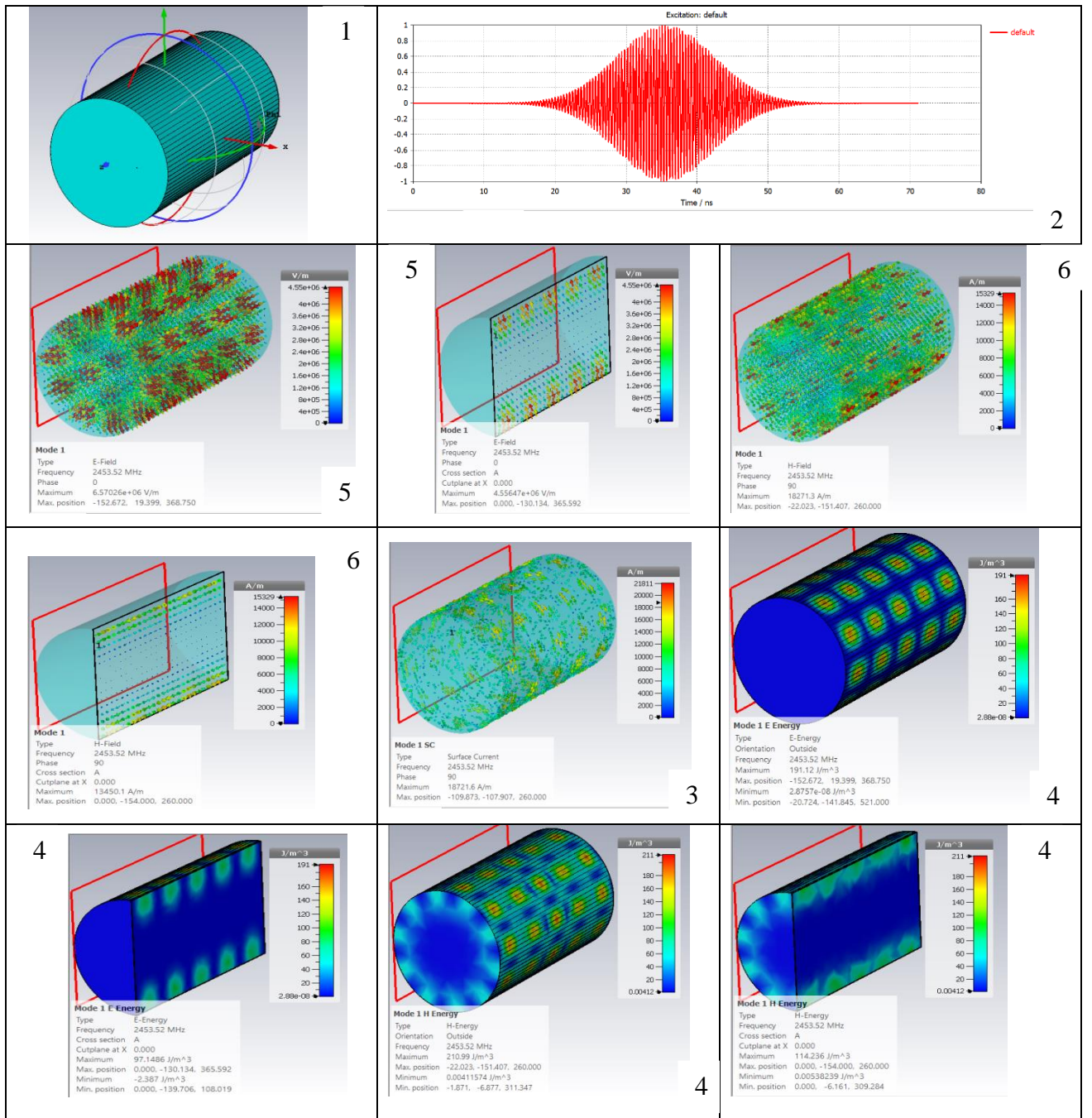
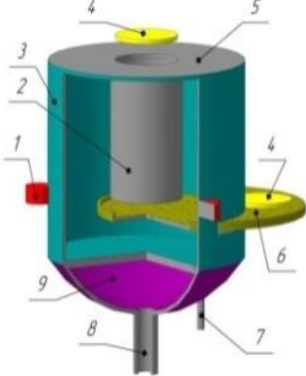
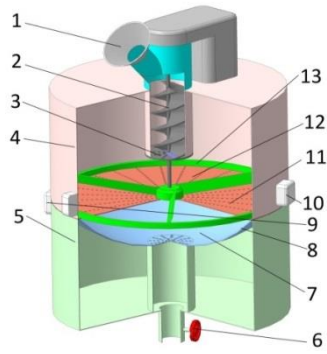
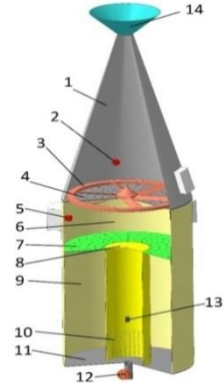
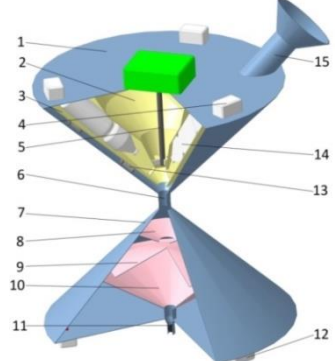
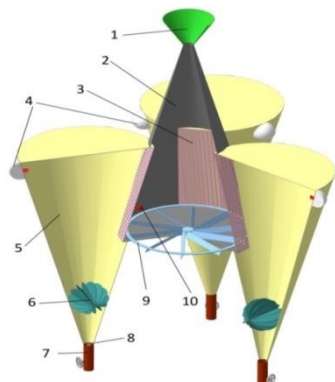
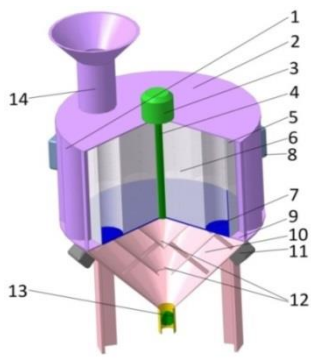


Рисунок 2.29 – Электродинамические параметры цилиндрического резонатора: 1) распределение ЭМП по осям x, y, z ; 2) колебания сигнала возбуждения, нс; 3) распределение напряженности магнитного поля, А/м; 4) распределение плотности тока, A/m^3 ; 5) распределение напряженности электрического поля, В/м; 6) распределение напряженности магнитного поля, А/м

Цилиндрический резонатор следует выполнить длиной, кратной половине длины волны. Собственную резонансную длину волны колебаний типа E_{mnp} в цилиндрическом резонаторе, радиусом R , можно определить приблизительно по формуле $\lambda = 2,61 R$.

Ниже систематизированы разработанные СВЧ-размораживатели с разными конструктивными исполнениям резонаторов и проанализированы основные электродинамические параметры системы «генератор-резонатор» (рис. 2.30).

СВЧ-размораживатели для дефростации и разогрева молочива животных с результатами исследования электродинамических параметров	
<p>Патент № 2694944</p> <p>1. <i>Тороидальный резонатор для освобожденного от пластиковых бутылок замороженного сыра</i></p>	 <p>Патент №2753424</p> <p>2. <i>Состыкованные тороидальные резонаторы для измельченного замороженного сыра</i></p> 
<p>Патент № 2752938</p> <p>3. <i>Состыкованные конические и тороидальные резонаторы для сыра, замороженного в виде брикетов</i></p>	<p>Патент № 2775137</p> <p>4. <i>Состыкованные конические резонаторы</i></p>  
<p>Патент № 2752941</p> <p>5. <i>Состыкованные четыре конических резонатора</i></p>	<p>Патент № 2762645</p> <p>6. <i>Цилиндрический металлодиэлектрический резонатор, состыкованный с коническим резонатором</i></p>  

<p>Патент № 2761810 7. Коаксиальный резонатор, состыкованный с коническим резонатором</p>	<p>Патент № 2777113 8. Сдвоенный кольцевой резонатор</p>
<p>Патент 2779598 9. Состыкованные полусферические резонаторы</p>	<p>Патент 2780835 10. Состыкованные коаксиальный и цилиндрический резонаторы</p>
<p>Заявка № 2022120392, положительное решение от 02.05.2023 г. 10. Торoidalный резонатор</p>	<p>Заявка № 2023109489 11. Соосно расположенные торoidalный и цилиндрический резонаторы</p>

Рисунок 2.30 – Сводная таблица СВЧ установок с разными конфигурациями резонаторов

2.13 Результаты исследования электродинамических параметров резонаторов других конфигураций, предназначенных для дефростации и разогрева молозива животных

2.13.1 Моделирование трехмерных структур ЭМП в коаксиальном резонаторе с коническим основанием по программе CST Studio Suite

Система моделирования сверхвысокочастотных трехмерных структур позволяет моделировать объемный резонатор, и анализировать электромагнитное поле во времени и в зависимости от частоты [42]. Сервер подходит для мо-

делирования большинство задач, связанных с электромагнитным излучением. Позволяет получить результаты во всем частотном диапазоне. Можно вычислить и переходные процессы [277]. Моделирование ЭМП выполняется с использованием пошаговой схемы. Такой метод моделирования остается устойчивым. При этом используются передовые методы аппроксимации модели, сеточное разбиение сложных геометрических конструкций резонаторов. Модель возбуждается широкополосным сигналом во временной области. Далее рассчитывается выходной сигнал во временной области, выполняется дискретное преобразование Фурье для временных сигналов в исследуемом частотном диапазоне.

Вычислитель (Transmission Line Matrix) TLM (метод матричной линии) позволяет моделировать во временной области распределение ЭМП для разных частот в зазорах, щелях и отверстиях [277].

Вычислитель асимптотический (Asymptotic Solver) предназначен для получения распространения электромагнитной волны на уровне лучей от электрических крупных объектов [277].

Вычислитель Filter Designer (2D) – это инструмент синтеза планарных фильтров. Программа рассчитывает параметры технологии и частотную характеристику. Модуль интегрирован в оболочку CST Studio Suite, поэтому можно использовать для анализа трехмерного электродинамического моделирования и получения результатов в корпусе, с учетом взаимной связи и других эффектов.

Вычислитель Filter Designer (3D) для синтеза характеристик резонаторных *фильтров*. После выбора конфигурации вычислитель автоматически вычисляет матрицу коэффициентов связи фильтра [277].

Вычислитель *Frequency Domain solve* в частотной области выполняет расчет трехмерной электродинамической задачи, методом конечных элементов (FEM). Моделирование проводится на определенных частотах. Вычислитель выполняет расчет первых N мод с соответствующими распределениями электромагнитного поля. Этим модулем воспользовались для получения электродинамических характеристик сверхвысокочастотных *резонаторов* [277].

Проведено моделирование ЭМП в коаксиальном резонаторе с коническим основанием, где по периметру поверхности коаксиального резонатора расположены три источника по 800 Вт (изготовленный образец СВЧ-размораживателя, см. раздел 3).

Исследования напряженности электромагнитного поля, плотности тока, собственной добротности резонаторов проводили в программе трехмерного компьютерного моделирования CST Studio Suite 2017 и ее подпрограмме CST Microwave Studio (рис. 2.31).

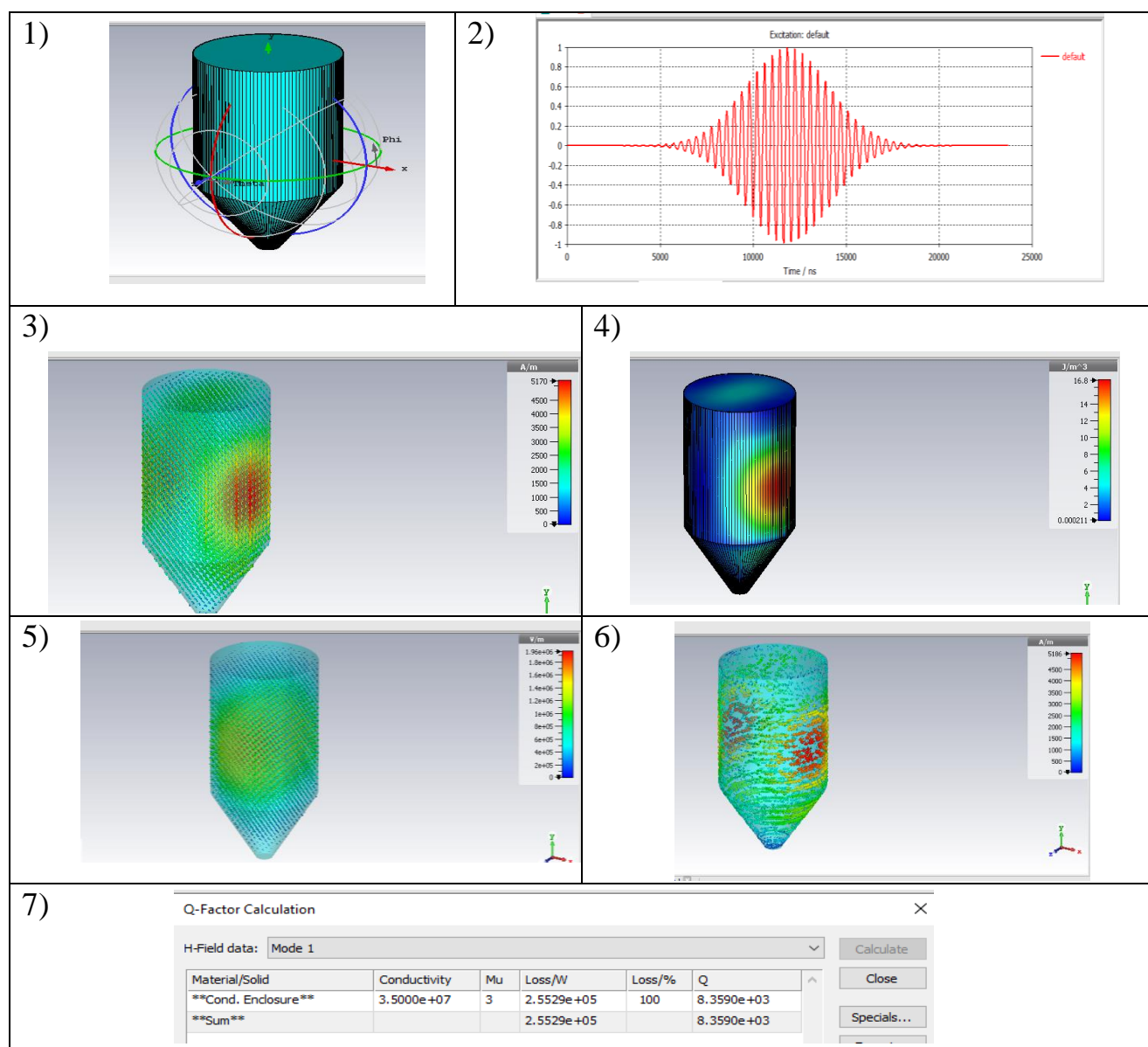


Рисунок 2.31 – Электродинамические параметры в резонаторе: 1) распределение ЭМП по осям x , y , z ; 2) колебания сигнала возбуждения, нс; 3) распределение напряженности магнитного поля, А/м; 4) распределение плотности тока, А/м²; 5) распределение напряженности электрического поля, В/м; 6) распределение напряженности магнитного поля, А/м; 7) собственная добротность резонатора

Результаты исследования показывают, что распределение напряженности магнитного поля в объеме резонатора неравномерное. Ее величина колеблется в пределах 1500 А/м, в местах расположения излучателей величина напряженности магнитной составляющей достигает до 4500 А/м. Напряженность магнитного поля в среднем составляет 1 кА/м, в местах расположения излучателя достигает до 4,5 кА/м. Анализ результатов исследований показывает, что плотность тока в среднем равна 1,5-2 А/м³, за исключением области излучателей, где она достигает до 6 кА/м³. Напряженность электрического поля в резонаторе распределено равномерно, в среднем равна 6 кВ/см. При низкой плотности тока (1 А/м³), собственная добротность может достичь до 8000, это связано с потерями в скин-слое (рис. 2.29).

Итак, если между коаксиальным и коническим резонаторами только перфорированный радиопрозрачный диск, то при мощности магнетронов 800 Вт возбуждается электромагнитное поле частотой в пределах 2300 МГц, собственная добротность может составить 8000 при плотности тока 1,5-2 кА/м³.

2.13.2 Моделирование трехмерных структур ЭМП в коаксиальном и коническом резонаторах

По результатам оценки соответствия установок критериям проектирования эффективным конструктивным исполнениям можно считать СВЧ-размораживатель, содержащий состыкованные коаксиальный и конический резонаторы (рис. 2.32). При обосновании электродинамических параметров резонаторов следует учесть понятие моды электромагнитного поля. В резонаторе, не имеющем потерь, электромагнитные поля обладают строго определенную форму и частоту колебаний. Поле внутри резонатора существует только в виде мод. Например, в волноводе и резонаторе моды – это электромагнитные пучки, которые при распространении повторяют сами себя.

Проведено моделирование трехмерных структур ЭМП в коаксиальном резонаторе с тремя магнетронами по программе CST Studio Suite и вычислительным модулем Frequency Domain solve.

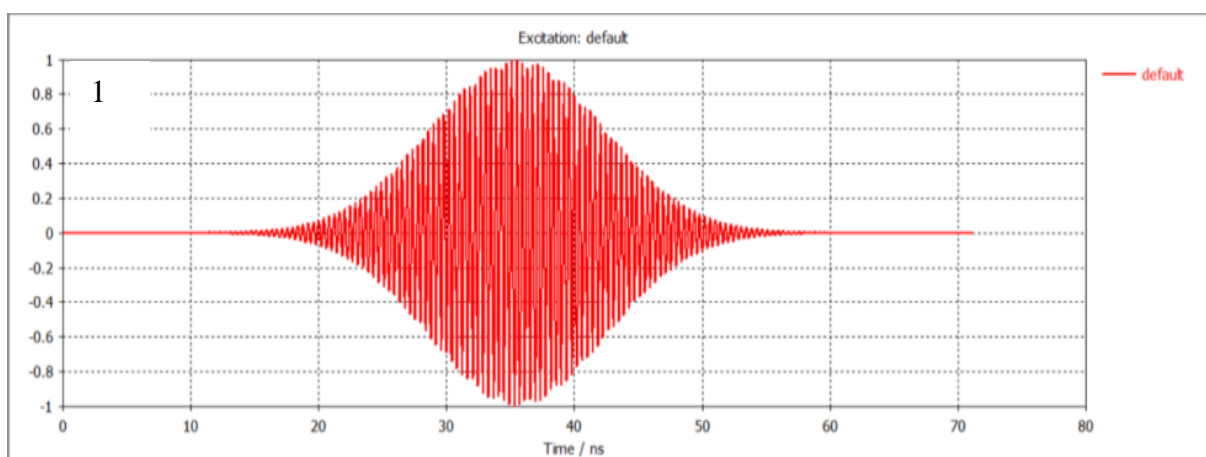


Рисунок 2.32 – Модель СВЧ-размораживателя с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами

Ниже приведены результаты исследования напряженности электрической (А/м) и магнитной (В/м) составляющих, плотности тока (А/м³), собственной добротности, плотности излучения ЭМИ (А/м²) (рис. 2.33-2.35).

Результаты исследования электродинамических параметров коаксиального резонатора, объемом 160 л.

1. Объем резонатора 0,16 м³. Проанализированы результаты исследования электродинамических параметров коаксиального резонатора по 10 модам. Ниже приведены результаты исследования только по трем модам (1, 5, 10 моды).



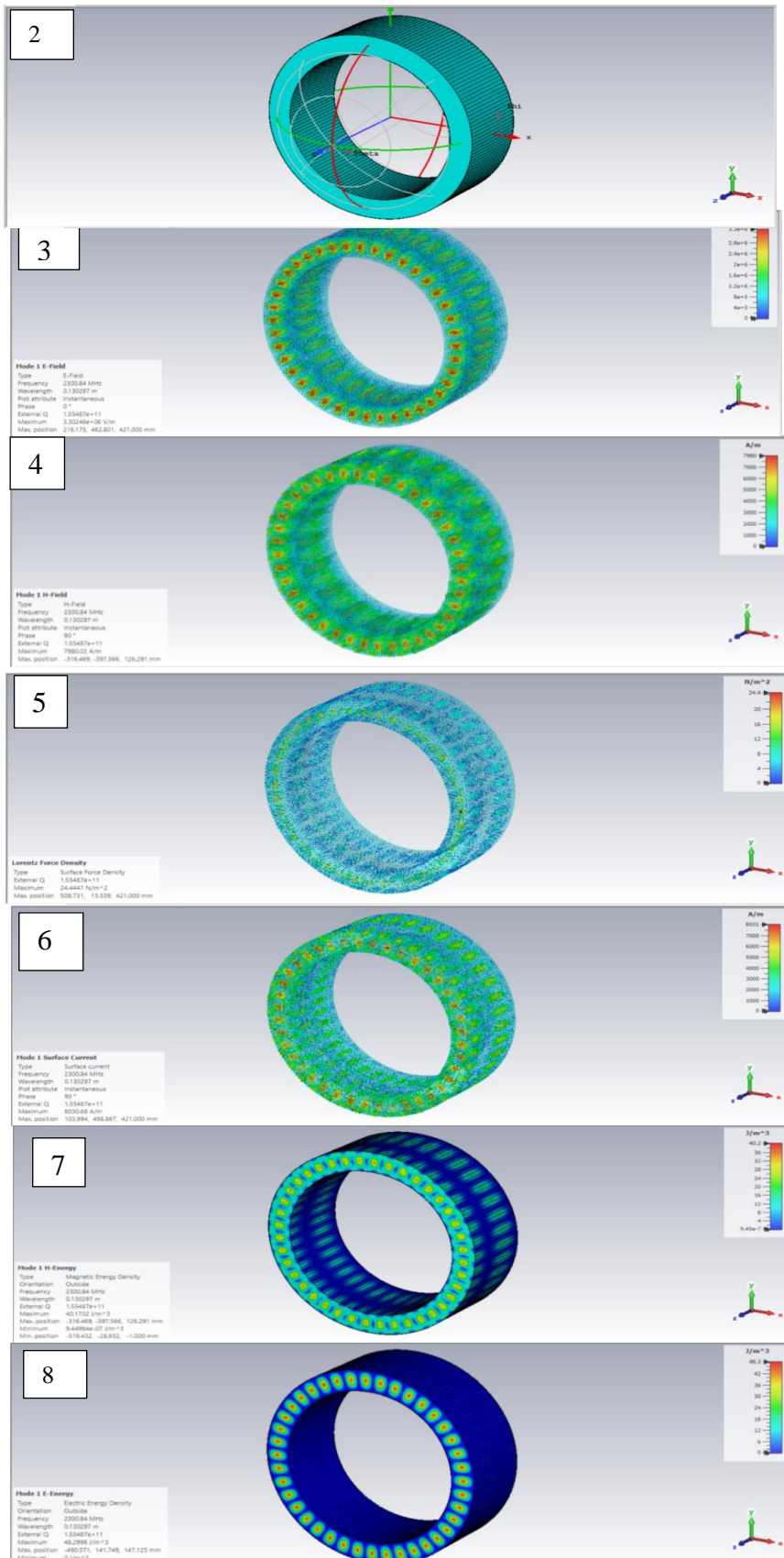
Мода 1

Рисунок 2.33 – Электродинамические параметры коаксиального резонатора (мода 1): 1 – колебания сигнала возбуждения; 2 – резонатор по осям; 3 – напряженность электрического поля, В/м; 4 – напряженность магнитного поля, А/м; 5 – поверхностная плотность силы Лоренца, Н/м²; 6 – напряженность магнитной составляющей на поверхности, А/м; 7 – поверхностные токи, А/м; 8 – энергия излучения магнитной составляющей, Вт/м³

Мода 5

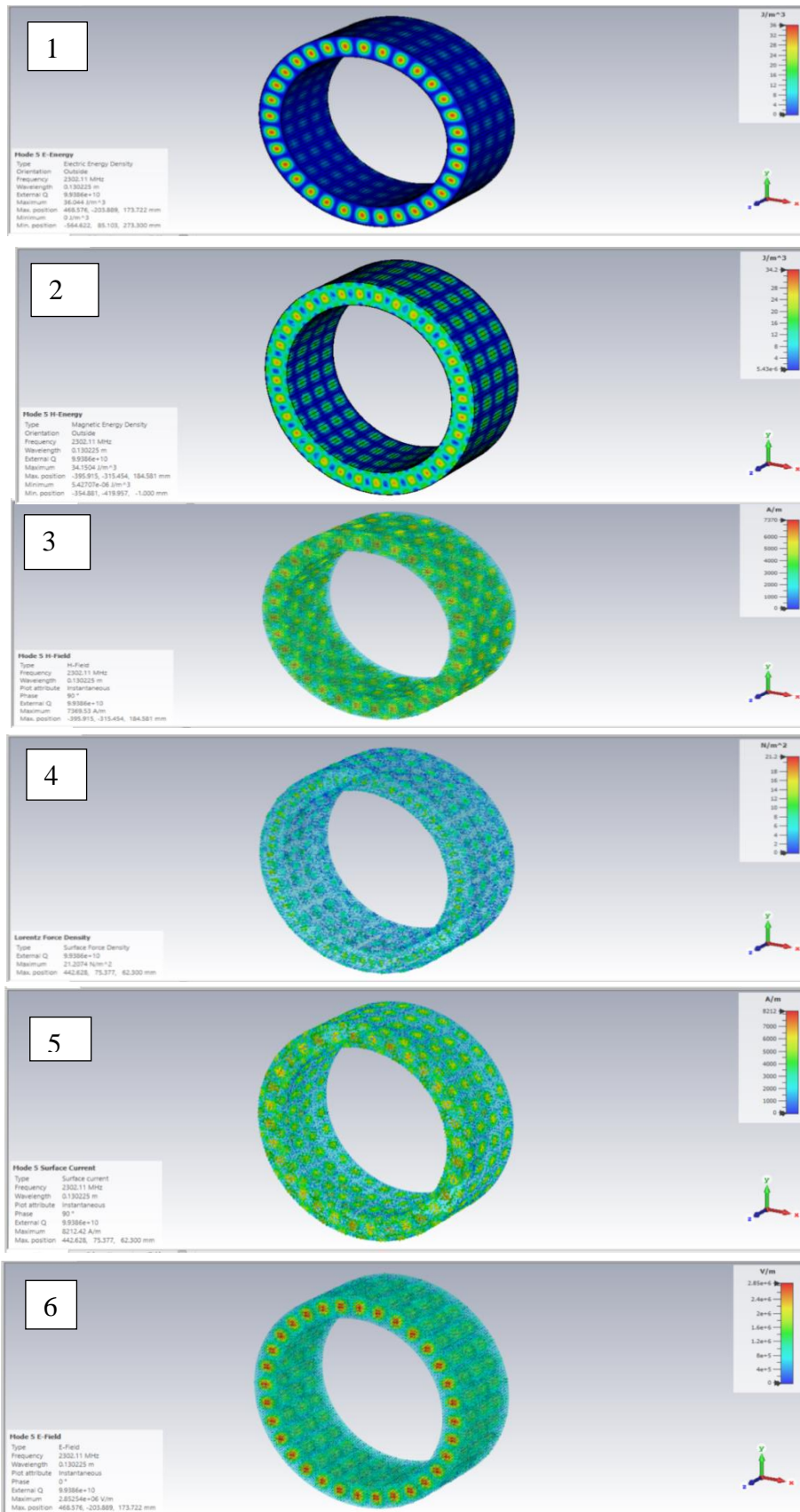


Рисунок 2.34 – Электродинамические параметры коаксиального резонатора (мода 5): 1 – энергия излучения электрической составляющей поля, Вт/м³; 2 – энергия излучения магнитной составляющей, Вт/м³; 3 – напряженность магнитного поля, А/м; 4 – поверхностная плотность силы Лоренца, Н/м²; 5 – поверхностные токи, А/м; 6 – напряженность электрического поля, В/м

Мода 10

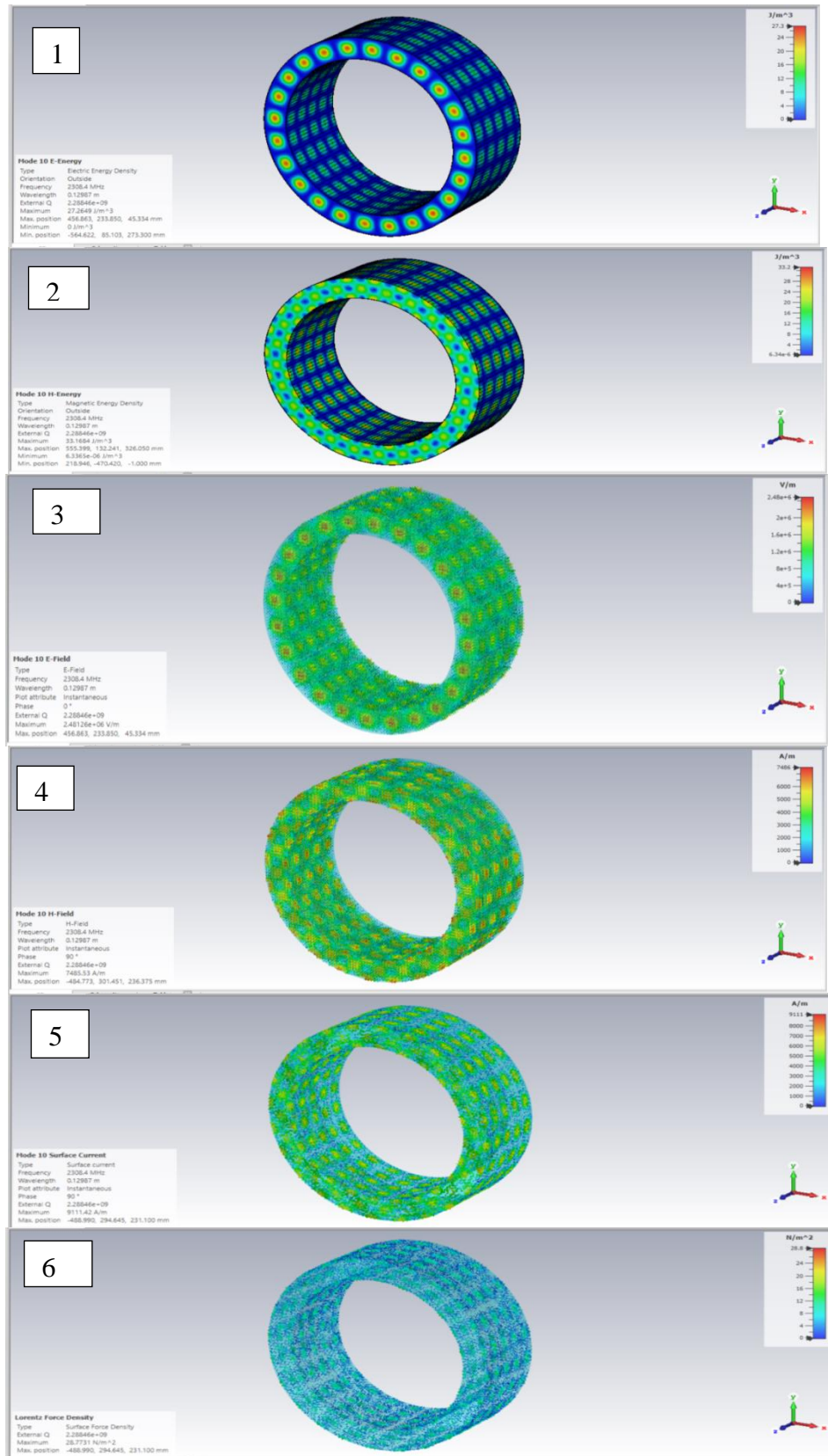
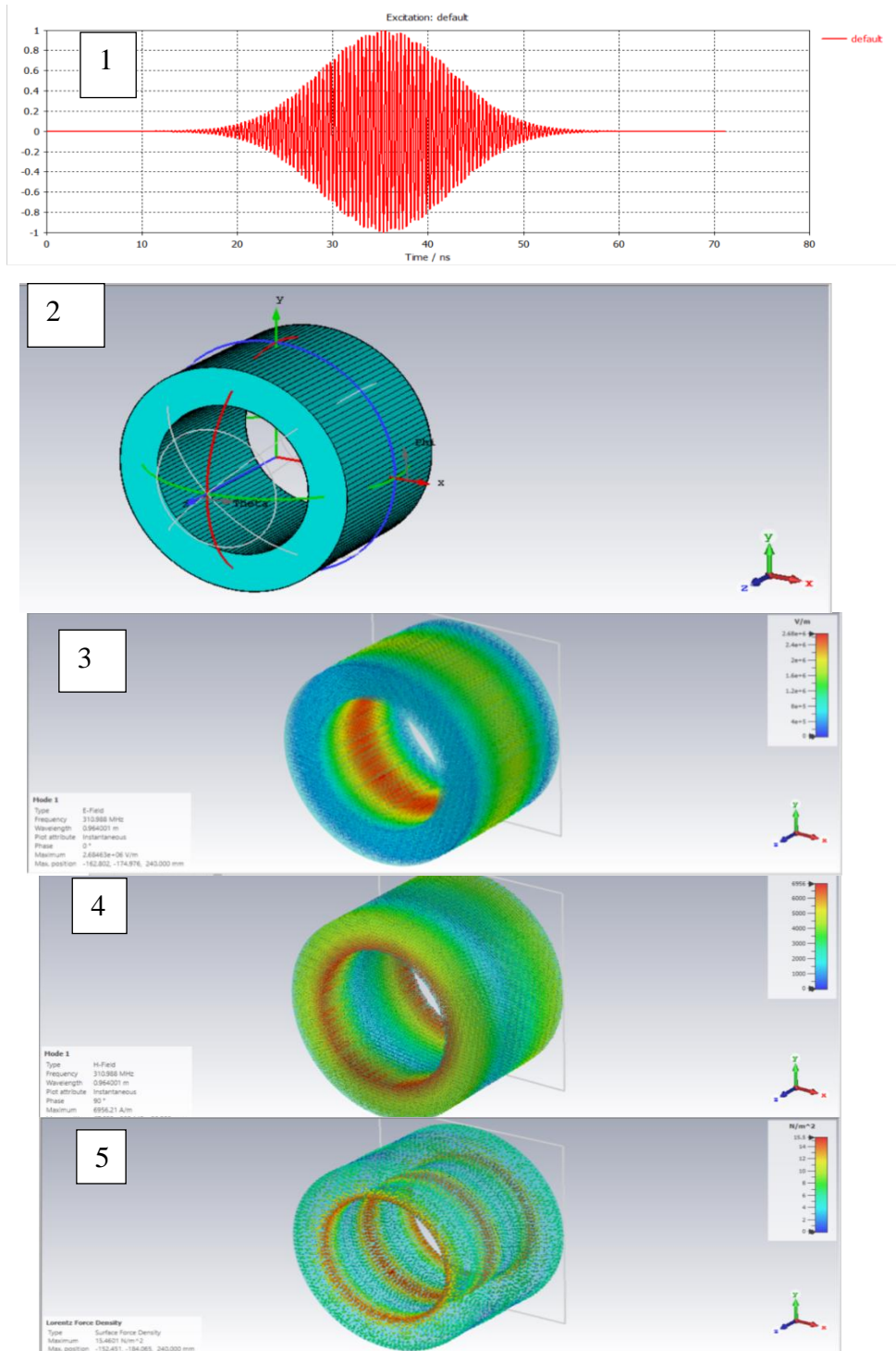


Рисунок 2.35 – Электродинамические параметры коаксиального резонатора (мода 10): 1 – энергия излучения электрической составляющей поля, Вт/м³; 2 – энергия излучения магнитной составляющей Вт/м³; 3 – напряженность электрического поля, В/м; 4 – напряженность магнитного поля, А/м; 5 – напряженность магнитной составляющей, А/м; 6 – поверхностная плотность силы Лоренца, Н/м²

Вывод. При объеме коаксиального резонатора, равном 160 л, и мощности магнетронов 2400 Вт, электродинамические параметры, средние по модам, следующие: напряженность электрического поля 4-5 кВ/см; энергия излучения электрической составляющей поля $(2-6) \cdot 10^6$ Вт/м³.

**Результаты исследования электродинамических параметров коаксиального резонатора, объемом 100 л (рис. 2.36).
Объем коаксиального резонатора 0,1м³**



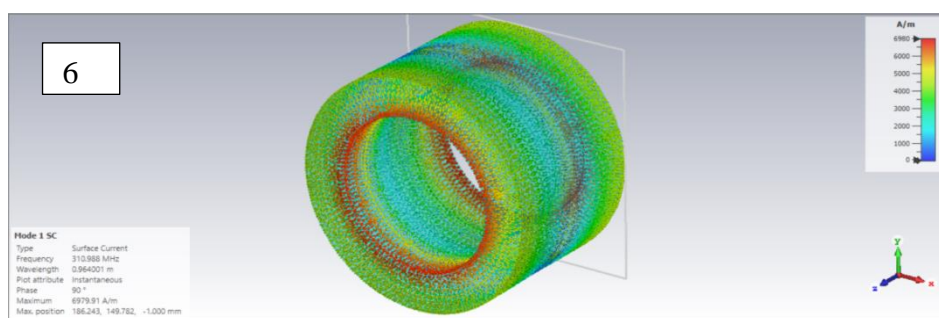
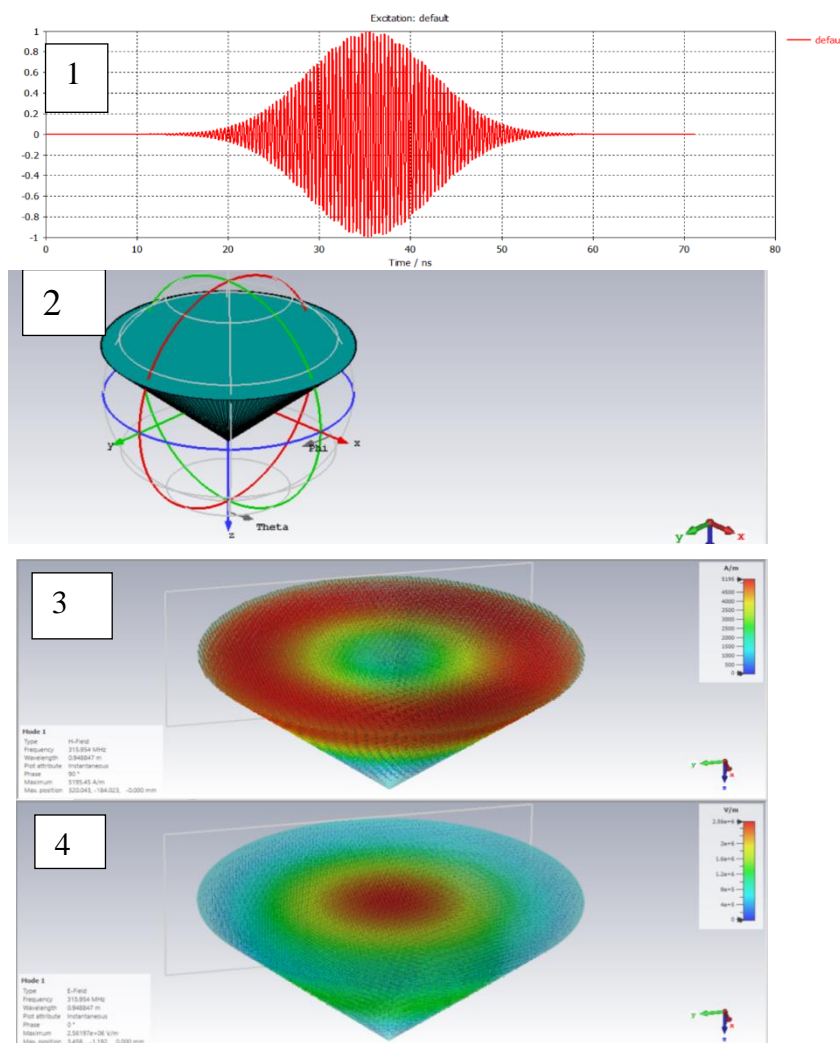


Рисунок 2.36 – Электродинамические параметры коаксиального резонатора (мода 1): 1 – колебания сигнала возбуждения, нс; 2 – распределение ЭМП по координатам x , y , z ; 3 – напряженность электрического поля, В/м; 4 – напряженность магнитного поля, А/м; 5 – поверхностная плотность силы Лоренца Н/м^2 ; 6 – напряженность магнитной составляющей, А/м

Итак, при объеме коаксиального резонатора, равном 100 л, и мощности магнетронов 2400 Вт, электродинамические параметры, средние по модам, следующие: напряженность электрического поля 4-6 кВ/см; напряженность магнитного поля 4-5 А/м.

Результаты исследования электродинамических параметров конического резонатора, объемом 100 л (рис. 2.37)



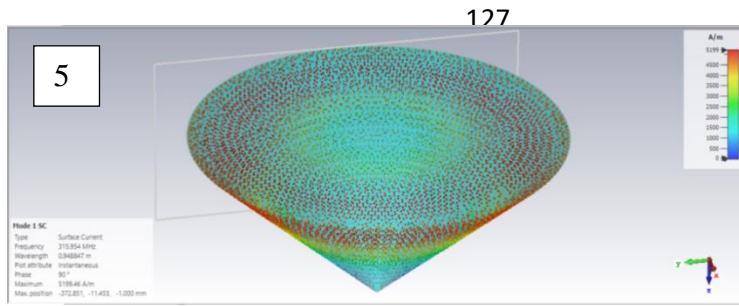


Рисунок 2.37 – Электродинамические параметры конического резонатора (мода 1): 1 – колебания сигнала возбуждения, нс; 2 – распределение ЭМП по координатам x , y , z ; 3 – напряженность магнитной составляющей, А/м; 4 – напряженность электрического поля, В/м; 5 – поверхностный ток, А/м

Итак, напряженность электрического поля в коническом резонаторе достигает 4-6 кВ/см. Результаты исследования электродинамических параметров показывают, что для обеспечения высокой напряженности электрического поля следует проектировать тороидальные резонаторы, конические резонаторы обеспечивают электромагнитную безопасность при непрерывном режиме работы, металлодиэлектрический цилиндрический резонатор с криволинейной поверхностью снижает потери и обладает достаточно высокой собственной добротностью. Для обеспечения равномерного распределения электромагнитного поля следует источники излучений расположить со сдвигом на 120 градусов по периметру резонатора. Для равномерного нагрева замороженного сырья в пластиковых бутылках, их следует транспортировать в объеме резонатора.

Моделирование трехмерных структур ЭМП в коаксиальном и коническом резонаторах СВЧ-размораживателя молозива животных с нагрузкой представлено в Приложении 11.

2.14 Сравнительный анализ электродинамических параметров резонаторов разного конструктивного исполнения при равном их объеме

Исследование электродинамических параметров конического резонатора, реализованного в многорезонаторном СВЧ-размораживателе

Известно, что добротность резонатора – это отношение энергии, запасенной в резонаторе и умноженное на $2 \cdot \pi$, к мощности потерь в нем, за один пери-

од колебаний [82]:
$$Q = \frac{\omega_{рез} \cdot W}{P_{потерь}} = 2 \cdot \pi \cdot f_{рез} \cdot \frac{W}{P_{потерь}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{W}{P_{потерь} \cdot T_{рез}}, \quad (2.100)$$

где $\omega_{рез}$ – угловая резонансная частота, 1/с; $f_{рез}$ – резонансная частота колебаний волн, Гц; W – энергия, накопленная (запасенная) в резонаторе, кВт·ч; $P_{потерь}$ – мощность потерь в резонаторе, Вт; $T_{рез} = 1/f_{рез}$ – период колебаний на резонансной частоте, с.

При включении генератора энергия возрастает от нуля до конечной величины W_0 по закону: $W(t) = W_0 \cdot e^{-j\delta t}$, (2.101)

$\delta = \omega_{рез} / 2 \cdot Q$ – характеризует скорость затухания энергии в резонаторе.

1. Конический резонатор с малым углом раствора (патент № 2752938).

Конический резонатор с малым раствором конуса приведен на рис. 2.38.

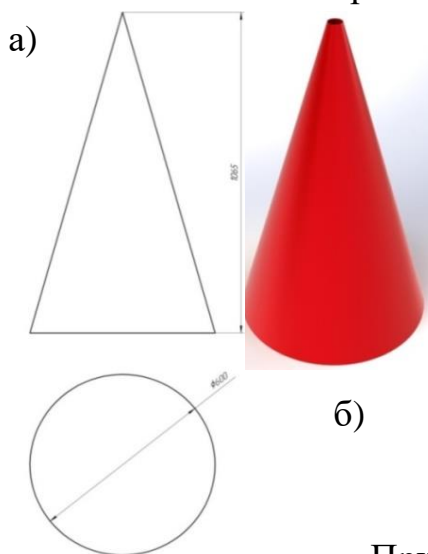


Рисунок 2.38 – Конический резонатор с малым раствором конуса: а) схематическое изображение; б) пространственное изображение

Собственная добротность биконического резонатора:

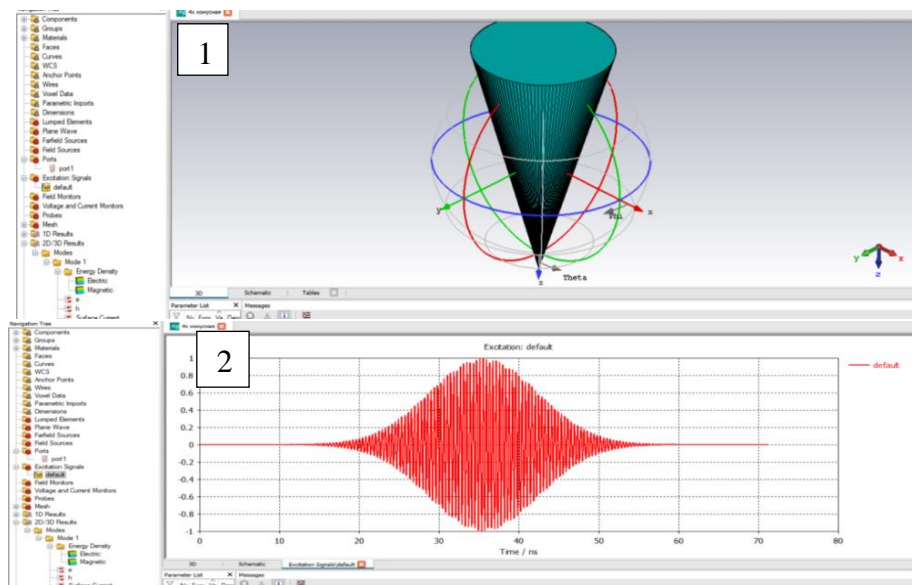
$$Q = 2 \cdot \frac{V}{S \cdot \Delta} \cdot K.$$

Объем и площадь конуса:

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H, \quad S = \pi \cdot R \cdot l, \quad (2.102)$$

где R – радиус основания, l – длина образующей.

При объеме резонатора $0,1 \text{ м}^3$, определим параметры конуса и площадь поверхности. $l = \sqrt{H^2 + R^2}$. Задаваясь высотой, определим при объеме $0,1 \text{ м}^3$, необходимый радиус основания. Результаты исследования ЭД параметров резонатора с малым углом раствора приведены на рис. 2.39.



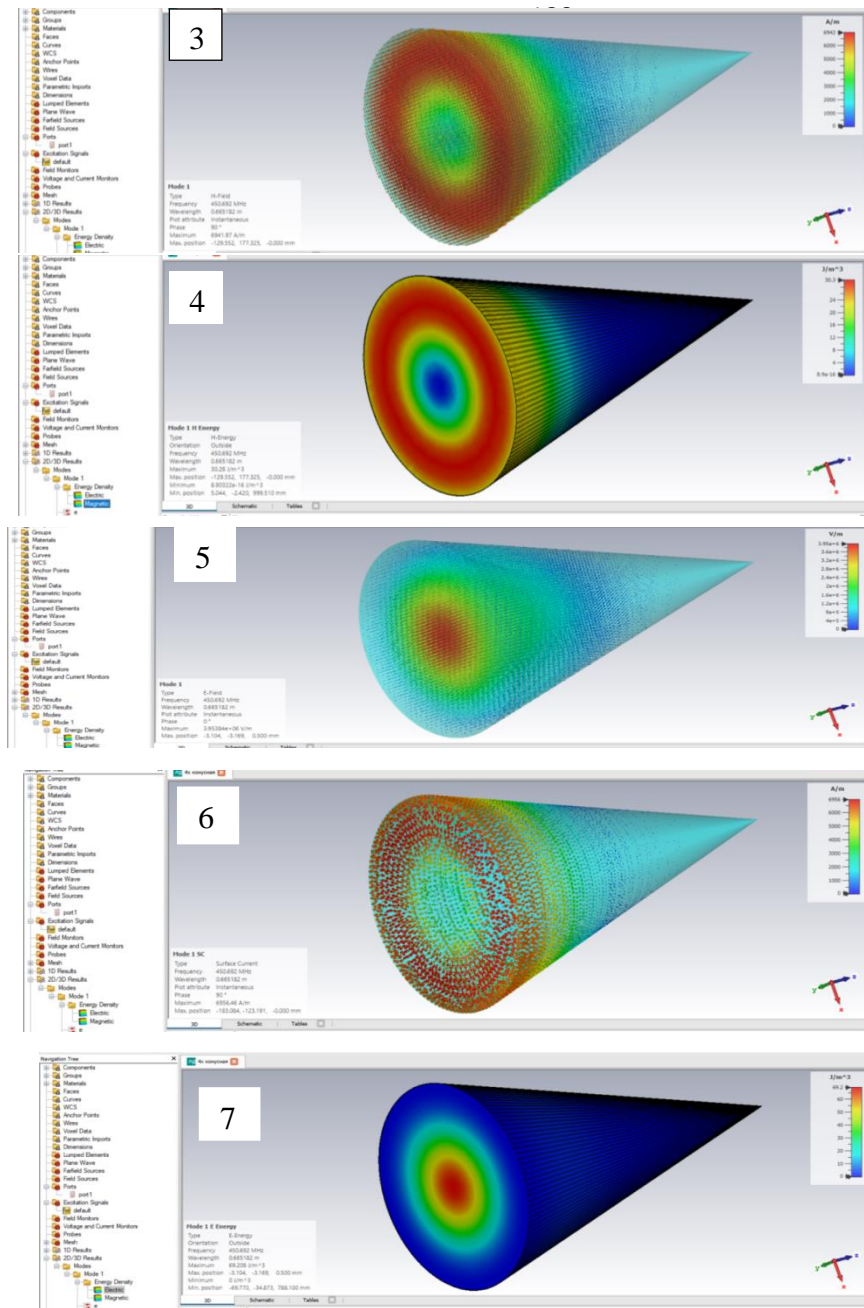


Рисунок 2.39 – Электродинамические параметры конического резонатора (мода 1):

- 1 – распределение электромагнитного поля по осям x , y , z ; 2 – колебания сигнала возбуждения, нс; 3 – напряженность магнитного поля, А/м; 4 – энергия излучения магнитной составляющей, Вт/м³; 5 – напряженность электрического поля, В/м; 6 – энергия излучения электрической составляющей, Вт/м³; 7 – напряженность магнитной составляющей на поверхности, А/м

2. Исследование электродинамических параметров конического резонатора со средним углом раствора (патент № 2752941)

Результаты исследования ЭД конического резонатора со средним углом раствора приведены на рис. 2.40.

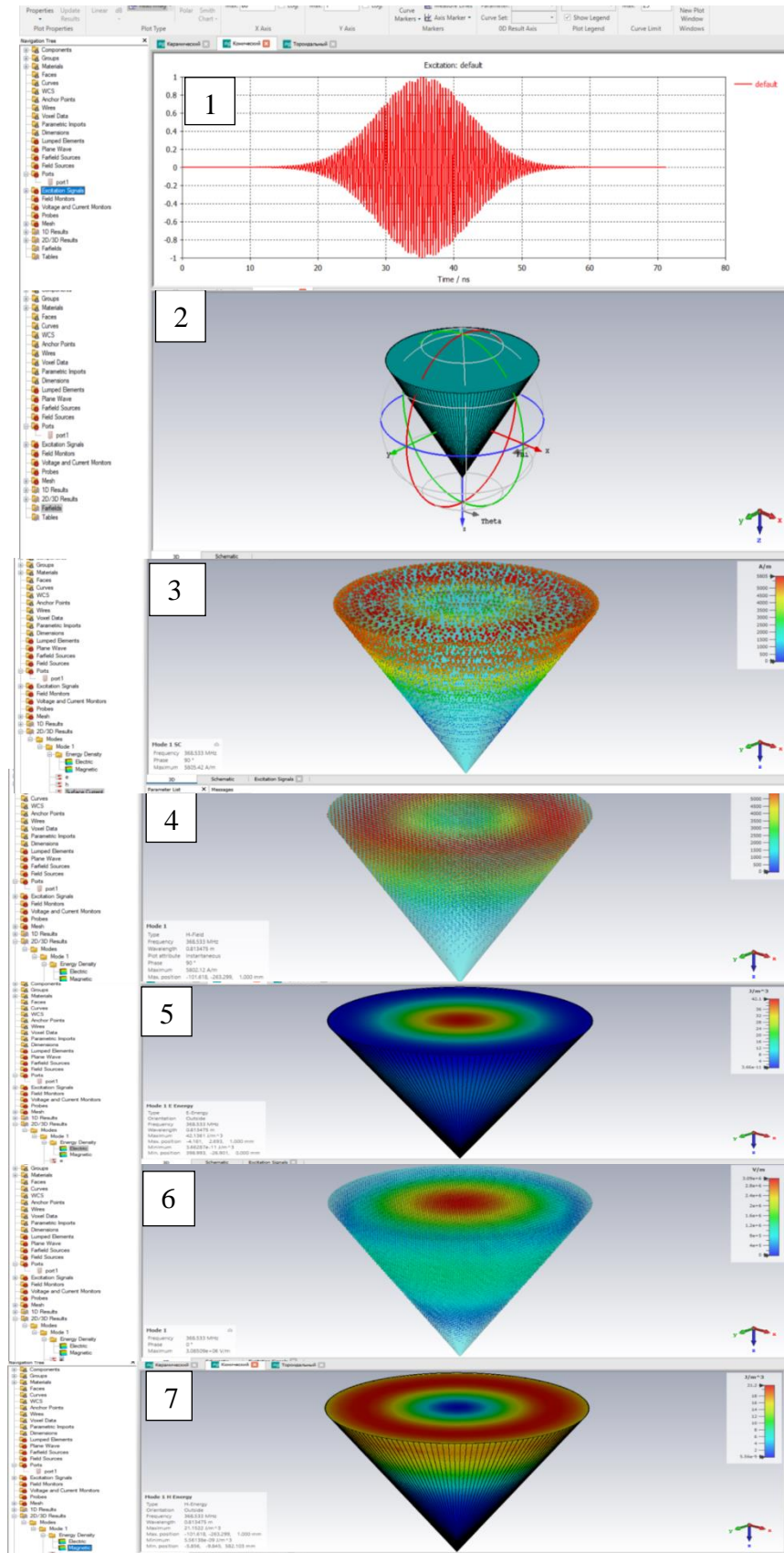


Рисунок 2.40 – Электродинамические параметры конического резонатора (мода 1): 1 – колебания сигнала возбуждения, нс; 2 – распределение электромагнитного поля по осям x , y , z ; 3 – напряженность магнитного поля, А/м; 4 – напряженность магнитной составляющей на поверхности, А/м; 5 – энергия излучения электрической составляющей, Вт/м³; 6 – напряженность электрического поля, В/м; 7 – энергия излучения магнитной составляющей, Вт/м³

Площадь поверхности конического резонатора (рис. 2.41) можно определить и через угол раствора (α): $S = \frac{\pi \cdot l^2}{360} \cdot \alpha$, $\alpha = \frac{360}{l} \cdot R$. (2.103)

$$0,1 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H, \quad S = \pi \cdot R \cdot l, \quad R = \frac{S}{\pi \cdot l},$$

$$0,1 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{S}{\pi \cdot l} \right)^2 \cdot H, \quad \frac{S}{\pi \cdot l} = \sqrt{\frac{0,1 \cdot 3}{\pi \cdot H}}, \quad S = \pi \cdot l \cdot \sqrt{\frac{0,1 \cdot 3}{\pi \cdot H}} = l \cdot \sqrt{\frac{1}{H}}.$$

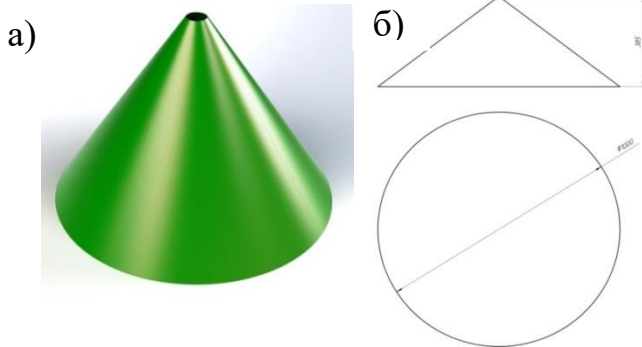


Рисунок 2.41 – Конический резонатор со средним радиусом конуса:
а) пространственное изображение;
б) схематическое изображение

Исследование электродинамических параметров конического резонатора с большим углом раствора (патент № 2775137) (рис. 2.42)

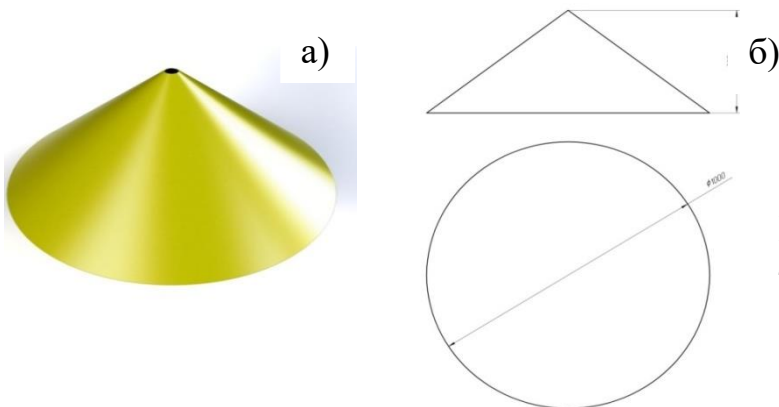
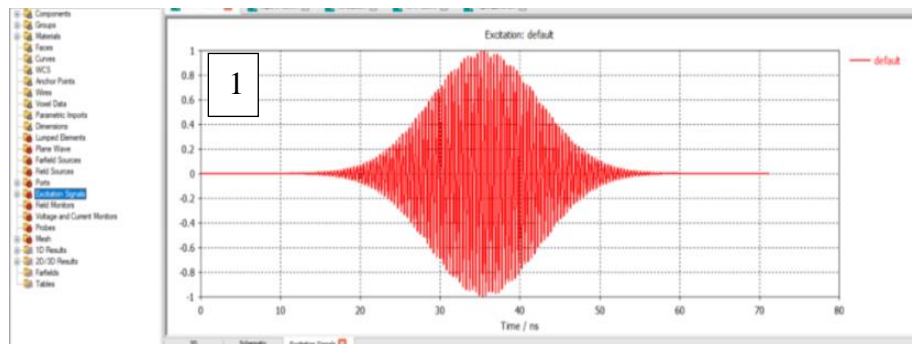


Рисунок 2.42 – Конический резонатор с большим раствором конуса:
а) пространственное изображение;
б) схематическое изображение

Формула собственной добротности аналогична формуле для предыдущих конических резонаторов под другим углом раствора. Результаты исследования ЭД параметров приведены на рис. 2.43.

Результаты исследования электродинамических параметров конического резонатора



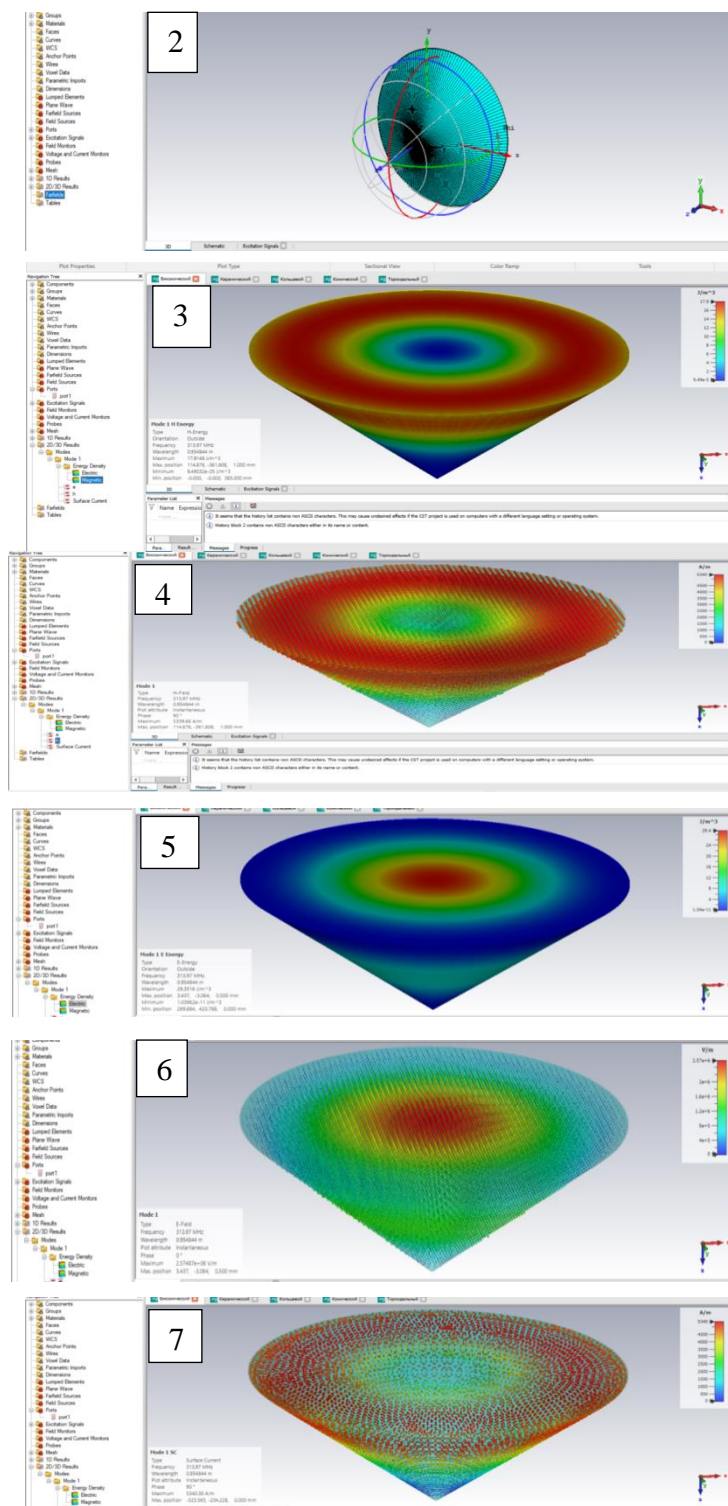


Рисунок 2.43 – Электродинамические параметры конического резонатора (мода 1):
 1 – колебания сигнала возбуждения, нс; 2 – распределение электромагнитного поля по осям x , y , z ;
 3 – энергия излучения магнитной составляющей, Вт/м³; 4 – напряженность магнитного поля, А/м;
 5 – энергия излучения электрической составляющей, Вт/м³;
 6 – напряженность электрического поля, В/м; 7 – напряженность магнитной составляющей на поверхности, А/м

3. Исследование электродинамических параметров коаксиального резонатора

Для многих резонаторов стандартного конструктивного исполнения можно вычислить напряженность электрического поля, например, для коаксиального резонатора (рис. 2.44) напряженность ЭП можно определить через конструктивные параметры (D , d):

$$E = \sqrt{\frac{480 \cdot P}{d^2 \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right) \cdot \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}}}, \text{ В / м.} \quad (2.104)$$

$$S_{\text{бок } 1} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H, \quad S_{\text{бок } 2} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H, \quad S_{\text{кольца}} = \pi \cdot (R^2 - r^2),$$

$$S_{\text{обш}} = \pi \left[2 \cdot H (R + r) + (R^2 - r^2) \right]. \quad (2.105)$$

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H. \quad Q = 2 \cdot \frac{V}{S \cdot \Delta} \cdot K = \frac{R^2 \cdot H}{\Delta \cdot \pi \left[2 \cdot H (R + r) + (R^2 - r^2) \right]}. \quad (2.106)$$

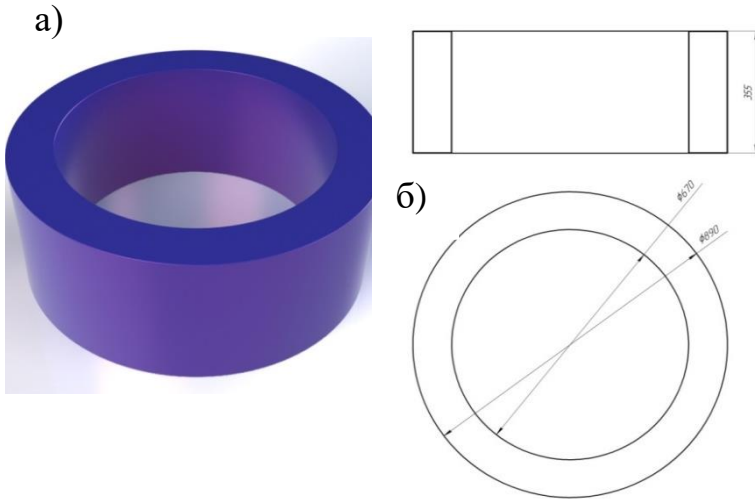
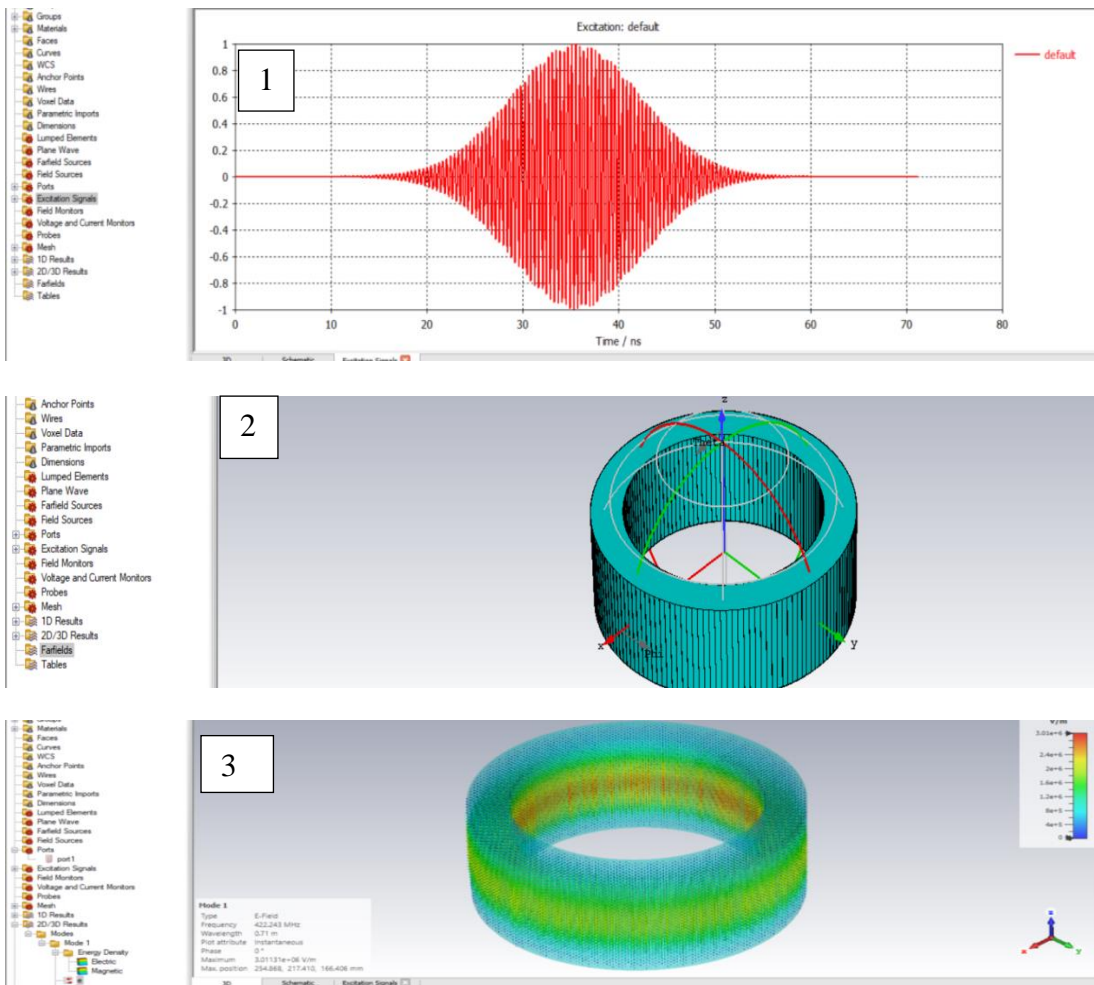


Рисунок 2.44 – Коаксиальный резонатор:
 а) пространственное изображение;
 б) схематическое изображение

Результаты исследования ЭД параметров приведены на рис. 2.45.



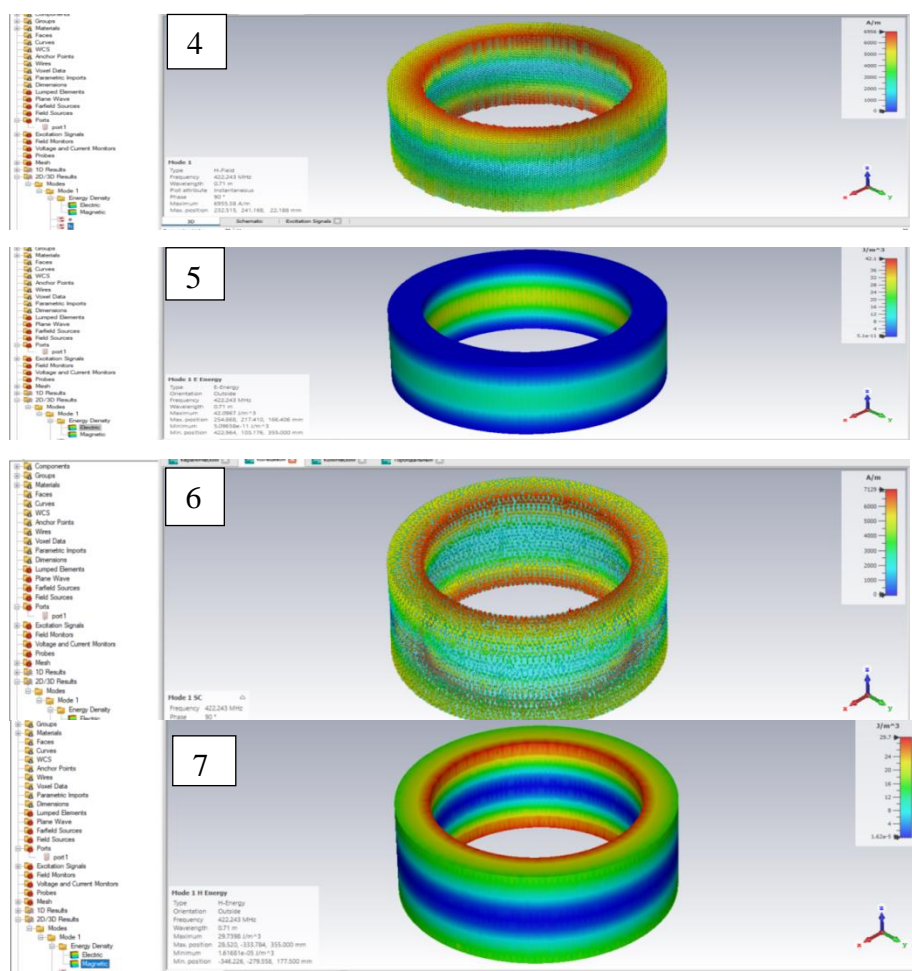


Рисунок 2.45 – Электродинамические параметры коаксиального резонатора (мода 1): 1 – колебания сигнала возбуждения, нс; 2 – распределение электромагнитного поля по осям x , y , z ; 3 – напряженность электрического поля, В/м; 4 – напряженность магнитного поля, А/м; 5 – энергия излучения электрической составляющей, Вт/м³; 6 – напряженность магнитной составляющей на поверхности, А/м; 7 – энергия излучения магнитной составляющей, Вт/м³

4. Исследование электродинамических параметров тороидального резонатора с емкостным зазором

(четвертьволновый коаксиальный резонатор) (патент № 753424) [181]

Основным типом волны в коаксиальном резонаторе с емкостным зазором является поперечная мода ТЕМ колебания, которые характеризуются отсутствием продольных составляющих волн ($E_z = 0$, $H_z = 0$). Способность распространяться только в многосвязной системе – это особенность поперечной волны, поэтому для уменьшения длины резонатора следует удалить одно основание. При этом в оставшейся части резонатора сохраняется режим стоячей волны, но при этом высота резонатора h должна быть кратной половине длины волны (рис. 2.46, 2.47).

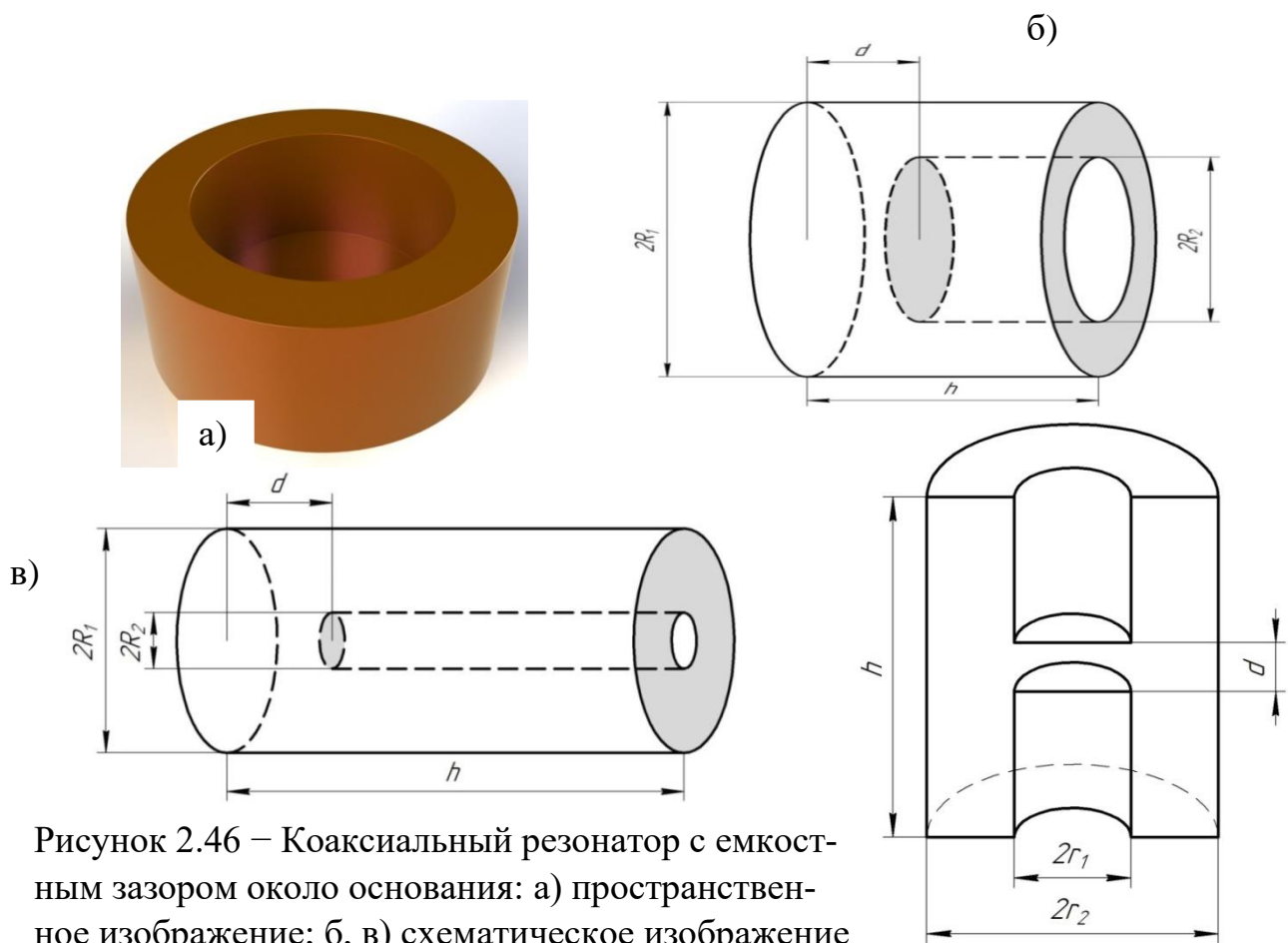


Рисунок 2.46 – Коаксиальный резонатор с емкостным зазором около основания: а) пространственное изображение; б, в) схематическое изображение резонаторов разной высоты

Рисунок 2.47 – Торoidalный резонатор (коаксиальный резонатор с емкостным зазором в середине)

В емкостном зазоре d (не менее четверти длины волны) между центральным цилиндром коаксиального резонатора и торцевой стенкой обеспечивается повышенная концентрация электрического поля. Изменением величины зазора d можно получить требуемую резонансную частоту квазитороидального резонатора. Если длина резонатора удовлетворяет условию:

$\pi \cdot (R_1 + R_2) \geq h \geq (R_1 - R_2)$, то возбуждается мода E_{011} , если $h \leq (R_1 - R_2)$, существует только низший тип электрических колебаний E_{010} . При изменении высоты резонатора с емкостным зазором до величины $h = \pi \cdot (R_1 + R_2)$ появляется низший тип магнитных колебаний – H_{111} . Поперечные размеры коаксиального резонатора с емкостным зазором выбирали с учетом условия, что отсутствуют резонансы высших типов колебаний:

$$R_1 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \leq \frac{\lambda}{\pi}, \quad (2.107)$$

где R_1, R_2 – радиусы цилиндров.

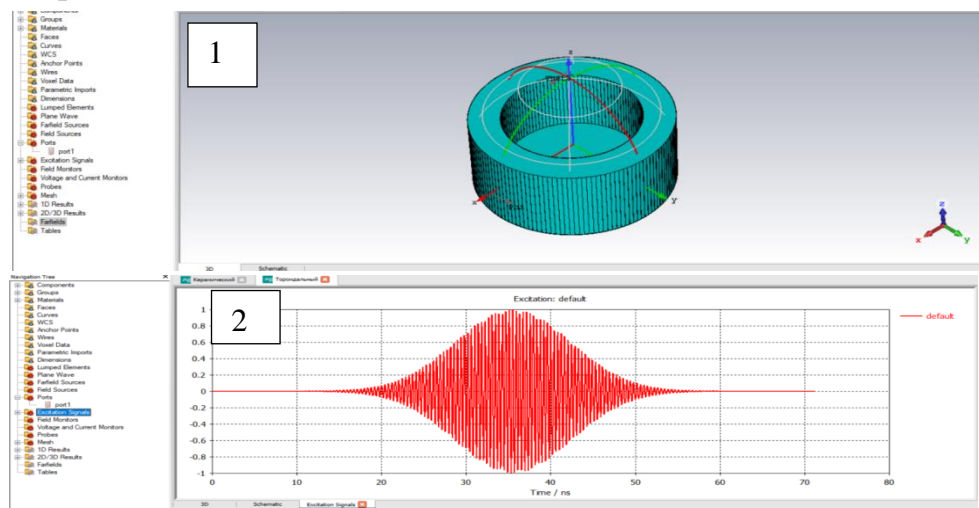
Резонансная длина волны в коаксиальном резонаторе с емкостным зазором для TEM типа колебаний определяется по формуле: $\lambda_{рез} = 2 \cdot h / p$,

где p – число стоячих полуволн, укладываемых вдоль резонатора.

Тороидальный резонатор с емкостным зазором в середине. Этот резонатор можно представить как систему, состоящую из двух секций четвертьволновых коаксиальных резонаторов (рис. 2.37). В таком резонаторе происходит пространственное разделение электрического и магнитного полей. Резонанс-

ную длину волны можно вычислить по формуле: $\lambda_{рез} = \pi \cdot r_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h}{d} \cdot \ln \frac{r_1}{r_2}}$, (2.108)

Резонансную частоту в таком резонаторе можно регулировать в широких пределах путем регулирования объема за счет изменения емкостного зазора. Если частота внешних колебаний совпадает с одной из собственных частот резонатора, возникает резонанс. В резонаторе на одной резонансной частоте могут возникать различные типы колебаний, отличающиеся структурой поля, поэтому возбуждение необходимой моды может быть обеспечено правильным расположением излучателей с волноводом. Правильное расположение магнетронов с волноводом в определенных местах на поверхности резонатора позволяет возбудить в нем необходимый вид колебаний. В связи с тем, что в тороидальных резонаторах электрическое и магнитное поля разделены пространственно, и излучатель от генератора направлен в волновод, то способ возбуждения ЭМП в резонаторе (с помощью зонда-петли или штыря) теряет смысла. Результаты исследования ЭД параметров тороидального резонатора приведены на рис. 2.48.



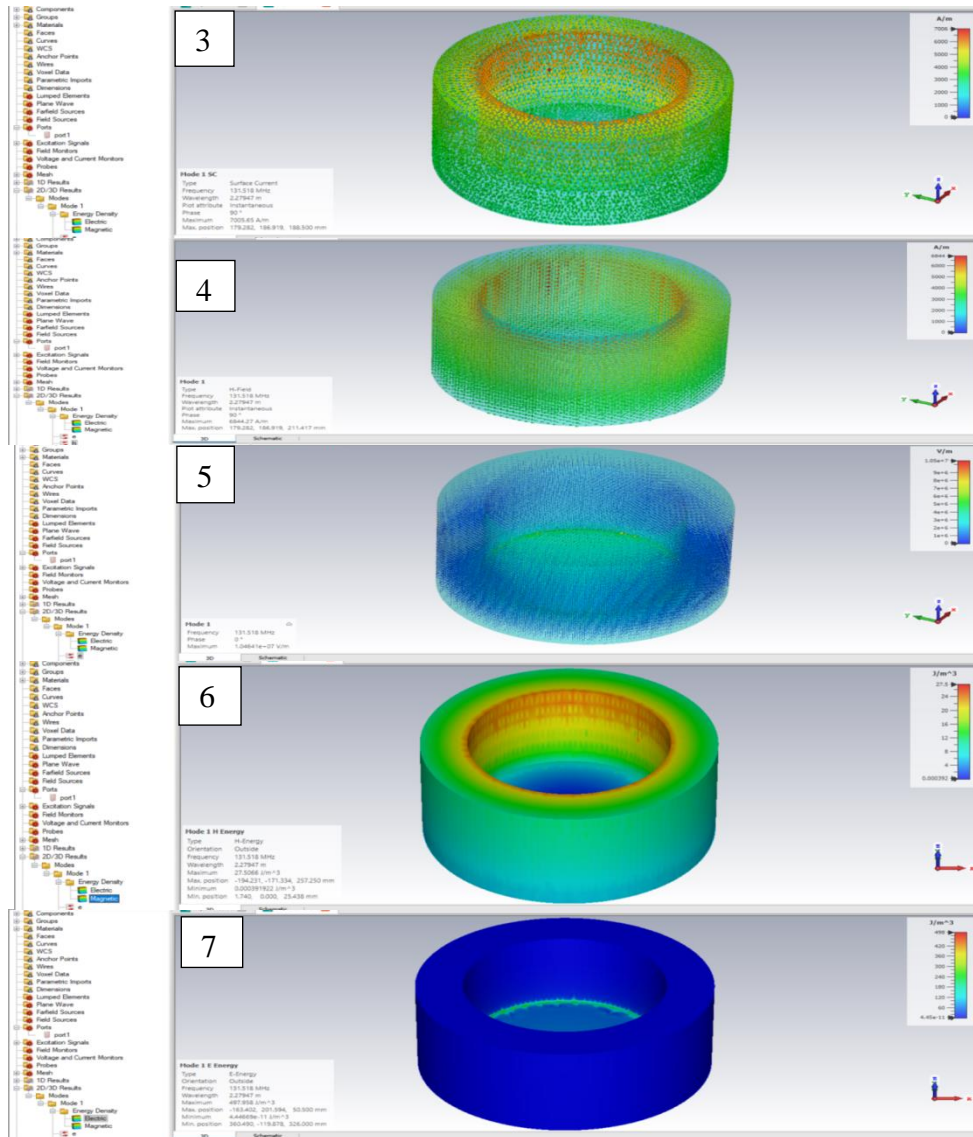


Рисунок 2.48 – Электродинамические параметры тороидального резонатора (мода 1): 1 – колебания сигнала возбуждения, нс; 2 – распределение электромагнитного поля по осям x , y , z ; 3 – напряженность магнитного поля, А/м; 4 – напряженность магнитной составляющей на поверхности, А/м; 5 – напряженность электрического поля, В/м; 6 – энергия излучения магнитной составляющей, Вт/м³; 7 – энергия излучения электрической составляющей, Вт/м³

7. Исследование электродинамических параметров металлодиэлектрического цилиндрического резонатора с криволинейной поверхностью (патент № 2762645)

Металлодиэлектрический резонатор представлен как неферромагнитный цилиндр с криволинейной поверхностью с соосно расположенным сплошным диэлектрическим цилиндром (рис. 2.49). Для практических целей предельно допустимую мощность, передаваемую в резонатор, можно определить по формуле, рассчитанной для цилиндрического резонатора [93] (рис. 2.39)

$$P_{y0} = \frac{E_{\max}^2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{1}{2}}{480 \cdot \pi} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2 \cdot r}\right)^2} = \frac{E_{\max}^2 \cdot r^2}{960} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2 \cdot r}\right)^2}, \quad (2.109)$$

где λ_0 – критическая длина волны; r – радиус цилиндра.

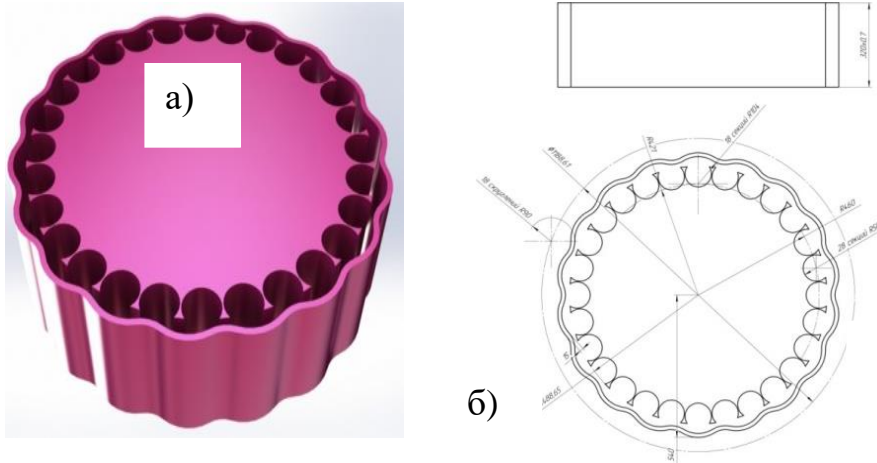
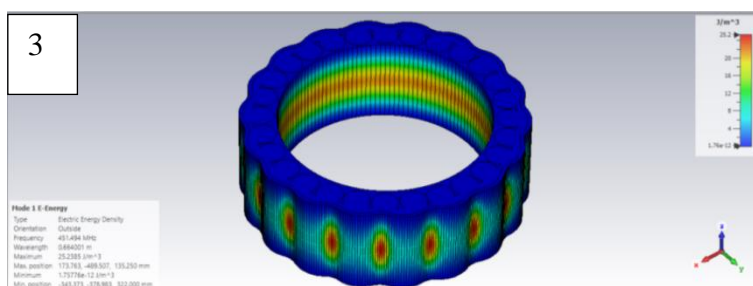
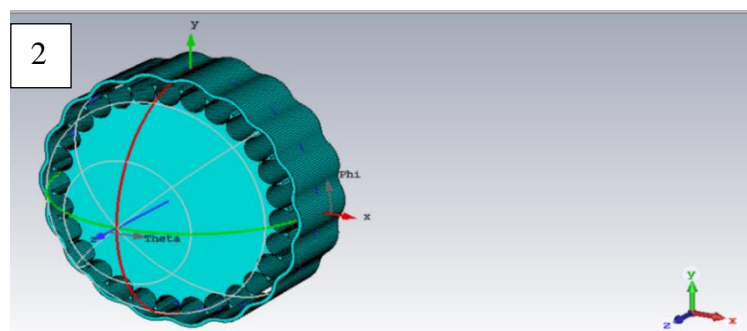
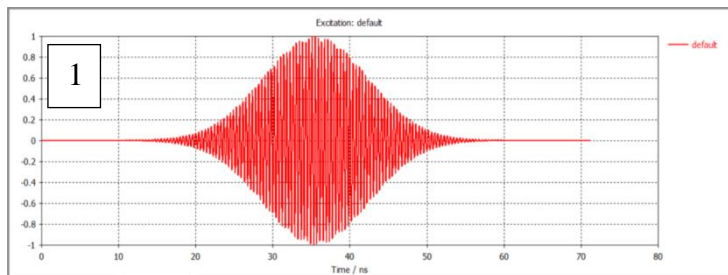


Рисунок 2.49 – Металлодиэлектрический резонатор:
а) пространственное изображение;
б) схематическое изображение

Результаты исследования ЭД параметров металлодиэлектрического резонатора приведены на рис. 2.50.



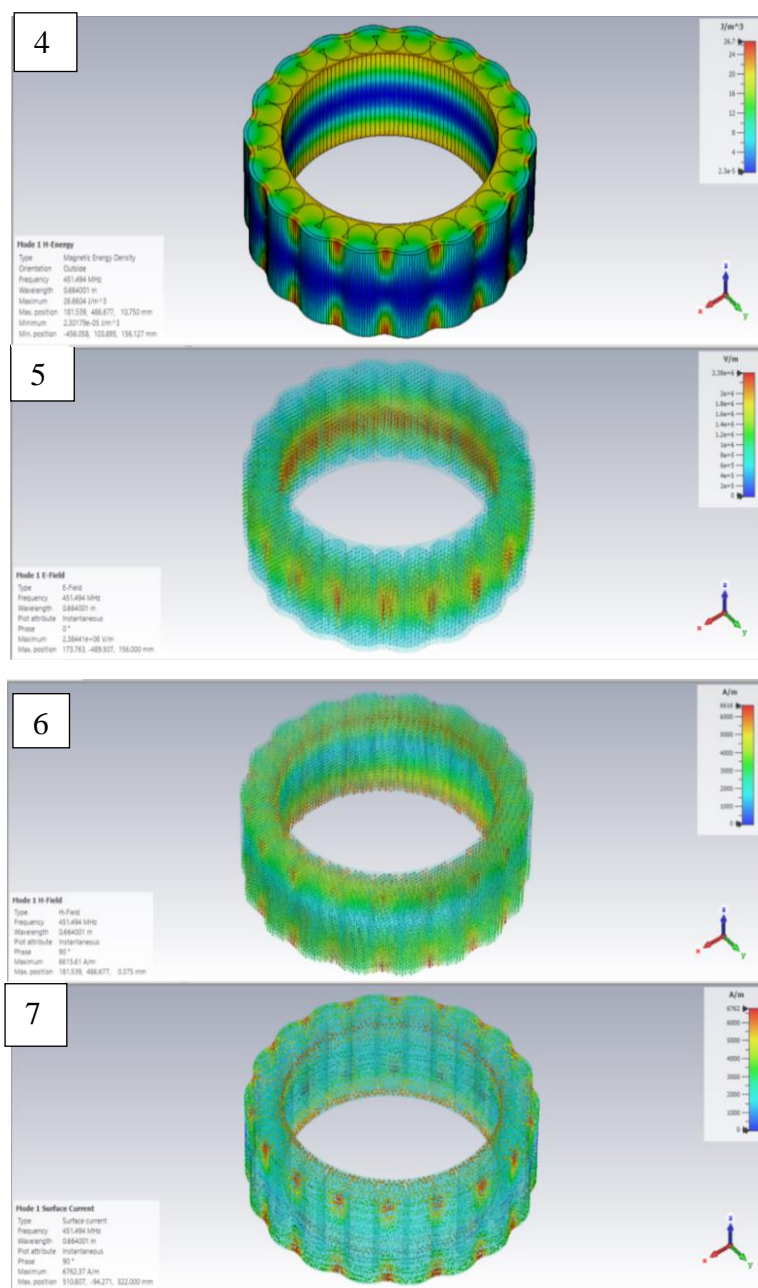


Рисунок 2.50 – Электродинамические параметры коаксиального резонатора (мода 1): 1 – колебания сигнала возбуждения, нс; 2 – распределение электромагнитного поля по осям x, y, z; 3 – энергия излучения электрической составляющей, Вт/м³; 4 – энергия излучения магнитной составляющей, Вт/м³; 5 – напряженность электрического поля, В/м; 6 – напряженность магнитного поля, А/м; 7 – напряженность магнитной составляющей на поверхности, А/м

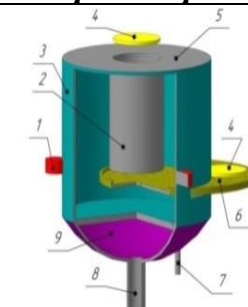
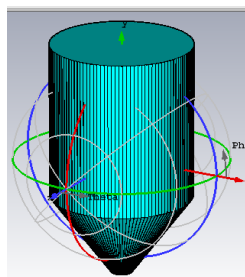
Сводные данные электродинамических параметров СВЧ установок с разными конфигурациями резонаторов приведены на рис. 2.51.

СВЧ-размораживатели для дефростации и разогрева молочива животных с результатами исследования электродинамических параметров

Патент № 2694944

1. Торoidalный резонатор для освобожденного от пластиковых бутылок замороженного сырья.

Собственная добротность 3000.
Напряженность ЭП 0,6-1 кВ/см

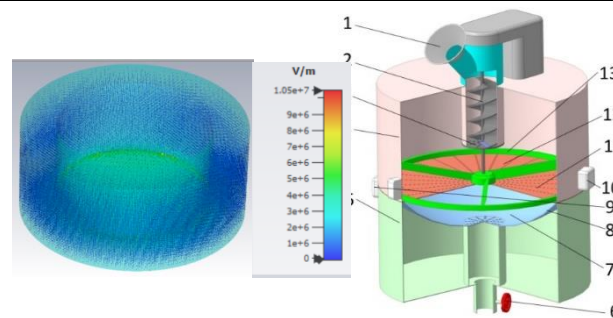
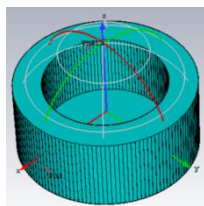


Патент № 753424

2. Состыкованные торoidalные резонаторы для измельченного замороженного сырья.

Собственная добротность 4000.

Напряженность ЭП 2-4 кВ/см.

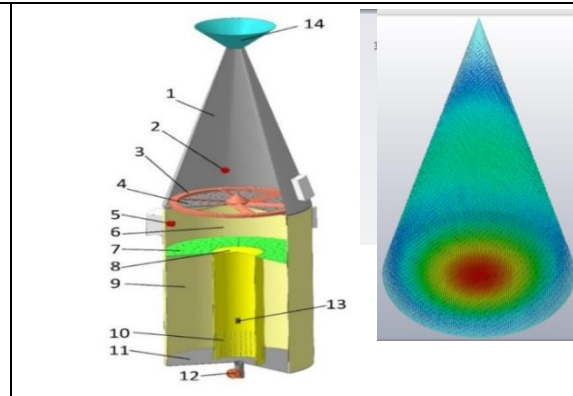
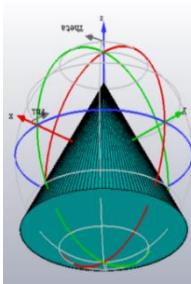


Патент № 2752938

3. Состыкованные конические и торoidalные резонаторы для сырья, замороженного в виде брикетов.

Собственная добротность 4000.

Напряженность ЭП 1,2-4 кВ/см.

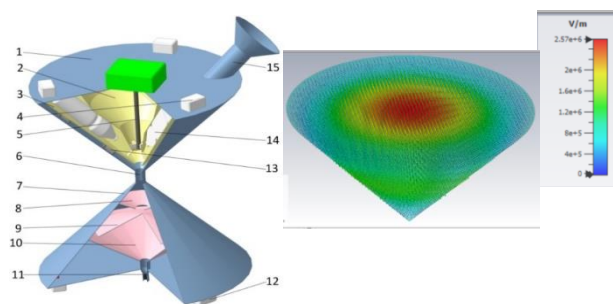
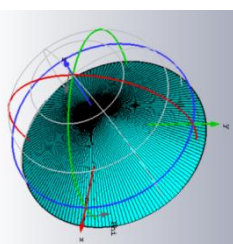


Патент № 2775137

4. Состыкованные конические резонаторы.

Собственная добротность 5000.

Напряженность ЭП 1,2-4 кВ/см.

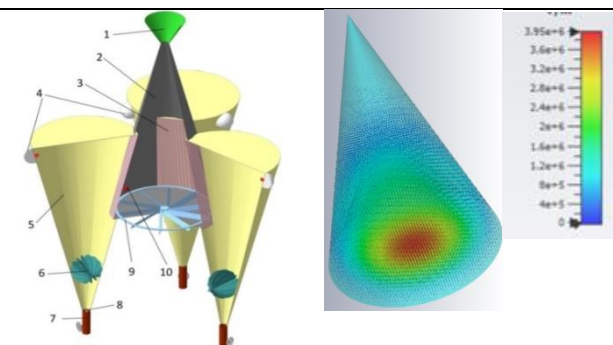
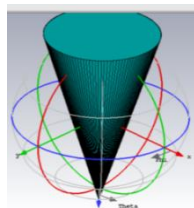


Патент № 2752941

5. Состыкованные четыре конических резонатора.

Собственная добротность 4000.

Напряженность ЭП 2-4 кВ/см.



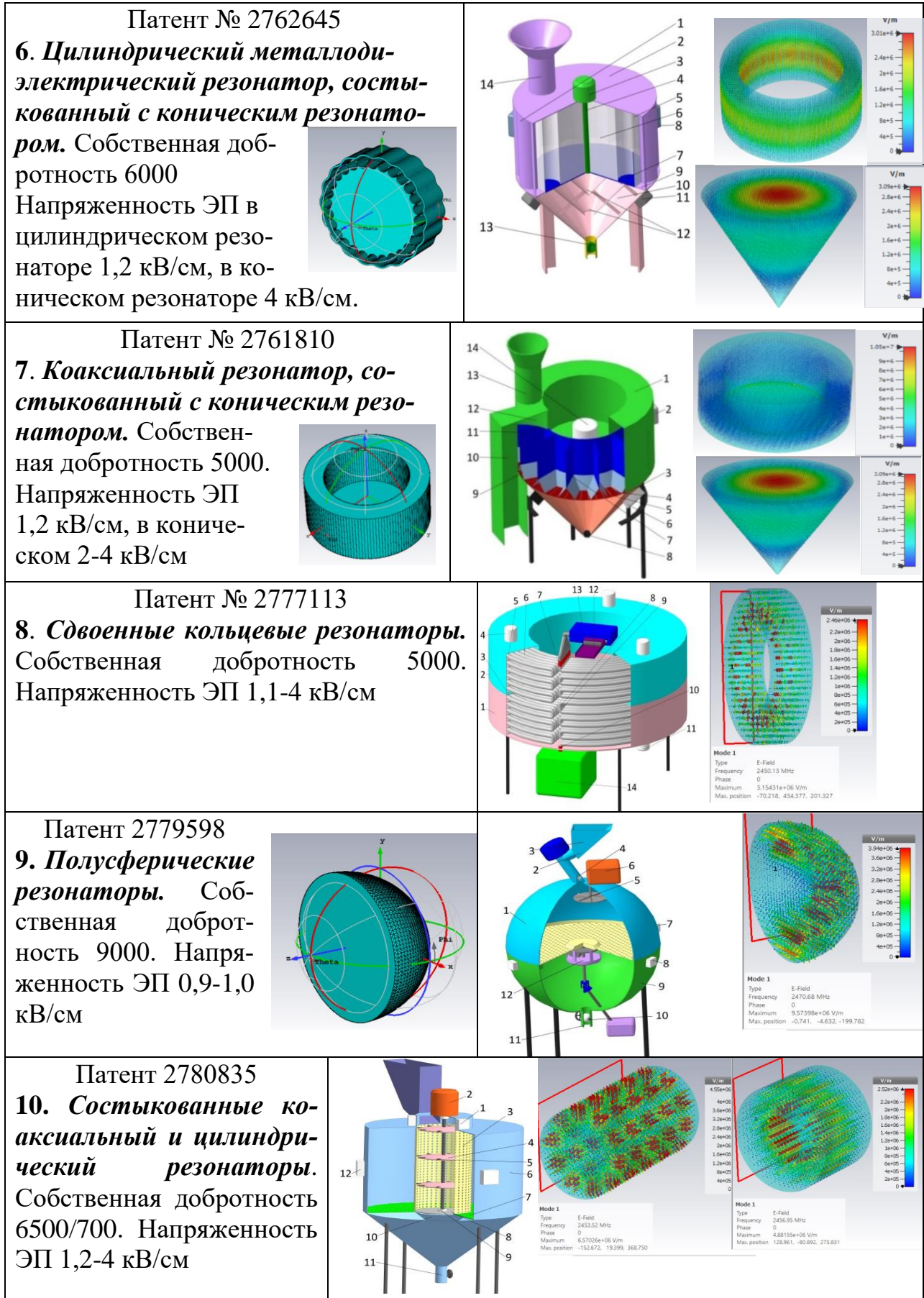


Рисунок 2.51 – Сводные данные электродинамических параметров СВЧ-размораживателей с разными конфигурациями резонаторов

2.15 Обоснование выбора эффективного конструктивного исполнения СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных

Разработанные в научной школе СВЧ-размораживатели для дефростации и разогрева молозива животных приведены на рис. 2.51. Результаты анализа оценочных параметров этих размораживателей приведены рис. 2.52. Проведена оценка соответствия каждого резонатора по оптимальным критериям путем расчета наименьших отклонений. С учетом полученных значений собственной добротности (1), напряженности ЭП (2), мощности потока излучений (3), равномерности дефростации молозива (4), металлоемкости (5) для каждого резонатора (5 шт.) составлена таблица 2.4, и проведен расчет отклонения величин от среднего значения по всей совокупности критериев. Для абсолютной количественной оценки различий между пятью СВЧ-размораживателями значениями признаков в изучаемой совокупности использовали оценку отклонений фактических значений от среднего уровня. Чем больше различия между вариантами признака, тем больше и их отклонения от среднего уровня. Существует два основных подхода к усреднению отклонений фактических значений от среднего значения: 1) используют абсолютные значения отклонений и в результате получают показатель, называемый среднее линейное отклонение; 2) отклонение возводят в квадрат и получают среднее квадратичное отклонение. Мы проводили статистический анализ показателей вариации, т.е. показателей, характеризующих отклонения от среднего уровня (среднее линейное отклонение) (рис. 2.53). Величину, характеризующую отклонения, рассчитывали по формуле [22]:

$$K = \frac{\sum |(x_y - \bar{x}_i) / \bar{x}_i|}{5}, \quad (2.110)$$

где \bar{x}_i – среднее значение по интервалам, соответствующего критерия; x_y – значение критерия.

Результаты оценки резонаторов номерами 4, 6, 7 по критериям проектирования СВЧ размораживателей приведены в виде диаграммы на рис. 2.53.

СВЧ-размораживатели для дефростации и разогрева молочива животных с результатами исследования электродинамических параметров	
Патент № 753424 2. Состыкованные тороидальные резонаторы для измельченного замороженного сыря Собственная добротность 6500. Напряженность ЭП 5-6 кВ/см.	
Патент № 2752938 3. Состыкованные конический и тороидальный резонаторы для сыря, замороженного в виде брикетов Собственная добротность 7000. Напряженность ЭП 1,1 кВ/см, в тороидальном резонаторе – 1,2 кВ/см.	
Патент № 2775137 4. Состыкованные конические резонаторы Собственная добротность 7000. Напряженность ЭП 1,2 кВ/см.	
Патент № 2762645 6. Цилиндрический металлодиэлектрический резонатор, состыкованный с коническим резонатором. Собственная добротность 6000. Напряженность ЭП 2-4 кВ/см, в коническом резонаторе – 4 кВ/см.	
Патент № 2761810 7. Коаксиальный резонатор, состыкованный с коническим резонатором. Собственная добротность 6500. Напряженность ЭП 1,2 кВ/см, в коническом – 2-4 кВ/см.	

Рисунок 2.52 – Сводная таблица СВЧ-размораживателей молочива для оценки эффективной конструкции резонаторов (номера установок приняты в соответствии с рисунком 2.51)

Таблица 2.4 – Оценка резонаторов по основным критериям

Параметр	Номера установок (см. рис. 2.42)					Среднее (идеальные параметры)
	2. Состыкованные тороидальные резонаторы	3. Состыкованные конический резонатор с тороидальным	7. Состыкованные коаксиальный резонатор с коническим	6. Состыкованные цилиндрический резонатор с коническим	4. Состыкованные конические резонаторы	
Собственная добротность первого резонатора, 10^3	6,5	7	6,5	6	7	8

Собственная добротность второго резонатора, $\times 10^3$	6,5	6	7	7	7	8
Напряженность ЭП в первом резонаторе, кВ/см.	1,2	1,1	1,2	0,6	1,1	1,2
Напряженность ЭП во втором резонаторе, кВ/см	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2
Мощность потока излучений СВЧ-размораживателем, мкВт/см ²	50	40	10	10	10	10
Равномерность дефростации замороженного молозива, отн. ед.	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
Равномерность разогрева размороженного молозива, отн. ед.	0,6	0,6	0,7	0,9	0,9	0,9
Металлоемкость, кг (алюминиевый лист)	36	35	33	30	30	35
<i>Значение отклонения</i>	0,606	0,488	0,077	0,120	0,052	

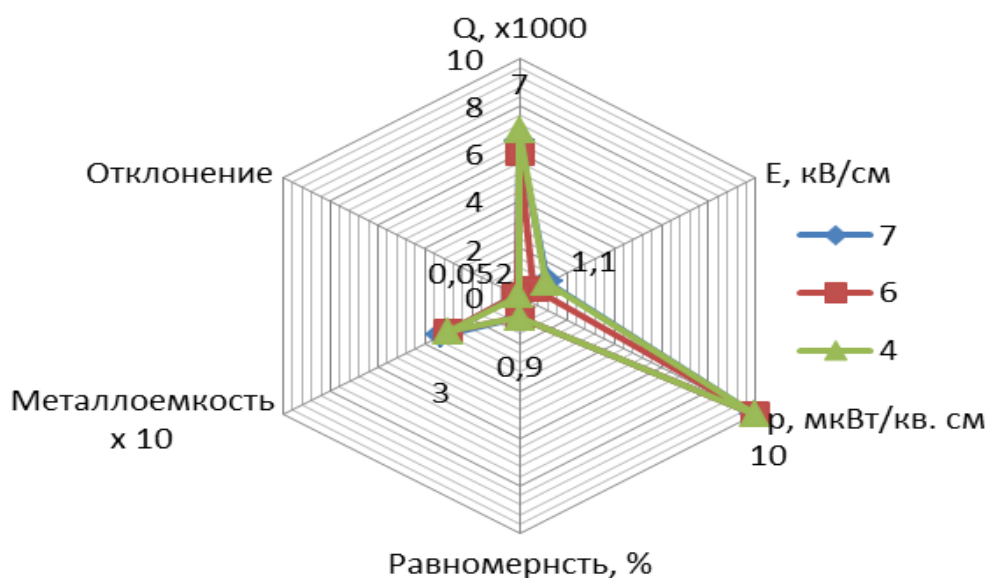


Рисунок 2.53 – Оценка резонаторов по критериям проектирования установок для дефростации молозива животных: 1 ряд – собственная добротность; 2 ряд – напряженность ЭП, кВ/см; 3 ряд – мощность потока излучений, мВт/см²; 4 ряд – равномерность дефростации молозива, отн. ед.; 5 ряд – металлоемкость, кг; 6 ряд – отклонение от среднего значения; *лучи* соответствуют номерам СВЧ установок: № 7, № 6, № 4

Оценка отклонения от среднего значения интервалов варьирования критериев, характеризующих электродинамические параметры резонаторов, показывает, что наименьшее отклонение (0,052, 0,077, 0,12) от среднего значения по пяти критериям имеют следующие СВЧ-размораживатели:

- с двумя коническими резонаторами (№ 4);
- с коаксиальным резонатором, состыкованным с коническим резонатором (№ 7);
- с состыкованными цилиндрическим и коническим резонаторами (№ 6).

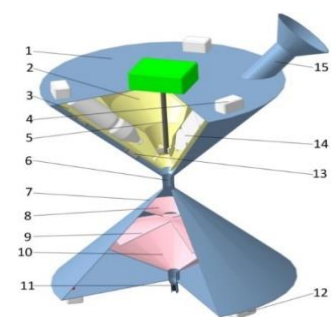
Сравнивали также и другие установки, позволяющие размораживать измельченное замороженное молоко с установками, предназначенными для размораживания замороженного сырья в пластиковых бутылках, таких как: конический (№ 4); коаксиальный (№ 7); со сдвоенными кольцевыми резонаторами (№ 8); с полусферическими резонаторами (№ 9), с точки зрения уменьшения продолжительности дефростации и разогрева молока животных (рис. 2.54).

СВЧ-размораживатели для дефростации и разогрева молока животных с результатами исследования электродинамических параметров

Патент № 2775137

4. Состыкованные конические резонаторы:

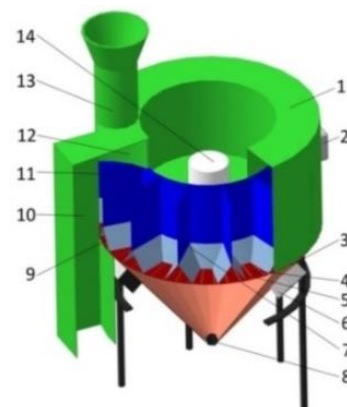
собственная добротность 7000, напряженность ЭП 1,2-4 кВ/см, производительность размораживателя 25-30 л/ч, продолжительность дефростации и разогрева 25 мин., мощность потока излучений 50 мкВт/см², удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев коровьего молока 0,176-0,212 кВт·ч/кг.



Патент № 2761810

7. Коаксиальный резонатор, состыкованный с коническим резонатором:

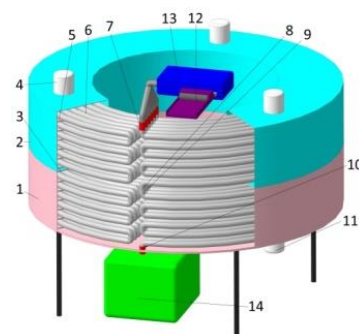
собственная добротность 6500, напряженность ЭП в коаксиальном резонаторе 1,2 кВ/см, в коническом резонаторе 2-4 кВ/см, производительность размораживателя 25-30 л/ч, продолжительность дефростации и разогрева 25 мин., мощность потока излучений 50 мкВт/см², удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев коровьего молока 0,176-0,212 кВт·ч/кг.



Патент № 2777113

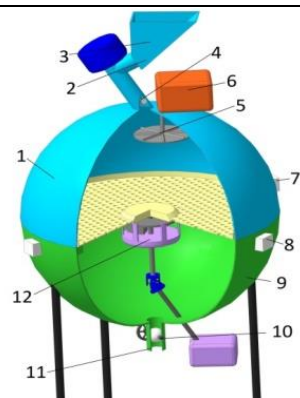
8. Сдвоенные кольцевые резонаторы:

собственная добротность 6500, напряженность ЭП 1-4 кВ/см, производительность размораживателя 30-35 л/ч, продолжительность дефростации и разогрева 21 мин., мощность потока излучений 10 мкВт/см², удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молока 0,174-0,204 кВт·ч/кг.



Патент № 2779598

9. Полусферические резонаторы: собственная добротность 9000, напряженность ЭП 0,9-1,0 кВ/см, производительность размораживателя 35-40 л/ч, продолжительность дефростации и разогрева 19 мин., мощность потока излучений 10 мкВт/см², удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молозива 0,153-0,174 кВт·ч/кг.



Патент № 2780835

10. Состыкованные коаксиальный и цилиндрический резонаторы:

собственная добротность 6500-7000, напряженность ЭП 1,2-4 кВ/см, производительность размораживателя 35-38 л/ч, продолжительность дефростации и разогрева 18 мин., мощность потока излучений 10 мкВт/см², удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молозива 0,154-0,175 кВт·ч/кг.

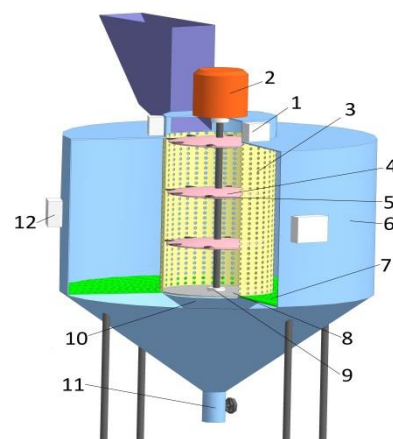


Рисунок 2.54 – Сводная таблица СВЧ-размораживателей для оценки эффективной конструкции резонаторов

Оценка по критериям, которые характеризуют продолжительность процесса и энергетические затраты при размораживании измельчённого молозива, показывает, что наименьшим отклонением (0,052-0,092) обладают СВЧ-размораживатели:

№ 10 – с состыкованными коаксиальным и цилиндрическим резонаторами,
 № 8 – со сдвоенными кольцевыми резонаторами и насосом,
 № 9 – с полусферическими резонаторами и диском (рис. 2.45).

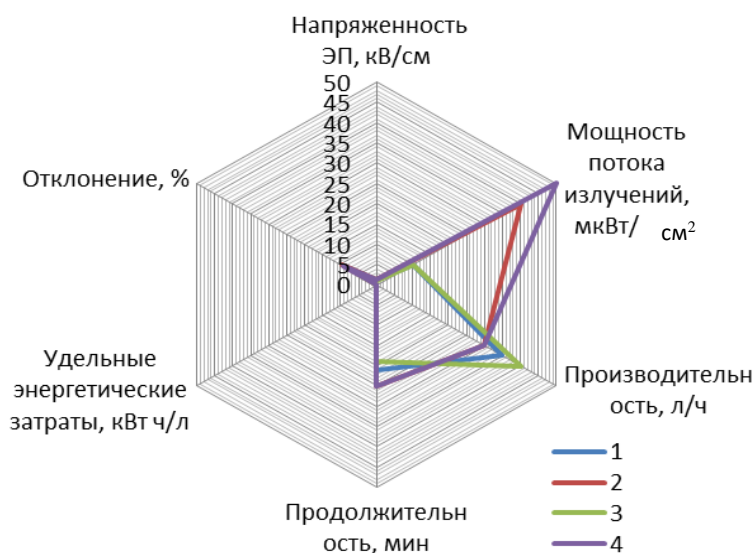


Рисунок 2.55 – Оценка резонаторов для дефростации молозива: по критериям проектирования

Таблица 2.5 – Оценка резонаторов по основным критериям

Параметр	Номера установок (см. рис. 2.30)					Среднее (идеальные параметры)
	10. С со- стыко- ванными коакси- альным и цилин- дриче- ским	8. Со- двоенны- ми коль- цевыми резонато- рами и насосом	7. Со- стыко- ванные коакси- альный резона- тор с ко- ническим	9. С полу- сфери- чески- ми ре- зонато- рами и диском	4. Со- стыко- ванные кониче- ские ре- зона- торы	
Напряженность ЭП, кВ/см	1,1	1,1	1,1	0,9	1,2	1,2
Мощность потока излу- чений СВЧ- размораживателем, мкВт/см ²	20	10	50	10	50	10
Производительность, л/ч	38	35	30	40	30	40
Продолжительность все- го процесса, мин.	18	21	25	19	25	19
Удельные энергетиче- ские затраты на дефро- стацию и разогрев моло- зива, кВт·ч/кг	0,175	0,174	0,176	0,153	0,176	0,153
<i>Значение отклонения</i>	0,092	0,0901	0,9598	0,05	0,9432	

2.16 Обеспечение безопасности по электромагнитному фактору для персонала

Если идет излучение электромагнитных волн из прямоугольного отверстия размерами $2a \times 2b$ (когда отсутствует запердельный волновод), то можно воспользоваться теоретическим решением, пользуясь формулой Кирхгофа, утверждающей, что решение скалярного уравнения в произвольной точке, находящейся внутри замкнутой поверхности S , выражается интегралом [8, 9]. Рассмотрим поле, существующее на расстоянии от коаксиального резонатора, большем по сравнению с длиной волны λ (12,24 см). Анализируем относительно составляющей E_y вектора напряженности электрического поля в точке наблюдения P по методике Стрекалова А. В. [218]:

$$\dot{E}_y(P) = -\frac{1}{4\pi} \cdot \int_S \left[\frac{e^{-j\beta r}}{r} \cdot \frac{\partial \dot{E}_y}{\partial z} - \dot{E}_y \cdot \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{e^{-j\beta r}}{r} \right) \right] \cdot dS, \quad (2.111)$$

где $\partial / \partial z$ – производная по направлению внутренней нормали; r – длина отрезка между точкой наблюдения P и переменной точкой интегрирования;

$$\beta = \omega \cdot \sqrt{\varepsilon_o \cdot \mu_o}, \quad \varepsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}, \quad \mu_o = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}, \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f.$$

Интегрирование проводим по площади отверстия. Пусть Q – точка на отверстии с координатами x, y, z . P – точка наблюдения с координатами ξ, η, ζ .

$$\text{Тогда:} \quad r = \sqrt{(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 + (\zeta - z)^2}. \quad (2.112)$$

Обе производные, входящие в выражение, равны:

$$\left. \frac{\partial \dot{E}_y}{\partial z} \right|_{z=0} = j \cdot \beta \cdot E_o, \quad \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{e^{-j\beta r}}{r} \right) = \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{e^{-j\beta r}}{r} \right) \frac{\partial}{\partial z} = - \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{e^{-j\beta r}}{r} \right) \frac{\partial r}{\partial \zeta}, \quad (2.113)$$

где E_o – напряженность электрического поля в коаксиальном резонаторе,

$\partial \zeta / \partial r = \zeta / r = \cos \vartheta$, ϑ – угол между нормалью к загрузочному отверстию и отрезком PQ .

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{e^{-j\beta r}}{r} \right) = - \left(\frac{j \cdot \beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right) e^{-j\beta r}. \quad (2.114)$$

$$\text{Тогда:} \quad \dot{E}_y(P) = \frac{E_o}{4\pi} \cdot \int_S \left[j \cdot \beta \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{r} \cdot (1 + \cos \vartheta) + \frac{\cos \vartheta}{r^2} \cdot e^{-j\beta r} \right] \cdot dS. \quad (2.115)$$

$$\dot{E}_y(P) \approx \frac{j \cdot E_o \cdot \beta}{4 \cdot \pi} (1 + \cos \vartheta) \cdot \int_S \frac{e^{-j\beta r}}{r} \cdot dS. \quad (2.116)$$

Формула Баскакова А. И. [59] показывает, что в точке наблюдения (P) есть суперпозиция полей от бесконечно малых излучающих площадок. Если расстояние от центра загрузочного отверстия до точки наблюдения обозначим через r_o , то:

$$r \approx \sqrt{r_o^2 - 2x \cdot \xi - 2y \cdot \eta} \approx r_o - \frac{x \cdot \xi}{r_o} - \frac{y \cdot \eta}{r_o} \approx r_o - x \cdot \cos \vartheta_1 - y \cdot \cos \vartheta_2, \quad (2.117)$$

где ϑ_1 и ϑ_2 – углы, образованные вектором r_o и осями x и y соответственно.

$$\begin{aligned} \text{Тогда:} \quad \dot{E}_y(P) &= \frac{j \cdot E_o \cdot \beta}{4 \cdot \pi \cdot r_o} \cdot e^{-j\beta r_o} \cdot (1 + \cos \vartheta) \int_{-a}^a e^{j\beta \cdot x \cdot \cos \vartheta_1} \cdot dx \cdot \int_{-b}^b e^{j\beta \cdot y \cdot \cos \vartheta_2} \cdot dy = \\ &= \frac{j \cdot E_o \cdot \beta \cdot a \cdot b}{\pi} \cdot \frac{e^{-j\beta r_o}}{r_o} \cdot (1 + \cos \vartheta) \cdot \frac{\sin(\beta \cdot a \cdot \cos \vartheta_1)}{\beta \cdot a \cdot \cos \vartheta_1} \cdot \frac{\sin(\beta \cdot b \cdot \cos \vartheta_2)}{\beta \cdot b \cdot \cos \vartheta_2}. \end{aligned} \quad (2.118)$$

Считается, что в процессе распространения волны фаза поля излучения отстает пропорционально расстоянию от СВЧ-размораживателя R на угол $\varphi = 2 \pi \cdot R / \lambda$. Тогда, излучатель возбуждает в пространстве сферическую волну, амплитуда которой пропорциональна расстоянию R от СВЧ-размораживателя E .

Элементарный электрический излучатель (диполь Герца) длины l и амплитуды тока в пучности I имеет составляющие электрического поля на расстоянии r [218]:

$$\begin{aligned} \dot{E}_r &= \frac{I \cdot l}{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot \omega \cdot \varepsilon_a \cdot r^3} \cdot (1 + j \cdot k \cdot r) \cdot \cos \theta \cdot e^{-j \cdot k \cdot r}; \\ \dot{E}_\theta &= \frac{I \cdot l}{j \cdot 4 \cdot \pi \cdot \omega \cdot \varepsilon_a \cdot r^3} (1 + j \cdot k \cdot r - k^2 \cdot r^2) \cdot \sin \theta \cdot e^{-j \cdot k \cdot r}, \end{aligned} \quad (2.121)$$

где $k = 2 \pi / \lambda$; λ – длина волны; ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды.

Приближенные выражения для составляющих поля:

– в ближней зоне ($r/\lambda \ll 1$):

$$\dot{E}_r = -j \cdot \frac{I \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot \omega \cdot \varepsilon_a \cdot r^3} \cdot \cos \theta; \quad \dot{E}_\theta = -j \frac{I_{cm.э} \cdot l}{4 \pi \omega \varepsilon_a r^3} \sin \theta. \quad (2.122)$$

– в дальней зоне ($r/\lambda \geq 1$): $\dot{E}_\theta = j \cdot \frac{I \cdot l}{2 \cdot \lambda \cdot r} \cdot Z_c \cdot \sin \theta \cdot e^{-j \cdot k \cdot r}$.

Мощность излучения и сопротивление излучения:

$$P_\Sigma = \frac{\pi \cdot Z_c \cdot (I \cdot l)^2}{3 \cdot \lambda^2}, \quad R_\Sigma = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot Z_c \cdot (l / \lambda)^2. \quad (2.123)$$

Для вакуума сопротивление среды $Z_c = 120 \cdot \pi$, следовательно,

$$R_\Sigma = 80 \cdot \pi^2 \cdot (l / \lambda)^2. \quad (2.124)$$

Волновое сопротивление коаксиального резонатора:

$$Z_\varepsilon \approx 120 \cdot \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \cdot \ln \left(\frac{2D-d}{d} \right), \text{ м.} \quad (2.125)$$

$$Z_\varepsilon \approx 120 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{8,85 \cdot 10^{-12}}} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 1,14 - 0,86}{0,86} \right) = 2,26 \cdot 10^4 \text{ Ом}, \quad (2.126)$$

Характеристическое и волновое сопротивления для коаксиального резонатора, погонные параметры и переносимая мощность определяются выраже-

ниями [218]:
$$Z_C^T = 120 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{8,85 \cdot 10^{-12}}} = 1,42 \cdot 10^5 \text{ Ом}, \quad (2.127)$$

$$Z_\varepsilon = 60 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{8,85 \cdot 10^{-12}}} \cdot \ln \frac{D}{d} = 60 \cdot 376 \cdot \ln \frac{1,14}{0,86} = 6,36 \cdot 10^3 \text{ Ом}, \quad (2.128)$$

$$L_1 = \frac{\mu_a}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{D}{d} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{6,28} \cdot \ln \frac{1,14}{0,86} = 0,564 \cdot 10^{-7} \text{ Гн / м}, \quad (2.129)$$

$$C_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_a}{\ln \frac{D}{d}} = \frac{6,28 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{\ln \frac{1,14}{0,86}} = 197 \cdot 10^{-12} \text{ Ф / м}. \quad (2.130)$$

$$P = \frac{U^2}{120} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_o \cdot \varepsilon}{\mu_o \cdot \mu} \cdot \frac{1}{\ln \frac{D}{d}}} = \frac{4076^2}{120} \cdot \sqrt{\frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 16}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1} \cdot \frac{1}{\ln \frac{1,14}{0,86}}} = 2770 \text{ Вт}. \quad (2.131)$$

Коэффициент ослабления, обусловленный сопротивлением корпуса резонатора:

$$\alpha_m = \sqrt{\frac{\varepsilon_o}{\mu_o}} \cdot \frac{\frac{R_{S1}}{d} + \frac{R_{S2}}{D}}{120 \cdot \pi \cdot \ln \frac{D}{d}}, \quad (2.132)$$

где R_{S1} и R_{S2} – поверхностные сопротивления алюминия внутреннего и внешнего цилиндров, соответственно.

Поток излучений энергии ослабевает обратно пропорционально квадрату расстояния. На расстоянии 1,7 м уровень излучения ниже нормы.

Эффективность экранирования корпуса коаксиального резонатора определяли по методике А. В. Нетушила [138]:

$$\mathcal{E} = A \cdot \sigma \cdot \left| S \cdot \Delta \cdot \sqrt{(1-j)} \cdot d \right|, \quad (2.133)$$

где $A = 18,8 \cdot 10^3 \text{ Ом/м}^3$; σ – удельная проводимость алюминия ($36 \cdot 10^6 \text{ См/м}$); $\Delta = 1,72 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ – толщина поверхностного слоя, м; S – площадь поверхности коаксиального резонатора ($1,4 \text{ м}^2$); $d = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

$$\mathcal{E} = 18,8 \cdot 10^3 \cdot 36 \cdot 10^6 \cdot \left| 1,4 \cdot 1,72 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{(1-j)} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \right|, \quad \mathcal{E} = 3,26 \cdot 10^4.$$

Эффективность экранирующего корпуса коаксиального резонатора из алюминия достаточно высокая, порядка $3,26 \cdot 10^4$. Допустимый уровень поля радиопомех, создаваемых СВЧ-размораживателя, 10^4 , составляет 80 децибел.

С целью предотвращения излучения через **запредельный волновод** проведен примерный расчет его диаметра и длины. Радиус запредельного волновода, в соответствии с диаметром пластиковых бутылок, составляет $R = 3-4 \text{ см}$. Погонное затухание на каждом сантиметре длины запредельного волновода H_{11} составит: $L = 16/R = 16/(3...4) = (4...5,3) \text{ дБ/см}$ [6, стр. 65]. При мощности СВЧ генератора 2,4 кВт допустимая мощность вне запредельного волновода составляет 2,4 мВт, то на длине волновода l должно быть ослабление $2,4 \text{ кВт}/2,4 \text{ мВт} = 10^6$ раз. Тогда длина запредельного волновода должна быть $l = 60/L =$

60/(4...5,33) = 11...15 см. Расчеты показывают, что при длине запредельного волновода 11-15 см с диаметром 6-8 см безопасный уровень излучения может быть получен.

Резонансная частота в коаксиальном резонаторе:

$$\omega_{рез}^{T_1} = \frac{\pi}{\sqrt{\mu_a \cdot \varepsilon_a \cdot l}} = \frac{3,14}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,47}} = 2 \cdot 10^9 \text{ рад/с.} \quad (2.134)$$

Следовательно, резонансная частота $f = 3191$ МГц, ($f = \omega/2\pi$).

Как уже было отмечено выше, что добротность объемного резонатора определяют как отношение энергии электромагнитного поля, запасенной в резонаторе, к энергии, теряемой за период собственных колебаний. Основная доля потерь происходит из-за потерь в металлических частях резонатора.

Собственная добротность цилиндрического резонатора [218]:

$$\begin{aligned} \text{для колебания } E_{010}: \quad Q &= \frac{\omega_{рез} \cdot \mu_a \cdot a \cdot l}{2 \cdot R_s \cdot a + l}, \\ \text{для колебания } E_{011}: \quad Q &= \frac{\omega_{рез} \cdot \mu_a \cdot a \cdot l}{2 \cdot R_s \cdot 2a + l}, \\ \text{для колебания } H_{011}: \quad Q &= \frac{\omega_{рез} \cdot \mu_a \cdot \omega_{рез}^2 \cdot \varepsilon_a \cdot \mu_a \cdot \alpha^2 \cdot l}{2 \cdot R_s \cdot \left(\mu_0^2 \cdot \frac{l}{a} + \pi^2 \cdot \frac{a^2}{l^2} \right)}. \end{aligned} \quad (2.135)$$

R_s – поверхностное сопротивление корпуса резонатора (неферромагнитного материала-алюминия) [218, 227].

2.17 Определение предельной энергии, накапливаемой в коаксиальном резонаторе на основном типе колебаний

Зная размеры коаксиального резонатора: $D = 1,14$ м, $d = 0,86$ м, высотой $l = 33$ см, проведем исследование по методике А.И. Баскакова [59, стр. 138] Электрическое поле основной волны в коаксиальном резонаторе имеет только

$$\text{радиальную составляющую: } E_r = \frac{A}{r} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot z}{l}\right), \quad (2.136)$$

где z – по направлению оси z ; A – коэффициент зависит от максимальной напряженности и диаметра d ;

$$A = d \cdot E_{\max} / 2. \quad (2.137)$$

Энергию, запасенную в объеме резонатора любого типа, можно определить по формуле:

$$W = \int_V \varepsilon_a \cdot \frac{E^2}{2} \cdot dV,$$

где E – амплитудное значение напряженности электрического поля; интегрирование ведется по объему резонатора.

Отсюда
$$W = \frac{\pi}{2} \cdot \varepsilon_a \cdot A^2 \cdot l \cdot \ln \frac{D}{d}. \quad (2.138)$$

Максимальная напряженность электрического поля существует в середине резонатора, при интерференции поля от трех источников она равно 0,6-1 кВ/см.

Тогда запасенная энергия составляет:

$$W = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot d^2 \cdot \frac{\pi}{8} \cdot E_{\max}^4 \cdot l \cdot \ln \frac{D}{d}. \quad (2.139)$$

$$W = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,86^2 \cdot \frac{\pi}{8} \cdot 1000^4 \cdot 0,33 \cdot \ln \frac{1,14}{0,86} = 0,24 \text{ Дж}.$$

Определим, какой тип колебаний в резонаторе является основным, и вычислим резонансную частоту по методике Баскакова С. И. [59, стр. 141]. В разработанном резонаторе низшими типами являются колебания, имеющие наиболее простую структуру поля. Основной тип колебания коаксиального резонатора – это тип E_{010} . Резонансная частота определяется из уравнения Гельмгольца относительно продольной составляющей электрического поля E_z . При этом учтем, что составляющая E_z не зависит от φ и z .

Тогда уравнение можно представить:
$$\frac{\partial^2 \dot{E}_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \dot{E}_z}{\partial r} + \beta^2 \cdot \dot{E}_z = 0. \quad (2.140)$$

где β – коэффициент фазы или волновое число, характеризующее изменение фазы гармонических колебаний при распространении волны.

$$\beta = \omega \cdot \sqrt{\varepsilon_o \cdot \mu_o} = \omega \cdot \sqrt{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1,256 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 3,334 \cdot 10^{-3} = 51,3 \cdot 10^6.$$

Длина волны $\lambda = 2\pi/\beta = 6,28/51,3 \cdot 10^6 = 12,24$ см.

Решение данного уравнения
$$\dot{E}_z = C_1 \cdot J_0 \cdot (\beta \cdot r) + C_2 \cdot N_0 \cdot (\beta \cdot r). \quad (2.141)$$

Граничные условия $\dot{E}_z|_{r=d/2} = 0, \dot{E}_z|_{r=D/2} = 0.$

$$C_1 \cdot J_0 \cdot \left(\beta \cdot \frac{d}{2}\right) + C_2 \cdot N_0 \cdot \left(\beta \cdot \frac{d}{2}\right) = 0. \quad C_1 \cdot J_0 \cdot \left(\beta \cdot \frac{D}{2}\right) + C_2 \cdot N_0 \cdot \left(\beta \cdot \frac{D}{2}\right) = 0. \quad (2.142)$$

Тогда
$$J_0 \cdot \left(\beta \cdot \frac{d}{2}\right) \cdot N_0 \cdot \left(\beta \cdot \frac{D}{2}\right) - J_0 \cdot \left(\beta \cdot \frac{D}{2}\right) \cdot N_0 \cdot \left(\beta \cdot \frac{d}{2}\right) = 0. \quad (2.143)$$

Значения корней уравнения можно определить с учетом корней функции Бесселя. Коаксиальный резонатор представляет собой систему из двух соосных неферромагнитных цилиндров с диаметрами d и D , разделенных слоем диэлектрика с проницаемостями ε_a и μ_a . Характеристическое сопротивление волны в линии без потерь $Z_c = \sqrt{\mu_a / \varepsilon_a} = 120 \cdot \pi \cdot \sqrt{\mu / \varepsilon}$, Ом., Ом.

$$P = \frac{E_{\max}^2 \cdot d^2}{120} \cdot \frac{\varepsilon}{\mu} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} = \frac{1500^2 \cdot 0,86^2}{120} \cdot \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 16}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{1}{\ln\left(\frac{1,14}{0,86}\right)} = 2773 \text{ Вт.} \quad (2.144)$$

В коаксиальном резонаторе волны электрического типа являются высшими типами волн, и они могут возникать как паразитные. Для подавления их надо, чтобы частота колебаний удовлетворяла неравенству:

$$\omega \leq \frac{4}{\sqrt{\mu_a \cdot \varepsilon_a} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{0,86}\right)^2 + \left(\frac{1}{1,14}\right)^2}} \leq \frac{4}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{0,86}\right)^2 + \left(\frac{1}{1,14}\right)^2}} \quad (2.145)$$

$$\leq \frac{4}{3,334 \cdot 10^{-9} \cdot 2} \leq 16479 \cdot 10^6 \text{ рад/с.} \quad f \leq 2624 \text{ МГц.}$$

При работе **двух магнетронов** открываются новые возможности для улучшения использования СВЧ энергии. Если генераторные частоты несколько отличны друг от друга, то можно получить более равномерное распределение плотности СВЧ энергии по объему, в котором происходит технологический процесс. В качестве источника излучений в СВЧ-размораживателе используется магнетрон с анодным напряжением 3,6 кВ, анодным током 270 мА и рабочей частотой 2400-2500 МГц. Собственная частота, например, в *призматическом*

резонаторе определяется по формуле [218]: $f_{\text{vnp}} = \frac{c}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{L}\right)^2}$. (2.146)

Число собственных колебаний призматического резонатора в полосе частот $0 \leq f \leq f_{\max}$ может быть оценено с помощью криволинейной аппроксимации

уравнения
$$N = \frac{8 \cdot \pi \cdot V}{3} \cdot \left(\frac{f}{c}\right)^3 + \frac{\pi \cdot S}{2} \cdot \left(\frac{f}{c}\right)^2 + (a + b + L) \cdot \left(\frac{f}{c}\right). \quad (2.147)$$

Уравнение позволяет с достаточной точностью определить число возможных резонансных частот в объемном резонаторе в полосе рабочей частоты питающего магнетрона. Так, если используется магнетрон с рабочей полосой частот от 2400 до 2500 МГц и $a+b+L = 3 \cdot a = 1,3$ м, $S = 6 a^2 = 1,123$ м²,

$V = 81$ дм³, то внутри рабочей частоты возможно возбуждение числа колебаний $\Delta N = N_2 - N_1 = 527 - 472 = 55$, половина из них вырожденные колебания.

Добротность пустого резонатора целесообразно оценить по соотношению

$$Q_0 = k_T \cdot 2 \cdot V / S \cdot \Delta, \quad Q_0 = 2,38 \cdot 10^4 \cdot k_T \quad (2.148)$$

где V – объем, S – площадь внутренней поверхности, $\Delta = 6,8 \cdot 10^{-6}$ м – скин слой, $k_T = 0,4-0,5$. Тогда собственная добротность призматического резонатора равна 10000, а нагруженная добротность – 2500.

Расчет воздушного охлаждения магнетрона

При конструировании размораживателя необходимо определить параметры системы воздушного охлаждения магнетрона, обеспечивающей рабочую температуру анода ≤ 120 °С. Для этого необходимо решить уравнение теплопередачи при обтекании турбулентным потоком воздуха стенок канала диаметром D [66]. Тепловой поток от ребра:

$$Q_p = \eta_p \cdot \alpha_t \cdot S_p \cdot (T_p - T_v), \quad (2.149)$$

где η_p – КПД ребра, S_p – обдуваемая поверхность, T_p – температура на поверхности ребра с анодом, T_v – температура обдувающего воздуха, α_t – коэффициент конвективной теплопередачи ребра

Методика расчета воздушного охлаждения магнетрона основана на определении коэффициента конвективной теплопередачи ребер, для этого необходимо рассчитать числа Нуссельта, Рейнольдса, вычислить скорость и расход обдувающего воздуха. Магнетрон обдувается воздухом температурой 18-20 °С.

2.18 Результаты оценки преимущества разработанной СВЧ технологии тепловой обработки сырья по сравнению с базовыми способами

Для выполнения дефростации молозива применяют отдельные размораживатели. Процессы переработки сырья энергоемкие. Режимы технологических процессов и конструкции установок определяются электромеханическими

свойствами сырья и видом конечной продукции. Вязкость сырья влияет на коэффициент объемного заполнения рабочего органа.

Известны дефростеры и технологии для переработки *замороженного* мягкого жиросодержащего сырья. Технология также включает измельчение способом дробления и тепловую обработку. Качество вытопленного жира и уничтожение патогенной микрофлоры зависит от температуры, продолжительности и способа тепловой обработки [114, стр. 322].

Удельная теплота (q , Дж/кг), необходимая для обработки вязкого сырья, идет на нагрев, денатурацию белка, испарение влаги:

$$q = c_n \cdot (T_{пл} - T_n) + b_{ж} \cdot r_{ж} + c_k \cdot (T_k - T_{пл}) + a \cdot (T_k - T_n) + b \cdot r_b, \quad (2.150)$$

где c_n, c_k – теплоемкость сырья до и после плавления сырья, Дж/кг·°С;
 $T_n, T_{пл}, T_k$ – температура сырья начальная, плавления сырья, конечная, С;
 $b_{ж}$ – массовая доля жира в сырье, кг/кг; b – массовая доля испарившейся воды, кг/кг; $r_{ж}$ – скрытая теплота плавления жира, Дж/кг (121-151 Дж/кг); r_b – скрытая теплота испарения воды, Дж/кг; a – энергия, идущая на денатурацию белка при изменении его температуры на 1 °С, Дж/кг·°С. ($a = 0,84-1,26$ Дж/кг·°С); теплоемкость жира до плавления $c_n = (1,3-3) \cdot 10^3$ Дж/кг·°С, после плавления $c_k = (1,3-3) \cdot 10^3$ Дж/кг·°С; скрытая теплота испарения воды $r_b = (2480-2,27 T) \cdot 10^3$ Дж/кг;
 T – температура испарения воды, °С.

Как видно из формулы, что удельная теплота не зависит от способа подвода энергии, но продолжительность достижения необходимых температур в сырье определяется характеристиками процесса: видом подвода энергии; интенсивностью переноса теплоты и массы; соотношением объема, площади поверхности, размера сырья и его электрофизических параметров. Интенсифицировать процесс теплообмена можно, повышая температуру теплопередающей среды (до 120-130 °С), изменяя условия теплообмена, увеличивая поверхности передачи теплоты при постоянной массе сырья.

Например, дробление замороженного молозива (25-30 мм) ускоряет внутренний перенос теплоты теплопроводностью. Дробить замороженное сырье можно до нагрева или совмещать с процессом нагрева. При размораживании теплофизические параметры сырья существенно изменяются. Поэтому продол-

жительность процесса размораживания и нагрева необходимо определить для двух фаз: 1) τ_1 – продолжительность нагрева до полного размораживания сырья; 2) τ_2 – продолжительность нагрева до конечной температуры сырья. Эти значения можно определить по критериальным соотношениям [114]:

$$\tau_1 = Fo_1 \cdot l_1^2 / a_1; \quad \tau_2 = Fo_2 \cdot l_2^2 / a_1, \quad (2.151)$$

где Fo_1, Fo_2 – критерии Фурье для первой и второй фаз нагрева сырья; l_1, l_2 – определяющие размеры частиц, м; a_1, a_2 – коэффициенты теплопроводности, м/с.

Например, для жира животного происхождения первой фазы $a_1 = (4,4-5) \cdot 10^{-8}$ м/с, а для второй фазы $a_2 = (1,7-1,9) \cdot 10^{-6}$ м/с [114]. Численные значения критерия Фурье находят через критерий «Био», коэффициенты теплоотдачи (Вт/м²·°С) и теплопроводности сырья (Вт/м·°С). Коэффициенты теплопроводности жира для первой фазы 0,186 Вт/м·°С, для второй – 0,58 Вт/м·°С.

При нахождении продолжительности процесса (с) по темпу нагрева (m , 1/с) процесс также должен быть разделен на фазы: $\tau = \ln \theta_i / m_i$.

$$\text{Темп нагрева сырья по фазам: } m_i = \psi \cdot \alpha \cdot F / (c \cdot \rho \cdot V), \quad (2.152)$$

где ψ – коэффициент неравномерности температурного поля; F – площадь поверхности теплообмена, м²; c – удельная теплоемкость сырья, Дж/кг·°С; V – объем материала, м³.

Коэффициент неравномерности температурного поля зависит от величины критерия «Био» по следующей эмпирической зависимости:

$$\Psi = 0,981 \cdot e^{-0,128 \cdot x} \quad (\text{рис. 2.56}).$$

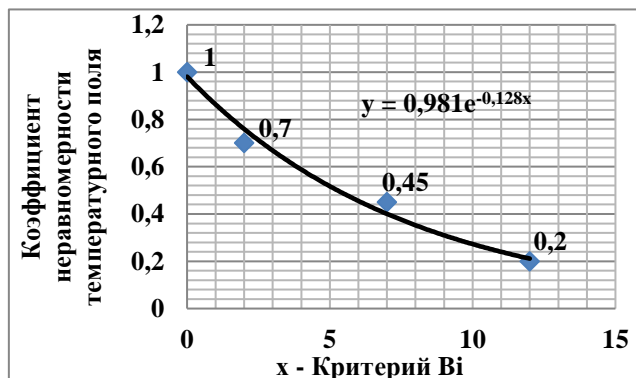


Рисунок 2.56 – Зависимость коэффициента неравномерности температурного поля от критерия «Био» [114]

Величина темпа нагрева зависит от условий теплообмена и формы замороженного сырья. Если замороженное молоко имеет формы:

- цилиндра радиусом R и длиной l , то $m = 2 \cdot \psi \cdot \alpha / (c \cdot \rho \cdot R) \cdot (1 + R/l)$;

- плиты толщиной l , обогреваемой с двух сторон, то $m = 2 \cdot \psi \cdot \alpha / (c \cdot \rho \cdot l)$;
- шара радиусом R , то $m = 3 \cdot \psi \cdot \alpha / (c \cdot \rho \cdot R)$.

(2.153)

При рассмотрении процесса разрушения жировых клеток и выделения жира из сырья путем *эндогенного нагрева*, продолжительность обработки уточняли по результатам экспериментальной проверки с учетом требований технологии. Установлено, что при размораживании сырья с перемешиванием толстого слоя, эффективность диэлектрического нагрева ниже, чем при перемешивании дробленного сырья. При использовании существующих технологий после тепловой обработки сырья получают неоднородные дисперсные системы, состоящие из двух фаз. В жидкой неоднородной среде (в суспензии) могут быть вода, расплавленный жир, белковые ткани, шквара. Для разделения неоднородных систем используют процессы фильтрования, центрифугирования. В разработанных СВЧ-размораживателях по мере размораживания дробленного вязкого сырья происходит фильтрование жидкой части суспензии, как только происходит изменение агрегатного состояния. Отфильтрованная часть суспензии окажется во втором резонаторе, где по мере надобности поддержания температуры жидкого молозива можно включить генераторы на определенную мощность.

2.19 Выводы по разделу

Последовательность проведенных исследований

1. Составлен алгоритм обоснования параметров двухрезонаторных СВЧ-размораживателей для тепловой обработки сырья с учетом температуры фазового превращения.
2. Проведены исследования распределения волн на границе раздела между замороженным и жидким сырьем.
3. Вычислены значения собственной добротности резонаторов.
4. Проведена оценка равномерного распределения мощности излучения в СВЧ-размораживателе непрерывно-поточного действия с металлодиэлектрическим резонатором для дефростации и разогрева молозива животных.

5. Исследована неравномерность эндогенного нагрева замороженного молозива в тарах, в виде эллипсоида вращения.
6. Исследована напряженность электрического поля в конденсаторной зоне тороидальных резонаторов.
7. По результатам моделирования трехмерных структур ЭМП исследованы электродинамические параметры резонаторов, предназначенных для дефростации и разогрева молозива животных, по программе CST Studio Suite.
8. Проведен сравнительный анализ величин собственной добротности резонаторов разного конструктивного исполнения при равном их объеме.
9. Обоснован выбор эффективного конструктивного исполнения СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных.
10. Рассмотрены вопросы обеспечения безопасности по электромагнитному фактору для персонала.
11. Приведена методика определения предельной энергии, которой может быть накоплена в коаксиальном резонаторе на основном типе колебаний.

Выводы

1. Равномерный нагрев сырья происходит, если его толщина не превышает две глубины проникновения волны сантиметрового диапазона. Глубина проникновения волны в замороженное сырье с увеличением температуры от -12 до 0 °С растет с 0,14 см до 0,93 см. При разогреве молозива от 0 до 40 °С, глубина проникновения растет с 1,01 см до 2,17 см.

2. При разработке математической модели процесса взаимодействия электромагнитных волн с сырьем учитывали то, что электрофизические и тепловые параметры являются функцией температуры. Распределение температурного поля в сырье происходит в соответствии с функцией плотности мощности тепловых потерь. Определение температурного поля проводили через систему уравнений теплопроводности с начальными и граничными условиями с учетом температуры фазового перехода и скорости движения границы фазового перехода. Предложена математическая модель процесса взаимодействия электромагнитных волн с сырьем различного агрегатного состояния, описывающая

электромагнитные и тепловые процессы в тороидальных резонаторах с общим перфорированным основанием.

3. Проведены исследования распределение волн на границе раздела между замороженным и жидким сырьем. Скорость нагрева молозива в процессе дефростации увеличивается. Для разогрева молозива от 0 до 39 °С, с учетом уменьшения скорости нагрева, следует обеспечить в резонаторе напряженность ЭП более 1,2 кВ/см.

Коэффициент отражения волн, позволяющий оценить отношение потока отраженной энергии к падающему потоку энергии на границе раздела сред при уменьшении диэлектрической проницаемости с 53 до 44 уменьшается в пределах 10 раз, с 0,47 до 0,047. Следовательно, при мощности генератора 2400 Вт, при температуре фазового превращения генерируется мощность 1300 Вт.

4. Составлено дифференциальное уравнение тепло- массопереноса, пользуясь которым и зная физические свойства молозива можно оценить динамику нагрева сырья в разных агрегатных состояниях.

5. Обосновано конструктивное исполнение СВЧ-размораживателя с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами. Приведены формулы для определения собственной добротности коаксиального резонатора и резонансной длины волны в нем. Собственная добротность коаксиального резонатора с обоснованными размерами составляет 6500. Вычисленная плотность энергии электромагнитных волн при напряженности электрического поля в резонаторе 0,2 кВ/см составляет 10^6 Вт/м², если напряженность ЭП 0,6 кВ/см – то $9 \cdot 10^6$ Вт/м². Вычислена скорость вращения вала электродвигателя для передвижения контейнеров в кольцевом объеме коаксиального резонатора.

6. Оценена равномерность распределения мощности излучения в СВЧ-размораживателе непрерывно-поточного действия с металлодиэлектрическим резонатором для дефростации и разогрева молозива животных. Вычислена пороговая мощность с учетом коэффициента затухания волны в сырье при изменении диэлектрических параметров жидкого молозива в процессе диэлектрического нагрева, позволяющая оценить эффективность обеззараживания сырья.

Она равна 6,85 кВт при напряженности ЭП 0,6 кВ/см и собственной добротности резонатора не менее 3100. При увеличении собственной добротности в два раза можно, при мощности 3 кВт и напряженности ЭП 0,6 кВ/см, получить такой же эффект обеззараживания сырья. Поэтому разработан металлодиэлектрический резонатор, в виде цилиндрического неферромагнитного резонатора, где вместо внутренней трубы коаксиального резонатора установлен керамический сплошной цилиндр с криволинейными поверхностями, что позволяет резко увеличить собственную добротность. Для достижения высокой скорости нагрева сырья в области положительных температур необходимо обеспечить условие нагрева тонкого слоя жидкости с помощью соосно расположенных конических диэлектрических тарелок.

7. Вычислена мощность в сырье в форме эллипсоида, замороженного в пластиковых бутылках, и приращение температуры в нем, с учетом теплового сопротивления, зависящего от размеров эксцентриситете эллипсоида-бутылки и длины волны.

8. Для увеличения напряженности электрического поля разработан СВЧ-размораживатель с состыкованными тороидальными резонаторами, где в конденсаторной части можно достичь необходимой величины. При коническом исполнении резонаторов также можно возбудить ЭМП необходимой напряженности, при определенном угле раствора и высоты.

9. Самой максимальной собственной добротностью до 10000 обладает полусферический резонатор, поэтому разработан СВЧ-размораживатель с состыкованными полусферическими резонаторами, а для ускорения процесса дефростации в процессе воздействия ЭМП СВЧ измельченное сырье дробится на мельчайшие частицы. Приведено выражение, позволяющее согласовать электрические параметры резонатора, диэлектрические параметры сырья с теплоотдающей поверхностью.

10. Ускорить процесс дефростации молозива можно и при перекачивании измельченного сырья с помощью насоса вязкой жидкости по молокопроводу,

уложенному в кольцевой объем коаксиального резонатора, где обеспечена критическая напряженность электрического поля.

Такой же технологический эффект можно получить, если состыковать соосно коаксиальный и цилиндрический резонаторы, размещая молотковую дробилку в центре цилиндра.

11. Результаты исследования электродинамических параметров всех разработанных резонаторов по программе CST Studio Suite 2017 с достаточной достоверной вероятностью (0,95) совпадают со значениями, полученными с помощью теоретических формул.

Оценка отклонения от среднего значения интервалов варьирования критериев, характеризующих электродинамические параметры резонаторов, показывает, что наименьшее отклонение (0,052, 0,077, 0,12) от среднего значения по пяти критериям имеют СВЧ-размораживатели: с двумя коническими резонаторами (№ 4); с коаксиальным резонатором, состыкованным с коническим резонатором (№ 7); с состыкованными цилиндрическим и коническим резонаторами (№ 6).

Оценка по критериям, характеризующим продолжительность процесса и энергетические затраты, показывает,

что наименьшим отклонением (0,052-0,092) от оптимальных значений обладают СВЧ-размораживатели: № 10 – с состыкованными коаксиальным и цилиндрическим резонаторами; № 8 – со сдвоенными кольцевыми резонаторами и насосом; № 9 – с полусферическими резонаторами и диском.

Проведенные исследования электромагнитной безопасности показывают, что для загрузки замороженного сырья в пластиковых бутылках, диаметром менее 8 см, необходимо установить на верхнем основании коаксиального резонатора запредельный волновод диаметром 8 см и длиной до 15 см. Это обеспечит безопасный уровень излучения – 10 мкВт/см^2 при работе с СВЧ-размораживателем в течение рабочего дня. На расстоянии 1,7 м от СВЧ-размораживателя поток мощности излучений отсутствует.

3. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЧ ТЕХНИКИ ДЛЯ РАЗМОРАЖИВАНИЯ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ

3.1 Методология разработки СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных

Как уже было отмечено в первом разделе, что при использовании существующих установок (БМА-50, Прималакт, Иглус, РМ2 и др.) процесс дефростации и разогрева молозива животных в полиэтиленовых бутылках в пароводяной смеси длится 1,5-2 ч. А после комплексного воздействия ультразвуковых колебаний и ЭМПВЧ происходит изменение структуры белка, как отмечается в работе Родионовой А. В. [203].

Известны СВЧ установки непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева коровьего молозива животных. Но они сконструированы без учета специфических электрофизических свойств молозива в замороженном и жидком состоянии (см. табл. 1.7). Это влияет на характер поглощения энергии ЭМПВЧ, так как происходит движение границы фазового перехода при изменении агрегатного состояния сырья. Поэтому намного сократить продолжительность обработки молозива не удастся, и размороженная часть быстро коагулируется.

Для сокращения продолжительности технологического процесса дефростации и разогрева молозива животных с сохранением кормовой ценности продукта нами предлагается учесть особенности воздействия ЭМПСВЧ, а также специфические свойства замороженного молозива, обладающего противоположными диэлектрическими характеристикам в разных агрегатных состояниях.

Нами разработаны СВЧ-размораживатели с разными конструктивными исполнениями объемных резонаторов, позволяющих размораживать замороженное в пластиковых бутылках молозиво, предварительно измельченное молозиво, или в виде замороженных брикетов, размером, соответствующим двум глубинам проникновения волны [59, 89].

Ниже приведена доказательная база, позволяющая реализовать инновационную идею, что дефростацию и разогрев молозива с переменным агрегат-

ным состоянием следует проводить с учетом фазового перехода при разных дозах воздействия в разных резонаторах разного конструктивного исполнения.

В качестве объекта исследования использовали молозиво животных. При тепловой обработке указанного сырья следует учесть противоположный характер изменения фактора диэлектрических потерь в диапазоне отрицательных и положительных температур [200, стр. 35 (льда); стр. 87 (молока жирностью 6,4 %)]. Известно, что в процессе тепловой обработки сырья их диэлектрические характеристики меняются из-за изменения плотности, форм связи влаги, жирности. В области отрицательных температур диэлектрическая проницаемость и фактор диэлектрических потерь молозива на частоте 2450 МГц с увеличением температуры **увеличивается**, это объясняется изменением агрегатного состояния воды. Характер изменения диэлектрических характеристик в интервале отрицательных температур подобен изменению диэлектрических характеристик льда (рис. 3.1) [200, стр. 35].

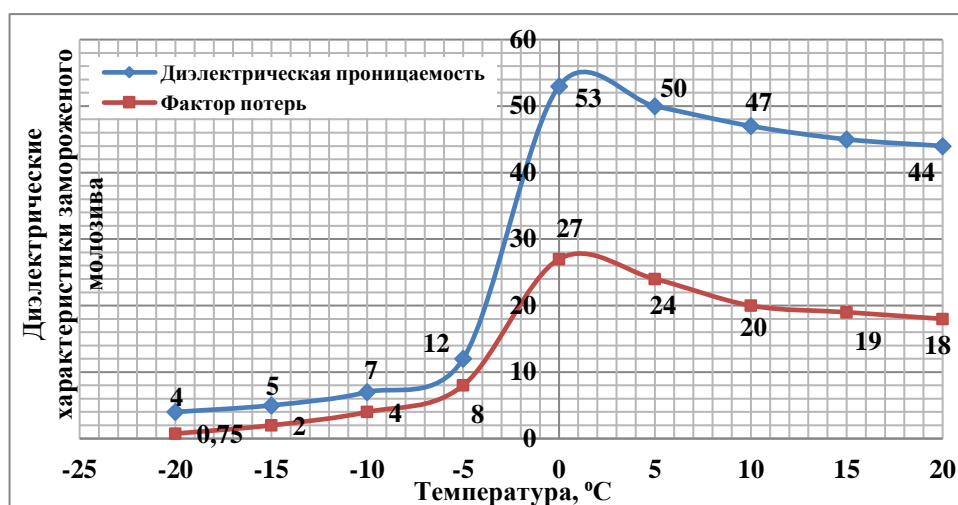


Рисунок 3.1 – Изменение диэлектрических параметров коровьего молозива от температуры (см. рис. 1.38)

Различие заключается в том, что влага в вязком сырье имеет температуру замерзания ниже нуля. При понижении температуры сырья часть воды вымерзает, и его концентрация повышается, следовательно, понижается температура замерзания сырья. Знание значений диэлектрических параметров сырья (см. раздел 1) в диапазоне от -15 до 40 °C позволяет разработать модели взаимодействия сантиметровых волн с сырьем, с научным обоснованием процесса дефр-

станции и разогрева сырья при выбранной частоте ЭМП. Методика проектирования размораживателя сырья сводится к решению нелинейных задач теплообмена, связанных с процессами фазовых превращений, задачи теплопереноса с подвижными границами, вызванными изменением агрегатного состояния сырья.

Сложные процессы, возникающие при диэлектрическом нагреве, необходимость анализировать причины неравномерности нагрева сырья с повышением температурных градиентов, потребность в расчете параметров сложных конструктивных исполнений объемных резонаторов, трудности контроля условий нагрева требуют решения теоретических и экспериментальных задач.

Воздействие ЭМП СВЧ на сырье приводит к сложным термическим процессам, это зависимость, связанная с явлениями термовлагопроводности. Температурное поле в сырье приводит к изменению агрегатного состояния и к ускорению различных реакций. Изменение температуры, происходящее в сырье, приводит к изменению их электрофизических параметров. Поэтому необходимо проанализировать процессы нагрева сырья с учетом всего комплекса взаимосвязей.

При проектировании размораживателей молозива животных необходимо создать условия, обеспечивающие эффективное проектирование как внешнего тепло- и массообмена в рабочей камере, так и тепло- и массопереноса внутри замороженного сырья.

В процессе проектирования и расчета необходимо реализовать следующие требования:

1) **технологические** (обеспечение равномерности дефростации молозива при получении однородного высококачественного продукта, совмещение с процессами дробления или измельчения);

2) **конструктивные** (компактность, технологичность, использование стандартных узлов, удобство монтажа, ремонта и эксплуатации);

3) *эксплуатационные* (безопасность, непрерывность технологического процесса, возможность контроля и управления процессом дефростации и разогрева сырья);

4) *технико-экономические* показатели (минимальные удельные приведенные затраты на технологический процесс размораживания и разогрева молозива животных).

Последовательность выполнения этапов проектирования.

1. Предварительный этап.

1) выбор магнетронов, основного оборудования для передвижения сырья в разных агрегатных состояниях;

2) обоснование эффективного режима процесса дефростации и разогрева молозива животных;

3) выбор метода энергоподвода, вентиляторов для охлаждения магнетронов и места их расположения;

4) выбор загрузочных и разгрузочных устройств и транспортных приспособлений, позволяющих ограничить излучение в окружающее пространство;

5) выбор системы контроля, управления процессами размораживания и разогрева молозива;

2. Основные расчеты.

Методика расчета СВЧ-размораживателя сводится к определению интенсивности нагрева сырья, зависящая от его электрофизических свойств. Необходимо знать исходные данные по сырью: диэлектрическую проницаемость, фактор диэлектрических потерь в широком диапазоне температур (от -10 до 40 °C), допустимую температуру, размеры частиц, плотность, теплоемкость, скорость нагрева.

Итак, разработка и проектирование процессов дефростации и разогрева молозива животных заключается в решении комплекса взаимосвязанных задач.

1. Зная электрофизические параметры молозива в разных агрегатных состояниях и основные закономерности процессов дефростации и разогрева сы-

ря, можно вскрыть механизм процесса, выбрать рациональный метод и эффективный режим работы.

2. Спроектировать радиогерметичные СВЧ-размораживатели непрерывно-поточного действия, обладающие высокими технико-экономическими показателями.

3. Провести сравнительный анализ технологических и технических характеристик разработанных размораживателей с учетом, критериев предъявляемых СВЧ технике, используемой в фермерских хозяйствах, и кормовой ценности молозива.

Блок-схема модели реализации теоретических и экспериментальных исследований приведена на рис. 3.2. Она предусматривает последовательность исследований взаимосвязанных ключевых задач, связанных тепловой обработкой молозива животных, при которой происходит изменение его агрегатного состояния. Поэтому *исследуемым объектом* является молозиво животных, которое представлено в виде замороженной суспензии, жидкая фаза которой коагулируется при температуре выше 39-40 °С.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭМПСВЧ варьируется управлением				
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ системы «генератор-резонатор-нагрузка», а именно:			РЕЖИМАМИ ВОЗДЕЙСТВИЯ с учетом электрофизических параметров сырья: фактора диэлектрических потерь (k); тангенса угла диэлектрических потерь ($tg\delta$); диэлектрической проницаемости (ϵ); теплоемкости (C); плотности (ρ) <i>о б о с н о в ы в а ю т с я</i>	
напряженностью ЭП, В/м	частотой ЭМП, 2450 МГц	мощностью потока излучений, Вт/м ²	удельная мощность генератора, Вт/г	продолжительность тепловой обработки, с
ИССЛЕДУЕМОЕ СЫРЬЕ – замороженная вязкая жидкость, с изменяющимся агрегатным состоянием в процессе фазового перехода, жидкий компонент сырья коагулируется при температуре 40 °С:				
МОЛОЗИВО ЖИВОТНЫХ				
коровье			козье	
КОРМОВАЯ ЦЕННОСТЬ молозива представлена результатами исследований <i>биохимических, физико-химических, микробиологических, органолептических показателей</i>				

Рисунок 3.2 – Блок-схема модели реализации теоретических и экспериментальных исследований

При этом *эффект воздействия* ЭМП СВЧ варьируется управлением электродинамических параметров системы «генератор-резонатор-нагрузка», а именно – напряженностью ЭП, мощностью потока излучений.

В данной работе *кормовая ценность* (питательная и биологическая ценность и безопасность) сырья представлена результатами исследований органолептических, биохимических, физико-химических, микробиологических показателей (в том числе содержание иммуноглобулинов) молозива животных. В настоящей работе под методологией разработки (рис. 3.3) подразумевается система методов и критериев оценки, которые используются для решения задач, позволяющих достичь поставленной цели. Весь процесс дефростации и разогрева сырья необходимо описать моделью, которая определяет последовательность этапов достижения результатов.

Разработаны методологические основы проектирования СВЧ-размораживателей для дефростации и разогрева сырья с учетом возможности реализации всех критериев в конструктивных исполнениях резонаторов, отличающихся от существующих конфигураций и обладающих минимальными эксплуатационными затратами, способных выполнять одновременно функцию экранирующего корпуса.

МЕТОДОЛОГИЯ	<i>Анализ электрофизических параметров сырья на частоте 2450 МГц</i>	Диэлектрическая проницаемость, фактор диэлектрических потерь на частоте 2450 МГц, теплоемкость, плотность в зависимости от температуры, жирности.
	<i>Выявление функциональных критериев</i>	Непрерывно-поточный режим. Маломощные магнетроны воздушного охлаждения Высокая напряженность ЭП. Радиогерметичность без экранирующего корпуса. Производительность размораживателя. Многогенераторные резонаторы. Раздельные резонаторы для сырья разного агрегатного состояния.
	<i>Разработка множества СВЧ-размораживателей с разными конструктивными исполнениями резонаторов для замороженного сырья в пластиковых бутылках, измельчен-</i>	Тороидальные резонаторы с разными месторасположениями конденсаторной зоны. Коаксиальный резонатор. Конические резонаторы.

	<i>ного сырья, в виде брикетов, с размерами не более двух глубин проникновения волны</i>	Комбинированные резонаторы.
	<i>Обоснование транспортирующего механизма</i>	Шнек, перемешивающие элементы, перфорация, насос для вязкой жидкости.
	<i>Сравнительная оценка СВЧ-размораживателей по наименьшему отклонению критериев</i>	Основным критерием является сокращение длительности процесса дефростации и разогрева сырья. Сохранение кормовой ценности продукта, в том числе иммуноглобулинов.
	<i>Оценка технико-экономических показателей применения СВЧ-размораживателя</i>	Экономический эффект за счет разности приведенных затрат и за счет реализации продукта, обладающего кормовой ценностью. Рентабельность применения СВЧ-размораживателя, реализующей инновационную идею «тепловой обработка сырья в разном агрегатном состоянии в двух резонаторах с разной дозой воздействия ЭМПСВЧ».

Рисунок 3.3 – Методология разработки СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева сырья

Ниже перечислен комплекс критериев и способов их реализации.

Конструкция проектируемых резонаторов должна:

- реализовать процессы дефростации и разогрева сырья в непрерывном режиме работы за счет прорезей; за счет использования запредельных волноводов – как узел слива разогретого сырья; за счет перфорации и щелей на поверхности;
- обеспечить с маломощными магнетронами воздушного охлаждения достаточную напряженность электрического поля для достижения стерильности продукта и увеличения мощности диэлектрического нагрева;
- обеспечить равномерность распределения электромагнитного поля в резонаторах за счет диссекторов и равномерный нагрев жидкого сырья, например, путем согласования межтарельчатого зазора, куда стекает продукт, с глубиной проникновения волны сантиметрового диапазона;
- иметь возможность изменения дозы воздействия ЭМПСВЧ на сырье при изменении электрофизических параметров, и варьирования производительности СВЧ-размораживателя;

- обеспечить электромагнитную безопасность без экранирующего корпуса с использованием запердельного волновода или конструктивных особенностей резонаторов (например, в коническом резонаторе);

- учитывать изменения электрофизических параметров молозива разных видов животных;

- содержать датчики контроля температуры, плотности, жирности, кислотности сырья, электродинамических параметров, в том числе мощности СВЧ-размораживателя, потребления электроэнергии, мощности потока излучений и т.д.

Разработанные СВЧ-размораживатели с разными конструктивными исполнениями резонаторов позволили оценить возможность реализации основных требований, предъявляемых к технологии дефростации и разогрева молозива. Например, основные требования к технологии подготовки молозива к выпойке телят – это его обеспечение стерильности и сохранение иммуноглобулинов, т. е. сохранение кормовой ценности в продукте.

Для реализации указанных требований разработаны двухрезонаторные СВЧ-размораживатели непрерывно-поточного действия с маломощными магнетронами воздушного охлаждения с разными конструктивными исполнениями резонаторов. В резонаторах предусмотрена возможность обеспечения электромагнитной безопасности при непрерывном режиме работы СВЧ-размораживателя с использованием запердельных волноводов или за счет усе-чения вершины конуса на уровне критического сечения.

При использовании металлодиэлектрического резонатора, позволяющего уменьшить потери, связанные с нагревом его корпуса, усиление эффекта тепловой обработки достигается за счет интерференции когерентных волн.

Алгоритм исследований

1. Актуальность разработки СВЧ-размораживателей показана на основе анализа статистических данных объема замороженного коровьего молозива, предназначенного для дефростации по России, Нижегородской области, в фермерском хозяйстве.

2. Обзор существующих технологий и размораживателей сырья с указанием недостатков для выработки инновационной технологии и разработки СВЧ-размораживателя. Составление цели и задач исследований.
3. Анализ изменения электрофизических и теплофизических параметров сырья в зависимости от температуры и частоты электромагнитного поля с выявлением глубины проникновения волны в сырье при разных агрегатных состояниях.
4. Вывод формулы, описывающей динамику нагрева коровьего молозива в ЭМП СВЧ с учетом изменения электро- теплофизических параметров в процессе дефростации и разогрева при разной напряженности электрического поля.
5. Подготовка оборудования и контрольно-измерительной техники для исследования технологического процесса дефростации и разогрева сырья.
6. Разработка СВЧ-размораживателей с разными конструктивными исполнениями резонаторов, обеспечивающих реализацию основных критериев, предъявляемых к СВЧ технике и технологическому процессу дефростации и разогрева сырья.
7. Проведение сравнительного анализа электродинамических параметров СВЧ-размораживателей и выработка рекомендации по эксплуатации в разных условиях хозяйствования.
8. Изготовление образца СВЧ-размораживателя, наиболее удовлетворяющего по производительности, электромагнитной безопасности и эксплуатационным затратам.
9. Разработка принципиальной электрической схемы управления СВЧ-размораживателя с резонаторами и контроля технологического процесса через датчики контроля температуры, уровня сырья, объема размороженного сырья, потока мощности СВЧ-энергии вне размораживателя, потребляемой мощности.
10. Исследование динамики нагрева коровьего молозива в изготовленном образце двухрезонаторного СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения.
11. Оценка органолептических, биохимических, физико-химических, микробиологических показателей размороженного и разогретого до 39°C коровьего и

козьего молозива традиционным способом (базовым способом на водяной бане) и воздействием ЭМП СВЧ.

12. Оценка электромагнитной безопасности при работе с изготовленным двухрезонаторным СВЧ-размораживателем по результатам исследования потока мощности СВЧ энергии около размораживателя.

13. Оценка эффективности применения СВЧ-размораживателя по разности приведенных эксплуатационных затрат базовых и проектного вариантов на дефростацию и разогрев молозива животных.

В работе для исследования процессов дефростации и разогрева сырья использованы методы: 1) аналитические; 2) экспериментальные (научные). Аналитические исследования включают: математическое описание динамики нагрева коровьего молозива с учетом изменения электрофизических параметров в процессе воздействия ЭМП СВЧ; решение системы уравнений теплопроводности сырья с учетом движения фазового перехода при возбуждении ЭМП плоской электромагнитной волной.

Научные исследования проводились с использованием математических аппаратов электродинамики, теории электромагнитного поля и электрических цепей, а также графоаналитических методов. Обработка экспериментальных данных выполнена с использованием компьютерных программ Microsoft Excel, Matlab, трехмерного моделирования конструктивного исполнения СВЧ-размораживателей проведено в программе SolidWorks, а также в системе электродинамического моделирования поля CST Studio Suite. Пространственные изображения СВЧ размораживателей молозива выполнены в системе трехмерного моделирования «Компас- 3D v18.1». Регрессионные модели процесса размораживания и разогрева от воздействующих факторов получены на основе ротатабельного планирования второго порядка и трехфакторного эксперимента тип 2^3 по плану Хартли. Обработка полученных результатов экспериментов с получением поверхностей откликов и их двумерных сечений моделей произведена в программе STATISTICA 12.

3.2 Используемое оборудование и контрольно-измерительная техника

Контроль температуры сырья в процессе воздействия ЭМП СВЧ проводили пирометром Testo 925, одноканального термометра, с подключением зондов термопар типа *K*, диапазоном измерений от -50 до 1000°C , погрешностью $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, а исследование распределения теплового потока по поверхности сырья – тепловизором Fluke Ti32 (рис. 3.4). Качество молозива животных определяли по значению плотности с помощью ареометра АМТ 1015-1040 ($1,056 \text{ г/см}^3$) и по количеству иммуноглобулина – рефрактометром ИРФ-454Б, число которых должно быть больше 50 г/л . Обоснование электродинамических параметров СВЧ-размораживателя проведены по программе трехмерного компьютерного моделирования электрического поля CST Studio Suite 2015. Источниками СВЧ энергии служили генераторы MW20МД, MW71ER, CE283GNR, H-MW1317, DL-63L 20S, работающие на частоте 2450 МГц , потребляемой мощностью $1,15-1,2 \text{ кВт}$. Скорость перекачивания молозива, следовательно, продолжительность воздействия ЭПМСВЧ, регулировали изменением мощности насоса НЦ65А от 30 до 65 Вт [62, 245].



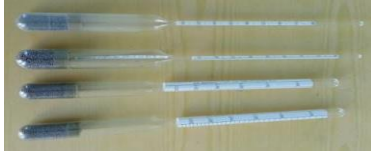


<p>ний: красный, зеленый, оранжевый; наличие накопительного и 1-ступенчатого счетчика, режим двойного счетчика; 6-разрядная модель; - вход: п-р-п или р-п-р транзистор</p>	
<p> <i>Инфракрасный мини-термометр KF-HW-001</i> бесконтактное измерение температуры объектов, имеет высокоточный инфракрасный датчик, память нескольких групп (значения сохраняет автоматически). Диапазон температур от 25° до 45 °С. Точность: $\pm 0,1 - 1$ °С.</p>	<p> <i>Бесконтактный цифровой тахометр DT2234B</i> Диапазон измерения: 2,5-10000 об/мин Разрешение: 0,1 об/мин (от 2,5 до 1000). Точность: $\pm (0.05\%+1$ цифра). Дистанция: 50 до 500мм. Питание: 3 x 1,5 В батареи типа ААА</p>
<p><i>Весы электронные настольные Delta KCE-16-21.</i> Предельная масса взвешивания 5 кг. Точность взвешивания ± 1 г. LCD-дисплей 44x15 мм</p> 	<p><i>Тепловизор Fluke Ti32</i> (для осмотра и контроля различного технологического оборудования)</p> 
<p><i>Ареометр АМТ 1015-1040</i> (плотность)</p> 	<p><i>Колострометр</i> (плотность, контроль качества сы- рья)</p> 
<p><i>Измеритель температуры FLUKE 62 Mini</i> <i>Testo 925</i></p>  	<p><i>ПЗ-31</i> (плотность потока энергии электромагнитного поля)</p> 
<p><i>Рефрактометр ИРФ-454Б</i> (контроль количества иммуноглобулинов (Ig))</p> 	<p><i>Клевер-2М</i> (экспресс-метод определения процентного содержания жира, сухого обезжиренного молочного остатка, плотности, и, соответственно, иммуноглобулинов)</p> 



Рисунок 3.4 – Используемое контрольно-измерительное оборудование в процессе исследования технологического процесса дефростации и разогрева молозива животных

Жирность, плотность, содержание белка, сухого молочного остатка, сухого обезжиренного остатка молока, степень гомогенизации, содержание лактозы, температуру при исследовании и температуру замерзания молозива животных определяли с помощью анализатора молока «Клевер-2М». Плотность также определяли с помощью колостромметра, ареометра АМТ 1015-1040. Активную кислотность, кислотность ($^{\circ}\text{T}$) определяли с помощью прибора pH-метр-термометр Нитрон-pH, потенциометрическим титратором.

Микробиологические исследования проводили с помощью pH-метра марки pH-150МИ, гигрометра психрометрического «ВИТ-2».

Контроль напряженности электрического поля и плотности потока энергии около СВЧ-размораживателя осуществляли с помощью измерителя электромагнитных излучений ПЗ-31 (до 40000 МГц, 615В/м). Частоту вращения вала ротора контролировали с помощью цифрового фототахометра оптического ДО-03-02 и цифрового фототахометра Digital Tachometer ДТ2234В.

Для измерения электрофизических параметров сырья в СВЧ диапазоне волноводным методом использовано следующее оборудование и оснастка: прямо-

угольный металлический волновод; программное обеспечение Keysight 85071E для измерения параметров и вычисления диэлектрической проницаемости образцов, помещенных в прямоугольном волноводе; анализатор цепей векторный P4M-18 для измерения комплексных коэффициентов передачи и отражения двухполюсников в коаксиальных волноводах с соединителями по ГОСТ РВ 51914-2002.

В качестве исследуемого сырья использовали коровье и козье молозиво, жирностью 3-6,5 %, плотностью 1,060-1,0450 г/см³, кислотностью 40-60 °Т от клинически здоровых животных, первого и второго удоя, свежесвыдоенное в течение первых 6 ч., замороженное до –10 °С в специальных полиэтиленовых пакетах, в виде брикетов 2х4х2 см, и в пластиковых бутылках разного объема 0,5 л, 1 л, 1,5 л.

Так, бутылка 1,5 литровая, имеющая диаметр 86 мм, высоту 335 мм, изготовлена из прозрачного пластика – полиэтилентерефталат (ПЭТ).

Способы замораживания сырья не несут существенного влияния на количество иммуноглобулинов (Ig), молозиво без существенных потерь Ig может храниться до полугода при температуре от –15 до –20 °С [72]. Температурные режимы: дефростация от –10 °С до 0-1 °С, разогрев до 39 °С.

В базовом варианте для дефростации и разогрева молозива использовали размораживатель «Эконом БМА-50», работающий в периодическом режиме по принципу водяной бани за счет нагрева воды с помощью трубчатого электронагревателя, потребляемой мощностью 6-12 кВт.

Основные узлы СВЧ-размораживателя – это

– магнетроны воздушного охлаждения (рис. 3.5, а) с электронным блоком, содержащим высоковольтные трансформаторы и конденсаторы:

– волноводы с излучателями (рис. 3.5, б); объемные резонаторы;

– механизмы для перемешивания и транспортирования сырья; дозаторы сырья разного агрегатного состояния и т. п.;

– элементы схемы автоматического управления процессом, включая узлы сигнализации и контроля температуры, уровня сырья, жирности, плотности.

Рабочие характеристики магнетрона – это зависимость между анодным напряжением и анодным током при постоянных значениях магнитной индукции, выходной мощности, КПД и генерируемой частоты (анодное напряжение, анодный ток, мощность накала, магнитная индукция) зависят от колебания напряжения сети [286, стр. 156].

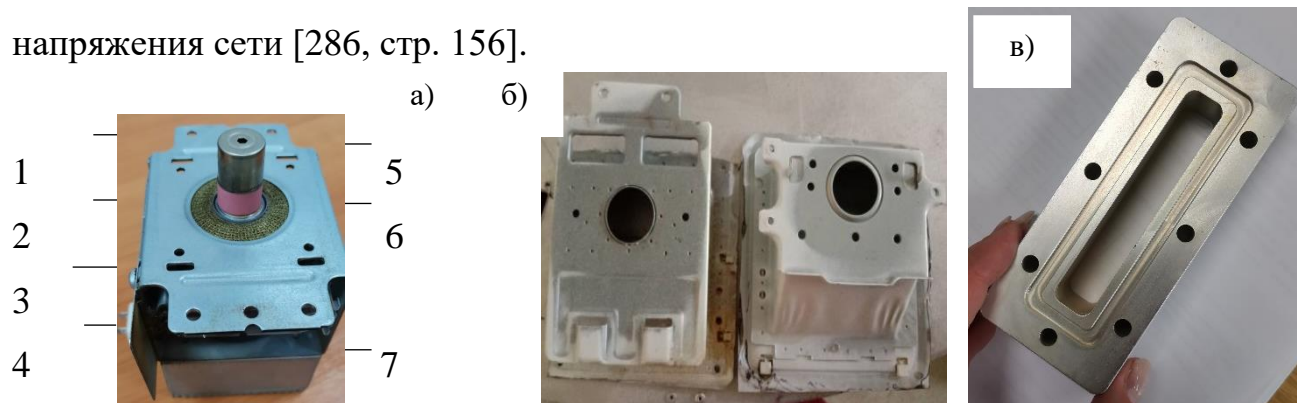


Рисунок 3.5 – Элементы источника ЭМИ: а) магнетрон: 1 – фланец крепления, 2 – сетка фильтра, 3 – корпус, 4 – контакты, 5 – излучатель, 6 – изолятор, 7 – коробка фильтра; б) волновод под излучателем магнетрона, в) волновод, используемый при исследовании диэлектрической проницаемости сыря

При обосновании выбора конфигурации и размеров объемных резонаторов исходили из возможности локализации воздействия ЭМП на сырье с обеспечением равномерного распределения плотности потока мощности в его объеме. Обоснование объема сыря в рабочей камере продиктовано особенностями молозива в разном агрегатном состоянии, а размер измельченного замороженного сыря соответствовала глубине проникновения сантиметровых волн.

Электрическая схема подключения магнетронов представлена в разделе 4.

Методические аспекты. Многочисленные результаты исследований показывают, что лучший технологический эффект тепловой обработки и обеззараживания сыря достигается при воздействии электрического поля высокой напряженности. На основе существующих теорий и достаточно обоснованных результатов экспериментальных исследований нами решены поставленные научные задачи.

3.3 Операционно-технологическая схема дефростации молозива животных

При проектировании СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных учитывали следующие *требования*: технологические, кон-

структивные, эксплуатационные, кибернетические, технико-экономические [78, стр. 11].

Технологические показатели задавали заранее: начальную и конечную температуру, плотность сырья и продукта. Совмещая процессы дефростации и разогрева с другими технологическими процессами (дробление, измельчение, перемешивание и т.п.), обеспечивали равномерность нагрева при получении однородного высококачественного молозива во всем объеме резонатора.

К конструктивным показателям относили компактность, использование стандартных узлов и деталей, удобства ремонта и монтажа.

Электромагнитную безопасность СВЧ-размораживателя оценивали по мощности потока излучений, удовлетворяющей санитарным нормам. Учитывали также удобство обслуживания, монтажа и ремонта [57].

Кибернетические показатели оценивали с учетом реализации в СВЧ-размораживателе системы автоматического контроля, регулирования и управления процессами дефростации и разогрева.

Технико-экономические показатели оценивали по удельным приведенным эксплуатационным затратам.

Ниже приведен алгоритм реализации этих требований в процессе проектирования и расчета.

1. *Этап выбора основного и вспомогательного оборудования, и режимов дефростации и разогрева молозива животных* включает: выбор маломощных магнетронов с воздушным охлаждением; схематическое изображение конструктивными исполнениями объемных резонаторов с вспомогательными узлами; определение месторасположения магнетронов с узлами охлаждения; выбор загрузочных, разгрузочных и перемешивающих устройств; выбор системы контроля, регулирования и управления процессами; обоснование эффективных режимов дефростации и разогрева сырья.

2. *Методика и последовательность расчета СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных* зависит от конструктивными исполнениями оригинальных резонаторов и специфических факторов. Расчеты

проводятся с учетом теории электромагнитных полей и основных законов технологических процессов. Следует определить удельную мощность, генерируемую в единице объема сырья в разных агрегатных состояниях, имеющих противоположный характер изменения диэлектрических параметров от температуры.

3. *Решение комплекса взаимосвязанных задач*, таких как обоснование эффективного режима процесса с учетом диэлектрических свойств сырья, расчеты теплообменных процессов, конструктивное оформление размораживателей с оснащением контрольно-измерительной аппаратурой и системой автоматического регулирования и управления проводится с использованием *математического моделирования*, что позволит выбрать наиболее целесообразный способ управления процессами. Формулировка физической модели процессов дефростации и разогрева (математическое моделирование) проводили с учетом взаимодействия ЭМП СВЧ с сырьем и изменения кинетических коэффициентов нагрева.

Операционно-технологическая схема подготовки молозива к выпойке телятам представлена на рис. 3.6.

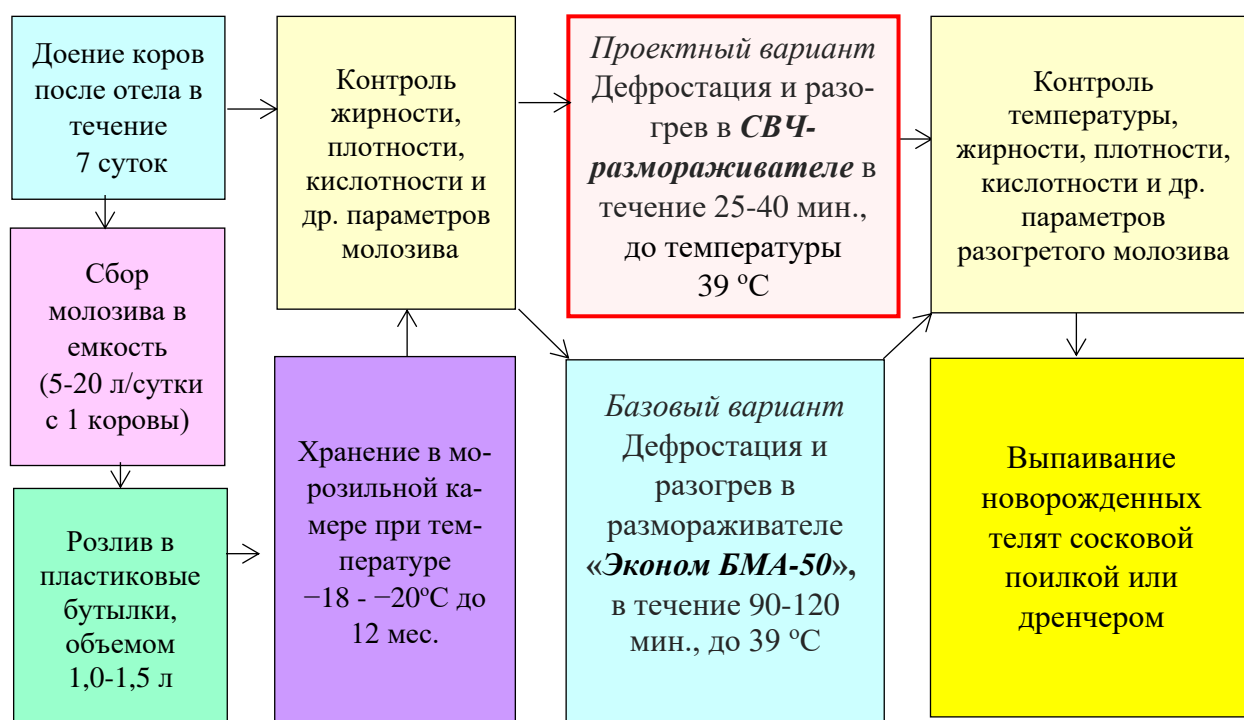


Рисунок 3.6 – Операционно-технологическая схема подготовки молозива к выпойке телятам

В первые сутки самки животных выделяют биологическую жидкость – молозиво [76, 129, 134]. Контроль молозива производят на всех этапах его подготовки к выпойке. Молозиво плотностью 1,041-1,050 г/см³ содержит 45-54 % иммуноглобулинов (среднее по качеству), плотностью 1,051-1,060 г/см³ – 55-60 % иммуноглобулинов (хорошее по качеству), плотностью 1,061-1,080 г/см³ – 66-80 % защитных белков (отличное качество). Если плотность молозива составляет менее 1,040 г/см³, то оно содержит мало защитных иммуноглобулинов и непригодно для выпаивания телят.

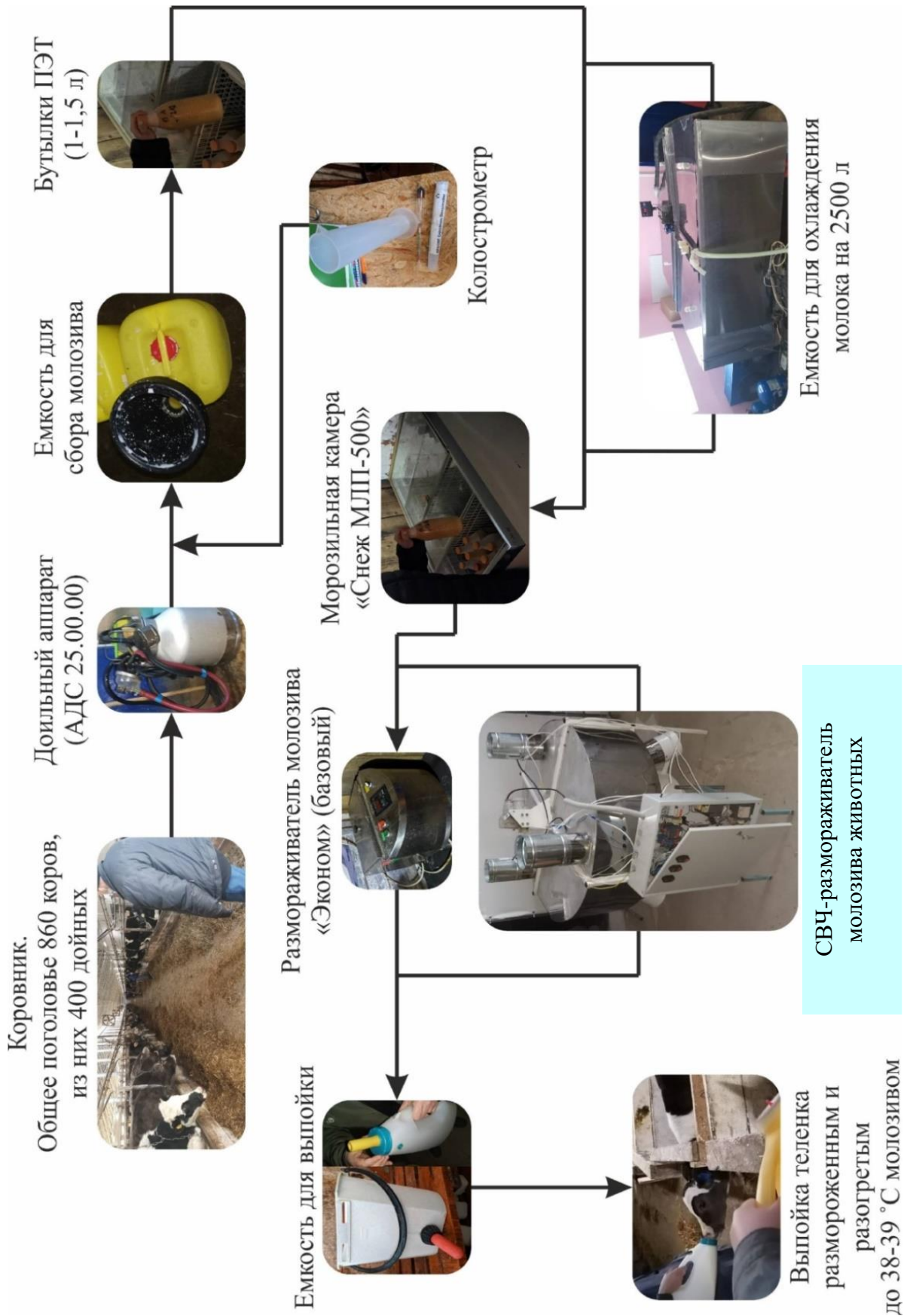
После проверки сырья по качественным показателям, если оно соответствует всем нормативным требованиям, молозиво собирают в емкость в количестве 5-20 л/сутки с одной коровы, разливают в пластиковые бутылки объемом 1-1,5 л и хранят в морозильной камере при температуре –18 - –20 °С до 12 мес. [77, 81]. Также рекомендуется хранить молозиво в холодильнике при температуре 3-4 °С не более 7 дней, после чего концентрация IgG начинает понижаться [1, 222, 223], тогда подготовка к выпойке телят заключается в его разогреве до 39 °С. При необходимости в выпойке телят замороженное молозиво подвергается дефростации и разогреву до 39 °С (рис. 3.7).

Причем, дефростация и разогрев до 39 °С в водяной ванне (45-50 °С), размораживателе «Эконом БМА-50» (базовый вариант), происходит в течение 90-120 мин.; дефростация и разогрев в СВЧ-размораживателе (проектный вариант) – в течение 25 мин.

Машинно-аппаратная схема подготовки молозива к выпойке телятам приведена на рис. 3.7 [137, 217]. Она предусматривает следующие процессы. Дойка коров после отела доильным аппаратом в отдельную флягу.

После чего молозиво переливают в специальную стерильную емкость, далее после контроля качества молозива разливают в пластиковые бутылки (1-1,5 л). Эти бутылки загружают в морозильную камеру, где поддерживается температура от –18 до –20 °С. Замороженное сырье может храниться до 12 месяцев. По мере необходимости бутылки с замороженным сырьем помещают в

размораживатель, где за счет пароводяной смеси молоко в течение 1,5-2 часов размораживается.



Разработанные СВЧ-размораживатели предназначены для замены базового размораживателя. Они ускоряют процессы дефростации и разогрева до 20-40 мин., при мощности 4800 Вт. Ускорение процесса подготовки молозива к выпойке позволит сохранить кормовую ценность.

Разработанные СВЧ-размораживатели для дефростации и разогрева молозива животных сгруппировали *по конструктивным исполнениям резонаторов* [98-111]. В них предусмотрены возможности реализации основных требований технологии дефростации и разогрева и особенности функционирования СВЧ. Проектировали двухрезонаторные СВЧ-размораживатели, содержащие: 1) тороидальные резонаторы с емкостным зазором, расположенным на разной высоте резонатора; 2) конические резонаторы с разным углом раствора образующих; 3) комбинированные тороидальные и конические резонаторы СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с соблюдением электромагнитной безопасности [94, 96].

В зависимости от формы замороженного сырья (в бутылке или в виде брикетов) предложены разные конструктивные исполнения загрузочной емкости, содержащие измельчители или запердельные волноводы, размеры которых согласованы с длиной волны [95].

Слив жидкого продукта осуществляется через шаровой кран, установленный в запердельном волноводе, диаметром менее четверти длины волны. Ниже приведено описание разработанных СВЧ-размораживателей для дефростации и разогрева молозива животных.

3.4 СВЧ-размораживатели непрерывно-поточного действия с тороидальными резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных

3.4.1 СВЧ-размораживатель молозива животных с квазистационарным тороидальным резонатором (патент № 2694944)

СВЧ-размораживатель (рис. 3.8) для дефростации и разогрева молозива состоит из вертикально расположенного квазистационарного тороидального резонатора с прямоугольным сечением тора и конденсаторной частью. Торои-

дальняя часть представлена как коаксиально расположенные неферромагнитные цилиндры 2, 3 разной высоты, без верхних оснований. Кольцевое пространство между цилиндрами сверху закрыто кольцевой поверхностью 5 из неферромагнитного материала. Верхнее основание внутреннего цилиндра 2 отсутствует, а нижним его основанием служит передвижной неферромагнитный диск-основание 4 [172]. Высота внутреннего цилиндра 2 меньше, чем высота наружного цилиндра 3.

Промежуток от края нижнего основания внутреннего цилиндра 2 до нижнего перфорированного основания наружного цилиндра 3 меньше, чем расстояние между боковыми поверхностями цилиндров 2, 3. Тороидальная часть квазистационарного резонатора образована между коаксиально расположенными неферромагнитными цилиндрами 2, 3 разной высоты и кольцевой неферромагнитной поверхностью 5 сверху. Конденсаторная часть резонатора представлена промежутком между передвижным неферромагнитным диском-основанием 4 и нижним перфорированным основанием наружного цилиндра. Диаметр передвижного неферромагнитного диска-основания 4 меньше, чем диаметр внутреннего цилиндра 2 для его свободного перемещения внутри цилиндра 2.

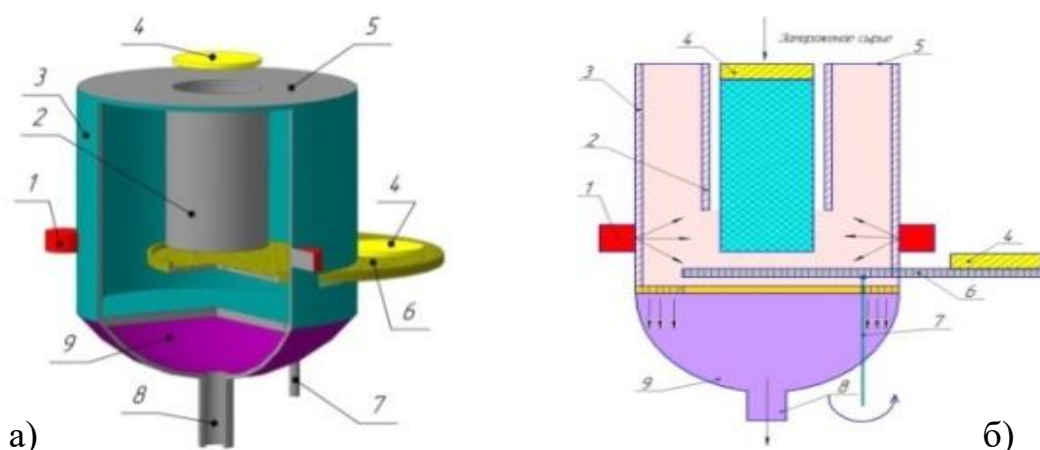


Рисунок 3.8 – СВЧ-размораживатель с квазистационарным тороидальным резонатором для дефростации молозива животных: а) схематическое изображение; б) пространственное изображение; 1 – СВЧ генераторы, 2 – цилиндр внутренний неферромагнитный без оснований, 3 – цилиндр наружный неферромагнитный с нижним перфорированным основанием, 4 – передвижной неферромагнитный диск-основание, 5 – верхнее основание наружного цилиндра в виде кольцевой поверхности, 6 – лоток круглый диэлектрический перфорированный с бортами, 7 – вал для электропривода лотка, 8 – сливной патрубком, 9 – выпуклое дно размораживателя

Магнетроны 1 от сверхвысокочастотных генераторов расположены с наружной стороны наружного цилиндра 3 так, что излучатели направлены внутрь конденсаторной части резонатора. На боковой поверхности наружного цилиндра 3 в области конденсаторной части резонатора имеется прорезь, через нее выступает лоток 6, круглый диэлектрический перфорированный с бортами. Лоток 6 расположен асимметрично оси цилиндра, параллельно нижнему перфорированному основанию наружного цилиндра 3, и вращается с помощью электродвигателя 7. Под наружным цилиндром 3 расположено выпуклое дно размораживателя 9 со сливным патрубком 8. Средний периметр кольцевого пространства и диаметр диска-основания 4 должны быть кратны половине длины волны, а прорезь менее, чем четверть длины волны.

Работает СВЧ-размораживатель для дефростации и разогрева молозива животных следующим образом. Подготовить замороженное в цилиндрических силиконовых тарах молозиво животных (замороженное сырье). Загрузить замороженное сырье без силиконовой тары во внутренний цилиндр 2. Закрыть сверху неферромагнитным диском-основанием 4. Открыть сливной патрубок 8. Включить электропривод 7 диэлектрического перфорированного лотка 6 с бортами. Включить СВЧ генераторы, магнетроны 1 которых через волноводы и излучатели возбуждают электромагнитное поле сверхвысокой частоты в квазистационарном резонаторе. Квазистационарный резонатор характеризуется тем, что размер промежутка конденсаторной части меньше, чем длина волны, а электрические и магнитные поля разделены в пространстве. В тороидальной части преобладает магнитная составляющая, а в конденсаторной части – электрическая составляющая электромагнитного поля.

Наличие конденсаторной части в квазистационарном резонаторе обеспечивает высокую напряженность электрического поля волны H_{10} эквивалентно увеличению емкости (по мере передвижения неферромагнитного диска 4 вниз по внутреннему цилиндру). Это приводит к увеличению критической длины волны. Рабочий диапазон резонатора с конденсаторной частью может быть в несколько раз больше, чем цилиндрического резонатора с такими же размера-

ми. Концентрация электрического поля в конденсаторной части резонатора обеспечивает критическую напряженность электрического поля, позволяющего остановить развитие бактериальной микрофлоры в размороженном сырье. Замерзшее сырье, по мере попадания на диэлектрический перфорированный лоток 6 с бортами, в ЭМП СВЧ частично размораживается. Жидкая фракция просачивается через перфорацию лотка 6, а замороженные куски при вращении лотка с помощью электродвигателя 7 сбрасываются на перфорированное основание квазистационарного резонатора, где происходит полная дефростация и вытекание в виде вязкой жидкости через перфорацию в выпуклое дно 9 размораживателя. Большие замороженные куски не выносятся наружу через прорезь в боковой поверхности наружного цилиндра 3, а за счет удара крошатся и падают на его перфорированное основание. По мере оттаивания сырья неферромагнитный диск-основание 4 передвигается вниз по направляющим, предусмотренным в виде внутренних пазов во внутреннем цилиндре 2. Это обеспечивает плавное возрастание напряженности электрического поля в конденсаторной части резонатора, за счет уменьшения межпластинчатого расстояния. Диск-основание 4 вместе с кусками замороженного сырья также падает на диэлектрический лоток 6 и за счет центробежной силы выносятся за пределы наружного цилиндра и сбрасываются. При перемещении замороженного сырья примерно до половины высоты внутреннего цилиндра 2 его необходимо загрузить новой порцией замороженного сырья без силиконовой тары, поверх на направляющие пазы установить новый диск-основание. Этот процесс повторяется до тех пор, пока весь запланированный объем сырья не будет разморожен. Диск-основание 4 ограничивает излучение СВЧ энергии в процессе загрузки новых порций сырья. Поэтому процесс загрузки новой порции сырья с соответствующим диском-основанием следует начать до того, пока предыдущий диск-основание 4 не упал на диэлектрический лоток 6. Электромагнитная безопасность будет обеспечена, так как волны будут замыкаться на замороженное сырье. Количество дисков, зависит от количества загружаемых порций. После окончания разморозки сырья, провести санитарную обработку СВЧ-

размораживателя, включая диски-основания и силиконовых тар, для заполнения коровьим молозивом и перемещения в холодильную камеру. Температура размороженного сырья для выпаивания телят не должна быть ниже 38-39°C. Следовательно, доза воздействия ЭМП СВЧ должна обеспечить приращение температуры от -20°C до 39°C. Технические характеристики СВЧ-размораживателя с квазистационарным тороидальным резонатором для дефростации и разогрева молозива животных приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с квазистационарным тороидальным резонатором

Параметр	Значение
Производительность, л/ч	25-30
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	5,3
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32
Мощность привода диэлектрического контейнера, кВт	0,18
Потребляемая мощность шести СВЧ генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев коровьего молозива, кВт·ч/кг	0,176

Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе с квазистационарным тороидальным резонатором приведена в таб. 3.2.

Таблица 3.2 – Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе с квазистационарным тороидальным резонатором

Действие оператора	Происходящий процесс
Освободить замороженное сырье от цилиндрической силиконовой тары	
Загрузить замороженное сырье без силиконовой тары во внутренний цилиндр	
Закрывать неферромагнитным диском-основанием	
Открыть сливной патрубком	
Включить электропривод диэлектрического перфорированного лотка	вращение лотка
Включить СВЧ генераторы	возбуждается ЭМП СВЧ, происходит размораживание замороженного сырья по мере его попадания на диэлектрический перфорированный лоток
	просачивание жидкой фракции через перфорацию лотка
	неферромагнитный диск-основание передвигается вниз по направляющим

	выпаивание теленка, температура при выпойке – 38-39 °С	
Загрузить новую порцию замороженного сырья, установить новый диск-основание на направляющие пазы		процесс повторяется
Провести санитарную обработку размораживателя		

Преимущества. Возможность обеспечения высокой напряженности электрического поля в конденсаторном зазоре тороидального резонатора. *Недостатки.* Размораживатель периодического действия, ручная загрузка передвижных ферромагнитных дисков.

3.4.2 СВЧ-размораживатель молозива животных с состыкованными тороидальными резонаторами (патент № 753424 РФ)

СВЧ-размораживатель с состыкованными тороидальными резонаторами непрерывно-поточного действия (рис. 3.9) позволяет разделить процессы дефростации и разогрева молозива, обеспечивая электромагнитную безопасность и высокую напряженность электрического поля для снижения общего микробного числа при низкой температуре сырья [181]. Характерным признаком *тороидальных резонаторов* является весьма четко выраженное пространственное разделение электрического и магнитного полей у колебания с наименьшей резонансной частотой, т.е. энергия электрического и магнитного полей концентрируется преимущественно в различных частях объема резонатора – в тороидальной и конденсаторной частях [19, 181]. Основываясь на этом признаке, разработан СВЧ-размораживатель с двумя квазистационарными тороидальными резонаторами для дефростации и разогрева молозива воздействием ЭМП-СВЧ разной дозой, при отрицательном или положительном диапазоне температур. СВЧ-размораживатель собран из двух вертикально расположенных квазистационарных тороидальных резонаторов 4, 5. Верхний 4 и нижний 5 резонаторы имеют общее перфорированное основание 11, поэтому нижний резонатор направлен тороидальной частью вниз, т.е. два резонатора состыкованы с конденсаторными частями 7, 12. В центральную часть верхнего резонатора установлен нагнетательный шнек 2 измельчающего механизма. Нож с решеткой 3 выполняют функцию малого основания конденсаторной части верхнего квазистационарного тороидального резонатора. В конденсаторную часть 7 нижнего резонатора установлена диэлектрическая тарелка 8 без дна. Дном диэлектриче-

ской тарелки служит малое перфорированное основание конденсаторной части нижнего резонатора. К центральной части нижнего резонатора 5 пристыкован шаровой кран 6. Магнетроны 9, 10 с воздушным охлаждением со сдвигом на 120 градусов установлены на поверхностях резонаторов 4, 5 в области конденсаторных частей. Размеры резонаторов согласованы с длиной волны. Причем средний периметр кольцевого объема тороидальной части резонаторов кратен половине длине волны.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе происходит следующим образом. Загрузить замороженное сырье в приемную емкость 10, предварительно закрыв шаровой кран 6.

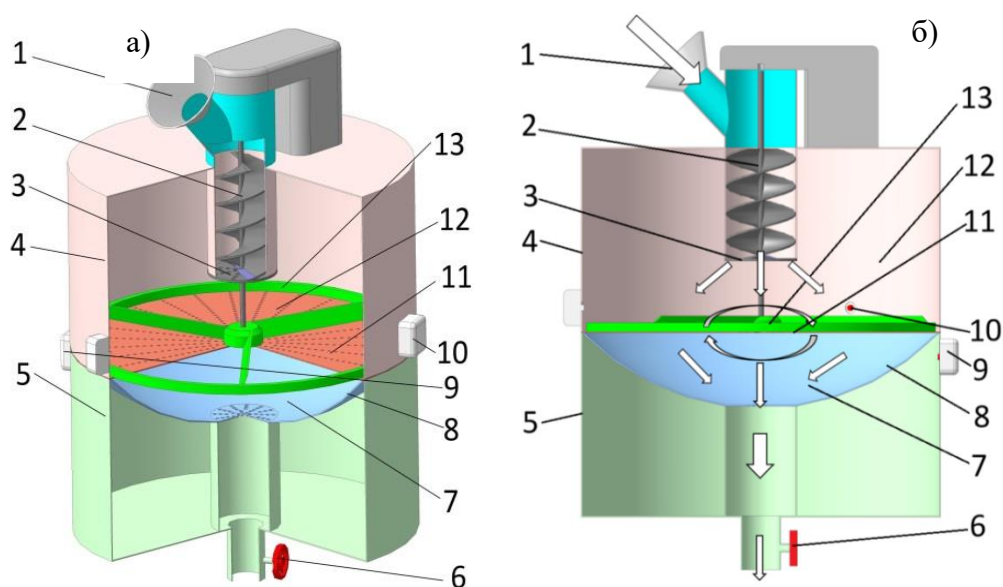


Рисунок 3.9 – СВЧ-размораживатель с состыкованными тороидальными резонаторами: а) общий вид в разрезе; б) схема протекания технологического процесса; 1 – грузочное устройство, 2 – нагнетательный шнек, 3 – нож с решеткой; 4 – верхний резонатор; 5 – нижний резонатор; 6 – шаровой кран; 7 – конденсаторная часть нижнего резонатора; 8 – диэлектрическая тарелка без дна; 9 – магнетроны на нижнем резонаторе; 10 – магнетроны на верхнем резонаторе; 11 – общее перфорированное основание резонаторов; 12 – конденсаторная часть верхнего резонатора; 13 – диэлектрический перемешивающий механизм

Включить электропривод измельчающего механизма (1, 2, 3) и диэлектрического перемешивающего механизма 13. Замороженное сырье с помощью измельчителя измельчается и попадает в конденсаторную часть 12 верхнего резонатора 4. Далее включить генераторы 10, после чего в тороидальном резонаторе возбуждается ЭМП СВЧ, под воздействием которого замороженное сырье размораживается, и жидкая фракция через перфорированное основание 11 сте-

кает в конденсаторную часть 7 нижнего резонатора 5, накапливается в диэлектрической тарелке 8. Далее, после включения генераторов 9 воздействием ЭМПСВЧ жидкое сырье разогревается. Разогретое молозиво животных до 39 °С стекает через перфорированное малое основание конденсаторной части нижнего резонатора 5 в центральную часть, откуда слить через шаровой кран 6. Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе приведена в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе с состыкованными тороидальными резонаторами

Действие оператора	Происходящий процесс
Закрывать шаровой кран	
Загрузить замороженное сырье в приемную емкость	
Включить электропривод измельчающего механизма и диэлектрического перемешивающего механизма	Измельчение замороженного сырья, перемещение его в конденсаторную часть верхнего квазистационарного тороидального резонатора
Включить сверхвысокочастотные генераторы на верхнем резонаторе	сырье размораживается, и жидкая фракция через перфорированное основание стекает в конденсаторную часть нижнего резонатора, накапливается в диэлектрической тарелке
Включить СВЧ генераторы на нижнем резонаторе	разогрев молозива
	разогретое молозиво животных стекает через перфорированное малое основание конденсаторной части нижнего резонатора в центральную часть
Открыть шаровой кран	выпаивание телят разогретым молозивом температурой 39 °С
Провести санитарную обработку СВЧ-размораживателя	

Технические характеристики СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия с состыкованными тороидальными резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с состыкованными тороидальными резонаторами

Параметры	Значение
Производительность, л/ч	25-30
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	5,3
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32
Мощность привода диэлектрического контейнера, кВт	0,18

Потребляемая мощность шести СВЧ генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев коровьего молозива, кВт·ч/кг	0,176

Преимущества. Равномерный нагрев измельченного замороженного сырья, возможность обеспечения электромагнитной безопасности при непрерывном режиме работы без дополнительного экранирующего корпуса, за счет заградительного волновода и шнека. *Недостатки.* Сложно регулировать напряженность электрического поля в конденсаторном зазоре из-за малого диаметра основания внутреннего цилиндра, куда установлен измельчающий механизм.

3.5 СВЧ-размораживатели непрерывно-поточного действия с коническими резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных

3.5.1 СВЧ-размораживатель молозива животных с коническими резонаторами (патент № 2752941)

Радиогерметичный многорезонаторный СВЧ-размораживатель (рис. 3.10) для дефростации и разогрева молозива животных выполнен объединением конических вертикально расположенных резонаторов 2 и 5 [175]. Основной резонатор 2 расположен вершиной вверх, а у дополнительных резонаторов 5 вершины направлены вниз. Периметры оснований основного и дополнительных резонаторов кратны половине длины волны. Вершина основного конического резонатора усечена и состыкована с приемной емкостью 1, которая содержит заслонку. По периметру его нижнего основания со сдвигом на 120 градусов установлены магнетроны 10 с воздушным охлаждением, подключенные к СВЧ генераторам. Над основанием основного конического резонатора расположен диэлектрический перемешивающий механизм 9 с электроприводом. Дополнительные конические резонаторы 5 расположены вершинами, направленными вниз. В заградительных объемах (ниже критического сечения) каждого дополнительного резонатора установлены датчики температуры 8, а в области вершин размещены шаровые краны 7 с электроприводами. Критическое сечение располагается на значительном расстоянии от вершины резонатора 2, что позволяет создавать отверстия для введения сырья, практически не нарушая в нем струк-

туру ЭМП. Отверстие на уровне критического сечения конического резонатора 2 позволяет загружать куски замороженного сырья с соблюдением электромагнитной безопасности, т.е. при обеспечении радиогерметичности СВЧ-размораживателя. Высота всех резонаторов кратна половине длины волны. При этом части боковой поверхности основного конического резонатора 2 со сдвигом на 120 градусов перфорированы и углублены внутрь соответствующих дополнительных конических резонаторов.

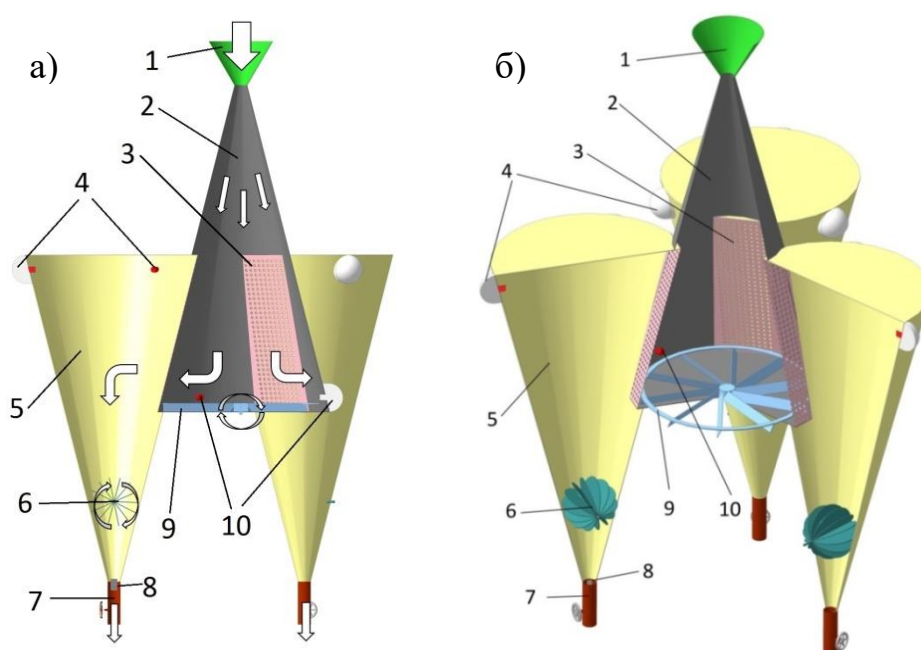


Рисунок 3.10 – Радиогерметичный многорезонаторный СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия: а) схема технологического процесса; б) общий вид в разрезе; 1 – приемную емкость; 2 – основной конический резонатор с перфорированными частями 3 боковой поверхности; 4 – магнетроны по периметрам оснований дополнительных конических резонаторов 5; 6 – диэлектрические перемешивающие устройства с электроприводами; 7 – шаровые краны с электроприводами; 8 – датчики температуры; 9 – диэлектрический перемешивающий механизм с электроприводом; 10 – магнетроны по периметру основания основного конического резонатора

Перфорированные поверхности 3 достигают до площади основания основного конического резонатора. По периметрам оснований дополнительных конических резонаторов установлены магнетроны 4 со сдвигом на 120 градусов. Внутри каждого дополнительного резонатора в области вершины расположены диэлектрические перемешивающие устройства 6 с электроприводом. Вершина основного конического резонатора 2 усечена на уровне критического сечения, а его нижнее основание расположено выше критических сечений вершин допол-

нительных конических резонаторов (выше запредельных объемов каждого дополнительного резонатора 5) [175]. Известно, что в конической части резонатора с размерами, согласованными с длиной волны, возникает условие отсечки для высших типов колебаний [93]. Вследствие этого создаются условия для возникновения резонансных колебаний за счет переотражений электромагнитных волн от критического сечения. Появляется запредельный объем. Конический профиль резонаторов обеспечивает снятие вырождения между колебаниями H_{01p} и E_{11p} [90, 93].

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных происходит следующим образом. Загрузить замороженное сырье размером 3-4 см (две глубины проникновения волны длиной 12,24 см) в приемную емкость 10, предварительно закрыв заслонку и шаровые краны 6. Включить электропривод диэлектрического перемешивающего механизма 9, после открыть заслонку, включить соответствующие генераторы и вентиляторы для охлаждения магнетронов 4. Под воздействием ЭМП СВЧ на замороженное сырье происходит его дефростация. Жидкое молозиво в процессе вращения перемешивающего механизма 9 с достаточно большими оборотами сбрасывается к боковой поверхности основного конического резонатора 2 и через отверстия перфорированных частей 3 попадает в дополнительные резонаторы 5. Далее включить генераторы 4 для возбуждения ЭМП СВЧ в дополнительных конических резонаторах 5 и включить электропривод перемешивающих устройств 6. Жидкое сырье накапливается в дополнительных резонаторах до уровня основания основного резонатора. Это основание выше критических сечений дополнительных резонаторов 5. Молозиво здесь нагревается до температуры 39 °С. При этом в запредельных объемах дополнительных конических резонаторов 5 ЭМП СВЧ отсутствует. Жидкое молозиво следует перемешивать с помощью диэлектрических устройств 6. Это позволит поддержать температуру молозива во всем объеме на уровне 39 °С. Датчики температуры 8 находятся в запредельном объеме, где отсутствует электромагнитное поле, т.е. отсутствует влияние на стабильность регистрации температуры сырья. Электроприводы шаровых кранов,

установленные в вершины дополнительных резонаторов, управляются сигналами от датчиков температуры и открывают шаровые краны 7 на определенный зазор. Система связанных нескольких конических резонаторов обладает определенными *практическими преимуществами*. Особенности конических резонаторов – это достаточно высокая собственная добротность, наличие запредельных объемов, облегчающих подачу замороженного сырья в резонатор и слив готового молозива в непрерывном режиме из резонаторов, соблюдение радиогерметичности без специального экранирующего корпуса. В каждом резонаторе регулируется доза воздействия ЭМП СВЧ с учетом противоположного характера изменения диэлектрических параметров замороженного и жидкого молозива в зависимости от температуры. СВЧ-размораживатель обеспечивает высокую напряженность ЭП; равномерное распределение сырья во всем объеме резонатора; возможность регулирования дозы воздействия и обеспечения тепловой обработки отдельно с учетом агрегатного состояния молозива (замороженное и жидкое молозиво). *Недостатки*. Сложно оценить критическое сечение в зависимости от угла раствора и высоты конического резонатора, зависящей от длины волны.

Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе приведена в табл. 3.5. Технические характеристики СВЧ-размораживателя приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6 – Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе

Действие оператора	Происходящий процесс
Закрывать заслонку и шаровой кран	
Загрузить замороженное сырье в приемную емкость	
Включить электропривод диэлектрического перемешивающего механизма	
Открыть заслонку	
Включить СВЧ генераторы	Дефростация коровьего молозива, жидкая фракция в процессе вращения диэлектрического перемешивающего механизма сбрасывается к боковой поверхности основного конического резонатора и через отверстия перфорированных частей основного резонатора попадает в дополнительные резонаторы

Включить генераторы для возбуждения ЭМП СВЧ в дополнительных конических резонаторах	Разогрев жидкой фракции
Включить электропривод диэлектрических перемешивающих устройств	Жидкое молоко накапливается в дополнительных конических резонаторах до уровня основания основного конического резонатора
	Автоматическое открытие шарового крана
	Выпаивание тельника разогретым молоком температурой 38-39 °С
Провести санитарную обработку СВЧ-размораживателя	

Таблица 3.5 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с коническими резонаторами

Параметр	Значение
Производительность, л/ч	25-30
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	5,3
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32
Мощность привода диэлектрического контейнера, кВт	0,18
Потребляемая мощность шести СВЧ генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молока, кВт·ч/кг	0,176

3.5.2 СВЧ-размораживатель молока животных с состыкованными вершинами конических резонаторов (патент № 2775137)

СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия с резонаторами, позволяющими разделить процессы дефростации и разогрева замороженного сырья, освобожденного от пластиковых бутылок собран из двух вертикально расположенных усеченных конических резонаторов 1, 7, состыкованных усеченными вершинами с помощью неферромагнитной цилиндрической муфты 6 (рис. 3.11). На основаниях усеченных конических резонаторов по периметру со сдвигом на 120 градусов установлены магнетроны 4, 12 с воздушным охлаждением, излучатели от которых направлены в соответствующие резонаторы. Внутри верхнего усеченного конического резонатора 1 соосно на диэлектрическом валу 5 от электродвигателя установлен диэлектрический контейнер 2. Он выполнен в виде соосно расположенных усеченных конусов без оснований, где кольцевое пространство разделено на отсеки для размещения замороженного сырья, освобожденного от пластиковых бутылок. Между верхним усеченным коническим резонатором и диэлектрическим контейнером расположены опорные ролики 13. К внутренней поверхности нижнего усеченного конического ре-

зонатора 7 под цилиндрической неферромагнитной муфтой 6 прикреплена диэлектрическая направляющая в виде усеченного конуса 8 без оснований, вершиной вниз, а под ним – диэлектрическая коническая направляющая 9 без основания, вершиной вверх. Далее под ней (9) к резонатору 7 прикреплен диэлектрический конический накопитель 10 с шаровым краном 11 на вершине. На основании верхнего усечённого конического резонатора предусмотрен запердельный волновод для загрузки замороженного сырья 14. Он наклонен в соответствии с углом наклона отсеков 3. Конструктивные размеры: диаметр основания, угол наклона образующей конуса, высота конуса согласованы с длиной волны. Вершины конических резонаторов усечены диаметром не более четверти длины волны.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных происходит следующим образом. Включить электропривод (диэлектрический вал 5) диэлектрического контейнера 2, который начинает медленно вращаться, опираясь на ролики.

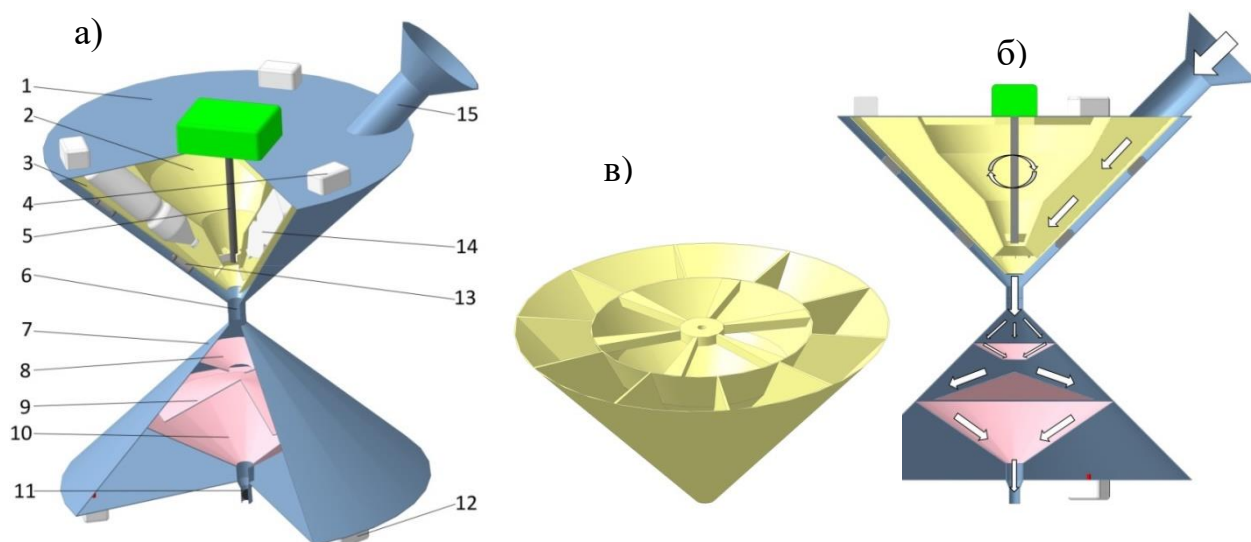


Рисунок 3.11 – СВЧ-размораживатель с состыкованными вершинами конических резонаторов: а) пространственное изображение; б) схематическое изображение; в) диэлектрический контейнер с отсеками; 1 – верхний усечённый конический резонатор, 2 – диэлектрический контейнер с отсеками; 4 – магнетроны на основании верхнего усеченного конического резонатора; 5 – диэлектрический вал для вращения диэлектрического контейнера; 6 – цилиндрическая неферромагнитная муфта; 7 – нижний усечённый конический резонатор; 8 – диэлектрическая направляющая в виде усеченного конуса; 9 – диэлектрическая коническая направляющая; 10 – диэлектрический конический накопитель; 11 – шаровой кран; 12 – магнетроны на основании нижнего усеченного конического резонатора; 13 – опорные ролики; 14 – замороженное сырье без пластиковой бутылки; 15 – запердельный волновод

Закрывать шаровой кран 11. Загрузить замороженное сырье 14 без пластиковой бутылки через запредельный волновод 15 все отсеки 3 диэлектрического контейнера 2. Включит СВЧ генераторы (магнетроны 4), после чего в верхнем усеченном коническом резонаторе 1 возбуждается ЭМПСВЧ.

Замороженное сырье в процессе вращения диэлектрического контейнера 2 равномерно нагревается, происходит послойная дефростация сырья, в зависимости от глубины проникновения волны. Молозиво жидкое стекает через неферромагнитную муфту 6 в нижний усеченный конический резонатор 7, т.е. в диэлектрическую направляющую 8 в виде усеченного конуса. Такое ступенчатое воздействие ЭМПСВЧ обеспечивает более равномерный эндогенный нагрев жидкого сырья. Около усеченных вершин конических резонаторов напряженность ЭП достаточно высокая (1-1,2 кВ/см) для обеспечения низкотемпературного обеззараживания жидкого молозива. Включить СВЧ генераторы (магнетроны 12), после чего в нижнем усеченном коническом резонаторе 7 возбуждается ЭМПСВЧ, жидкое сырье в диэлектрическом усеченном конусе 8 эндогенно нагревается, вытекает из него и стекает по поверхности диэлектрического конического направляющего 9, нагревается. Далее сырье накапливается в диэлектрическом коническом накопителе 10 и продолжает эндогенно нагреваться до 39 °С. Датчик температуры расположен около шарового крана.

Преимущества. Дефростация молозива в пластиковых бутылках. Равномерный разогрев молозива за счет распределения между диэлектрическими накопителями, в соответствии с глубиной проникновения волны. Возможность обеспечения высокой напряженности ЭП, электромагнитной безопасности при непрерывном режиме работы. *Недостатки.* Сложность в изготовлении.

Технические характеристики СВЧ-размораживателя молозива животных приведены в табл. 3.7, а операционно-технологическая схема – в табл. 3.8.

Таблица 3.7 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с состыкованными вершинами конических резонаторов

Параметры	Значение
Производительность, л/ч	25-30
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	5,3

Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32
Мощность привода диэлектрического контейнера, кВт	0,18
Потребляемая мощность шести СВЧ-генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев коровьего молозива, кВт·ч/кг	0,176

Таблица 3.8 – Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе с состыкованными вершинами конических резонаторов

Действие оператора		Происходящий процесс	
Освободить замороженное молозиво коровье от пластиковой бутылки			
Включить электропривод (диэлектрический вал) диэлектрического контейнера		вращение диэлектрического контейнера	
Закрыть шаровой кран			
Загрузить замороженное сырье через запредельный волновод во все отсеки диэлектрического контейнера			
Включить сверхвысокочастотные генераторы верхнего резонатора		в верхнем усеченном коническом резонаторе возбуждается электромагнитное поле сверхвысокой частоты	
		замороженное сырье в процессе вращения диэлектрического контейнера равномерно нагревается, происходит послойная дефростация сырья, в зависимости от глубины проникновения волны	
		жидкое молозиво стекает через неферромагнитную муфту в нижний усеченный конический резонатор	
Включить СВЧ генераторы нижнего резонатора		усеченном конусе эндогенно нагревается, вытекает из него и стекает по поверхности диэлектрического конического направляющего, нагревается	
Открыть шаровой кран		выпаивание теленка разогретым молозивом температурой 38-39 °С	
Провести санитарную обработку СВЧ-размораживателя			

3.6 СВЧ-размораживатели непрерывно-поточного действия с комбинированными резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных

3.6.1 СВЧ-размораживатель молозива животных с состыкованными коническим и тороидальным резонаторами (патент № 2752938)

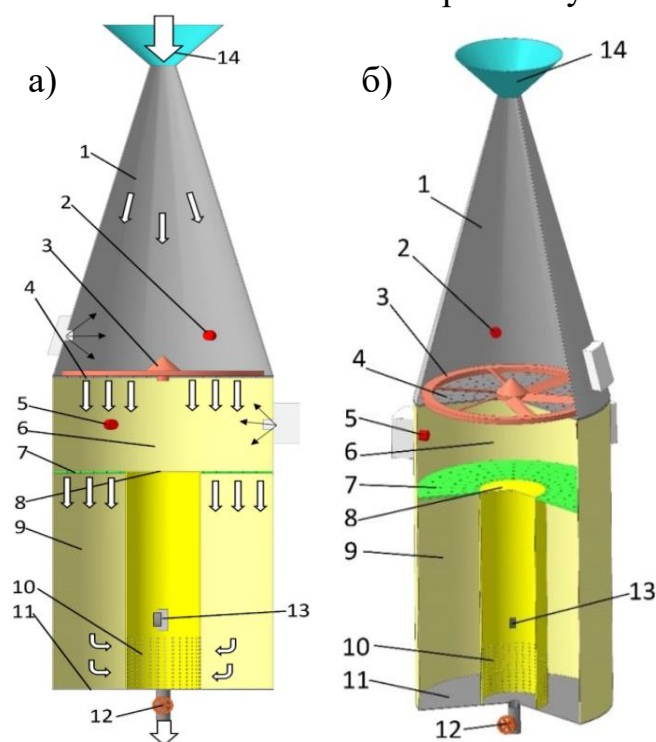
Двухрезонаторный СВЧ-размораживатель (рис. 3.12) выполнен в виде объединенных конического 1 и тороидального (6, 7) резонаторов с общим перфорированным неферромагнитным основанием 4. Вершина конического резонатора усечена на уровне диаметра, не превышающего четверти длины волны

для загрузки замороженных брикетов молозива. По три магнетрона со сдвигом на 120 градусов по периметру расположены на поверхностях каждого резонатора. Три излучателя от магнетронов 2 направлены в конический резонатор над перфорированным неферромагнитным основанием и три излучателя от магнетронов 5 расположены под основанием. Тороидальный резонатор представлен конденсаторной частью 6, отделенной перфорированным диэлектрическим кольцевым основанием 7 от кольцевой части 9 резонатора. Средний периметр кольцевой части резонатора кратен половине длины волны. Кольцевая часть резонатора представлена как соосно расположенные неферромагнитные цилиндры с общим неферромагнитным нижним основанием 11. На нижнем основании внутреннего неферромагнитного цилиндра установлен шаровой кран 12, верхнее его основание 8 выполнено из неферромагнитного материала, а нижняя часть его боковой поверхности 10 перфорирована. Датчик температуры 13 установлен внутри данного цилиндра. Над перфорированным основанием конического резонатора расположен перемешивающий диэлектрический механизм 3 с электроприводом. Над усеченной вершиной конического резонатора установлена приемная емкость 15 с заслонкой.

Технологический процесс дефростации и разогрева коровьего молозива происходит следующим образом. Загрузить брикеты замороженного коровьего молозива толщиной не более 3-4 см (т.е. не превышающей две глубины проникновения волны, длиной 12,24 см) в приемную емкость 14, предварительно закрыв заслонку и шаровой кран 12. Включить электропривод диэлектрического перемешивающего механизма 3. Открыть заслонку, при наличии брикетов молозива в коническом резонаторе включить генераторы 2. Под воздействием ЭМП СВЧ происходит дефростация коровьего молозива, жидкая фракция в процессе перемешивания 3 стекает через отверстия перфорированного неферромагнитного основания. Далее следует включить генераторы 5, излучатели которых направлены в конденсаторную часть 6 тороидального резонатора, где создается высокая напряженность электрического поля. Сырье разогревается, находясь на перфорированном диэлектрическом основании 7, диаметр отвер-

стей, перфорации которого меньше, чем на неферромагнитном основании конического резонатора. Это связано с высокой жирностью молозива, текучесть

которого с увеличением температуры возрастает. Разо-



гретое сырье стекает в кольцевое пространство 9. Откуда через отверстия перфорации на нижней части боковой поверхности 10 попадает во внутренний цилиндр. Полученный продукт можно слить, открыв шаровой кран 12. Во внутреннем цилиндре 8, 11, где отсутствует ЭМПСВЧ, установлен датчик температуры 13, позволяющий управлять процессом слива продукта с помощью шарового крана.

Рисунок 3.12 – СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева коровьего молозива: а) схема технологического процесса; б) общий вид в разрезе; 1 – конический резонатор; 2 – магнетроны на коническом резонаторе; 3 – диэлектрический перемешивающий; 4 – перфорированное основание конического резонатора; 5 – магнетроны на поверхности конденсаторной части; 6 – конденсаторная часть тороидального резонатора; 7 – диэлектрическое перфорированное основание; 8 – неферромагнитное основание внутреннего цилиндра; 9 – кольцевая часть тороидального резонатора; 10 – перфорированная нижняя часть боковой стенки внутреннего цилиндра; 11 – неферромагнитное основание; 12 – шаровой кран; 13 – датчик температуры; 14 – приемная емкость

Электромагнитная безопасность обслуживающего персонала соблюдается за счет отсечения вершины конического резонатора на уровне критического сечения (запредельного объема) [127, 144, 215]. С учетом такой конструкции отпадает надобность в экранировании корпуса.

Таблица 3.9 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с состыкованными коническим и тороидальным резонаторами

Параметр	Значение
Производительность, л/ч	25-30
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	5,3
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32

Мощность привода диэлектрического контейнера, кВт	0,18
Потребляемая мощность шести СВЧ генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молозива, кВт·ч/кг	0,176

Технические характеристики СВЧ-размораживателя молозива приведены в табл. 3.9. Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных приведена в табл. 3.10.

Таблица 3.10 – Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе

Действие оператора		Происходящий процесс
Закрывать заслонку и шаровой кран		
Загрузить брикеты замороженного молозива		
Включить электропривод диэлектрического перемешивающего механизма		
Открыть заслонку		
Включить СВЧ генераторы	дефростация коровьего молозива, жидкая фракция в процессе перемешивания стекает через отверстия перфорированного неферромагнитного основания	
Открыть шаровой кран	выпаивание теленка разогретым молозивом температурой 39 °С	
Провести санитарную обработку СВЧ-размораживателя		

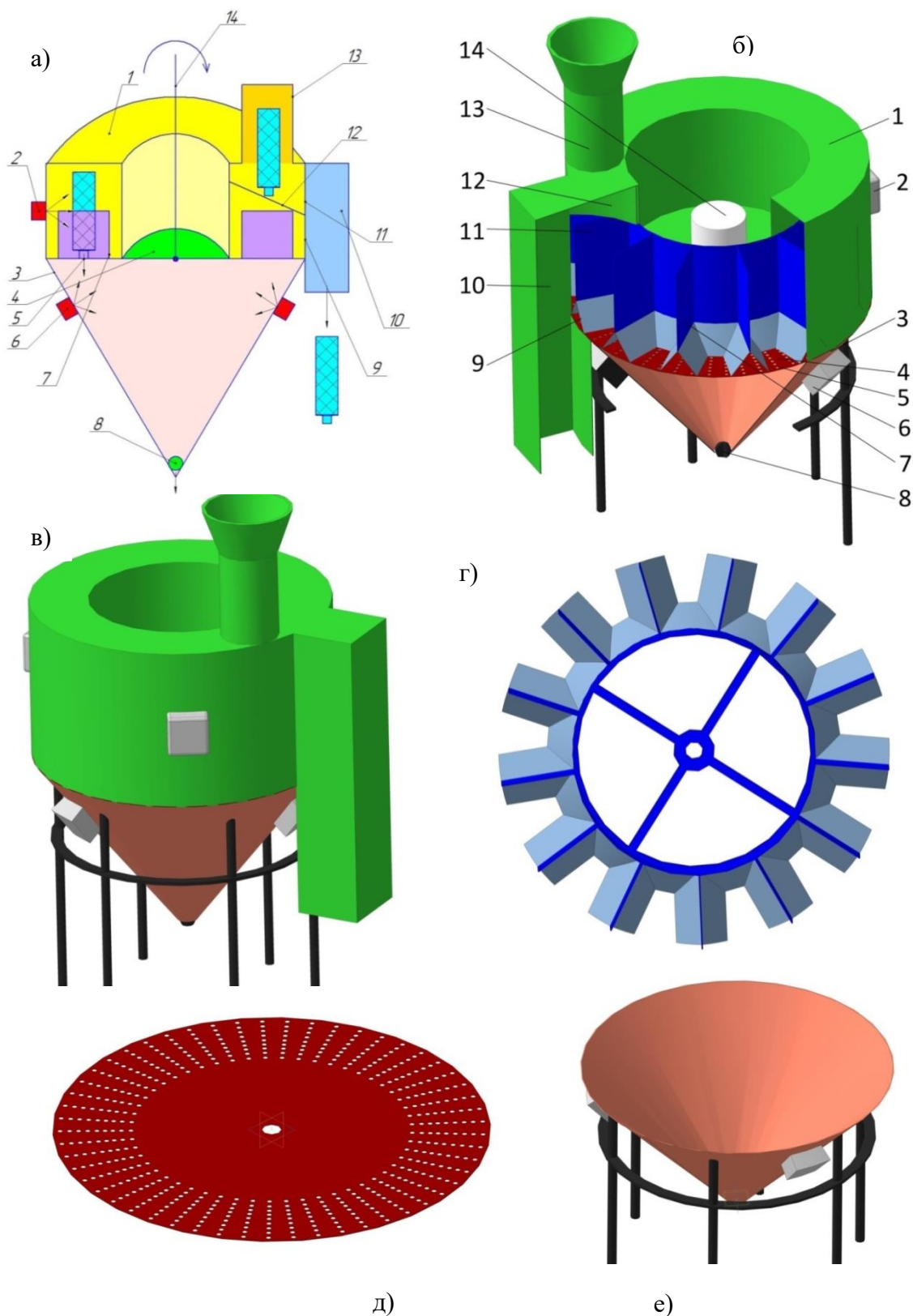
Преимущества. Возможность обеспечения высокой напряженности электрического поля в обоих резонаторах, электромагнитной безопасности при непрерывном режиме работы; равномерный нагрев сырья. *Недостатки.* Загрузка сырья только в измельченном виде. В коническом резонаторе равномерного распределения электромагнитного поля без диссекторов затруднительно.

3.6.2 СВЧ-размораживатель молозива животных с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами (патент № 2761810)

СВЧ-размораживатель (рис. 3.13) содержит коаксиальный резонатор 1 с магнетронами 2, образованный между двумя соосно расположенными неферромагнитными цилиндрами (наружным и внутренним), верхним кольцевым неферромагнитным основанием и неферромагнитным перфорированным основанием 4, являющимся одновременно основанием конического резонатора 3,

направленного вершиной вниз и пристыкованного к коаксиальному резонатору.

Одни магнетроны 2 со сдвигом на 120 градусов расположены на боковой поверхности коаксиального резонатора, другие магнетроны 6 также со сдвигом на 120 градусов расположены на поверхности конического резонатора, ближе к основанию. Над перфорированным основанием 4, внутри кольцевого объема, радиально установлены диэлектрические перегородки 7, образуя отсеки.



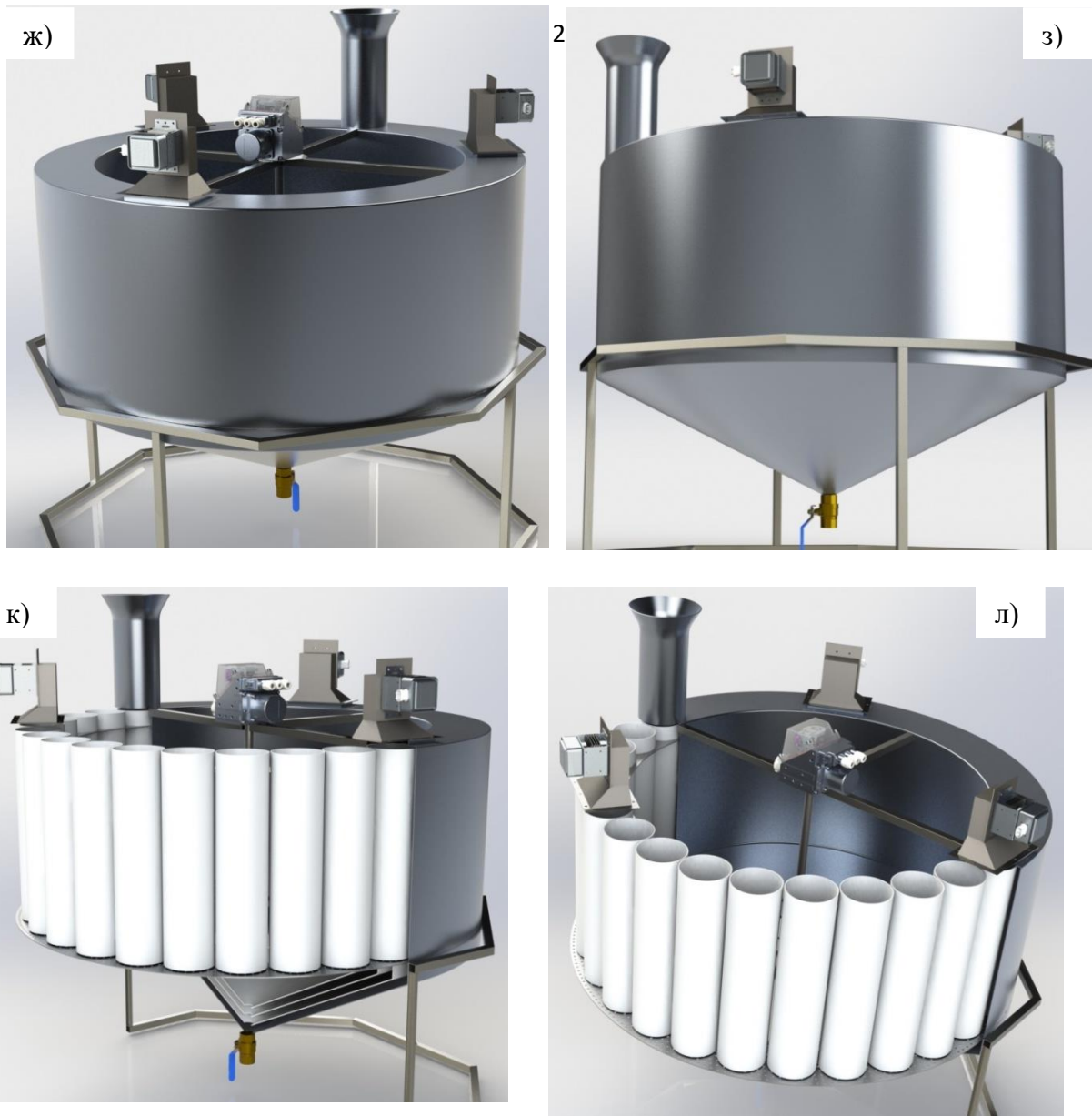


Рисунок 3.13 – СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных: а) схематическое изображение (в разрезе); б) пространственное изображение (в разрезе с позициями); в) пространственное изображение (общий вид); г) диэлектрические отсеки, образованные из перегородок (вид сверху); д) перфорированное неферромагнитное основание конического резонатора; е) конический резонатор; ж, з, к, л) пространственное изображение изготовленного СВЧ-размораживателя: 1 – коаксиальный резонатор прямоугольного сечения без нижнего основания; 2 – магнетроны на наружной боковой поверхности коаксиального резонатора; 3 – конический резонатор с основанием 4, имеющим перфорацию 5; 6 – магнетроны на поверхности конического резонатора; 7 – диэлектрические перегородки, образующие отсеки; 8 – шаровой кран на вершине конического резонатора; 9 – открытое окно на наружной боковой поверхности коаксиального резонатора; 10 – неферромагнитный выгрузной патрубок без основания; 11 – открытое окно на боковой поверхности неферромагнитного выгрузного патрубка; 12 – направляющая диэлектрическая планка; 13 – загрузочный патрубок; 14 – электропривод для передвижения отсеков

Средний периметр кольцевого объема резонатора кратен половине длины волны. Основание перфорировано 5, диаметром не более четверти длины вол-

ны. На вершине конического резонатора установлен шаровой кран 8. На боковой поверхности коаксиального резонатора имеется открытое окно 9. К окну пристыкован неферромагнитный выгрузной патрубок 10 без основания и с открытым окном 11 на боковой поверхности. Эти окна состыкованы и образуют проем. Напротив проема, к боковой поверхности внутреннего цилиндра коаксиального резонатора прикреплена направляющая диэлектрическая планка 12. На верхнем кольцевом основании коаксиального резонатора имеется загрузочный патрубок 13, выполняющий функцию заградительного волновода, диаметром не менее диаметра диэлектрической бутылки с сырьем. Причем, этот патрубок расположен впереди открытого окна 9 на боковой поверхности коаксиального резонатора 1. Отсеки передвигаются в кольцевом объеме с помощью электропривода 14, установленного на направляющей платформе. Между внутренним цилиндром коаксиального резонатора и перфорированным основанием 4 имеется прорезь для передвижения узла, связывающего вал электропривода 14 с радиальными диэлектрическими перегородками 7. Рядом шаровым краном расположена термопара, это возможно из-за того, что конические резонаторы, ближе к вершине, имеют критическое сечение, за которым ЭМП СВЧ отсутствует.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе происходит следующим образом. Включить электропривод 14 для перемещения отсеков в кольцевом объеме резонатора 1. Загрузить диэлектрические бутылки без крышки с замороженным сырьем в загрузочный патрубок 13, предварительно закрыв шаровой кран 8. Включить магнетроны 2, излучатели которых направлены в коаксиальный резонатор 1. В процессе перемещения отсеков, загрузить через заградительный волновод очередные бутылки с замороженным сырьем, без крышек. В коаксиальном резонаторе возбуждается ЭМП бегущей волны, и в соответствии с глубиной проникновения электромагнитного поля, замороженное сырье размораживается послойно, стекает через отверстия 5 перфорации основания 4, во второй резонатор 3. Включить магнетроны 6, излучатели которых направлены в конический резонатор 3.

Причем бутылки с сырьем перемещаются в кольцевом пространстве и опустошаются в конце полного оборота отсеков, так как происходит дефростация под воздействием диэлектрического нагрева. Пустая бутылка в конце полного оборота отсеков упирается в диэлектрическую планку 12, и выталкивается в неферромагнитный выгрузной патрубком 10 без основания, через проем, образованный состыкованными открытыми окнами 9, 11, падает в емкость для сбора пустых бутылок. Жидкое сырье, накапливается в коническом резонаторе 3, подвергается воздействию ЭМП СВЧ от шести источников СВЧ [70]. Жидкое сырье разогревается до 39-40 °С и через шаровой кран 8 дозированно сливается в приемную емкость. Температура сырья контролируется с помощью датчика температуры (термопары). В обоих резонаторах возбуждается электрическое поле высокой напряженности, достаточной для снижения бактериальной обсемененности продукта. Технические характеристики СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных приведены в табл. 3.11.

Таблица 3.11 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами

Параметры	Значение
Производительность, л/ч	25-30
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	5,16
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,16
Мощность привода диэлектрического контейнера, кВт	0,18
Потребляемая мощность шести СВЧ-генераторов, кВт	4,8
Удельная мощность генератора, Вт/г	0,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молозива, кВт·ч/кг	0,176

Объем кольцевого пространства для коаксиального резонатора можно определить по формуле: $V = (\pi \cdot R_1^2 \cdot h) - (2\pi \cdot R_2^2 \cdot h)$,

где R_1 – радиус внешний, м, R_2 – радиус внутренний, м, h – высота резонаторной камеры, м.

Задаваясь необходимой производительностью СВЧ-размораживателя (до 40 л) проектировали резонатор на 100 и 160 л. При этом средний периметр

кольцевого объема должен быть кратным половине длины волны, высота согласована с высотой пластиковых бутылок, объемом 1,5 л.

Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами приведена в табл. 3.12.

Таблица 3.12 – Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами

Действие оператора	Происходящий процесс
Включить электропривод	перемещения отсеков в кольцевом объеме коаксиального резонатора
Закрыть шаровой кран	
Загрузить диэлектрические бутылки без крышки с замороженным сырьем в загрузочный патрубок	
Включить магнетроны, излучатели которых направлены в коаксиальный резонатор	
Загрузить через запредельный волновод очередные бутылки с замороженным сырьем	в коаксиальном резонаторе возбуждается ЭМП бегущей волны, и в соответствии с глубиной проникновения электромагнитного поля, замороженное сырье размораживается послойно, стекает через отверстия перфорации основания во второй резонатор
Включить магнетроны, излучатели которых направлены в конический резонатор	дефростация под воздействием диэлектрического нагрева, бутылки с сырьем перемещаются в кольцевом пространстве и опустошаются в конце полного оборота отсеков, пустая бутылка падает в емкость
Открыть шаровой кран	выпаивание теленка разогретым молозивом температурой 39 °С
Провести санитарную обработку СВЧ-размораживателя	

Преимущества. Возможность обеспечения непрерывного режима работы. Равномерный нагрев сырья в кольцевом объеме прямоугольного сечения. Возможность варьировать объемом и количеством бутылок.

Недостатки. Запредельный волновод, используемый для загрузки пластиковых бутылок, очень длинный, что вызывает затруднения при размещении бутылок в контейнеры. Поэтому проектируется узел подачи бутылок при открытом окне, но с использованием керамической трубы намного короче, чем запредельный волновод.

3.6.3 СВЧ-размораживатель молозива животных с металлодиэлектрическим резонатором (патент № 22762645)

Двухрезонаторный СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных (рис. 3.14) собран из трех соосно вертикально расположенных цилиндров. Это наружный экранирующий неферромагнитный цилиндрический корпус 1, радиопрозрачный пустой цилиндр 5 и диэлектрический сплошной цилиндр 6. Боковая поверхность экранирующего корпуса представлена в виде выпуклых полуцилиндров, радиусом кратным половине длины волны, и на ней со сдвигом на 120 градусов установлены магнетроны 8. А боковая поверхность диэлектрического сплошного цилиндра 6 представлена в виде вогнутых полуцилиндров, радиусом, кратным половине длины волны. Такие конфигурации экранирующего неферромагнитного цилиндра и сплошного диэлектрического резонатора обоснованы особенностями диэлектрических резонаторов, где возбуждаются колебания с вариациями поля в направлении криволинейной координаты вокруг оси резонатора. Электромагнитные поля формируются волнами, распространяющимися внутри диэлектрика и падающими на боковую криволинейную поверхность под очень пологими углами. При этом их коэффициент отражения близок к единице [146]. На верхнем неферромагнитном основании 2 экранирующего корпуса установлены электродвигатель 3 и запредельный волновод 14 для приема сырья. Запредельный волновод расположен над кольцевым пространством, образованным между радиопрозрачным пустым 5 и диэлектрическим сплошным 6 цилиндрами. Нижним основанием корпуса 1 служит кольцевое неферромагнитное основание 9 и установленный внутри него вращающийся неферромагнитный перфорированный диск 7. К наружному краю кольцевого основания прикреплен конический неферромагнитный резонатор 10, вершиной вниз, а к боковой поверхности резонатора 10 установлены магнетроны 11 со сдвигом на 120 градусов по периметру основания. Внутри конического неферромагнитного резонатора 10 соосно установлены радиопрозрачные усеченные конические тарелки 12. Межтарелочное пространство не более две глубины проникновения волны в

жидкое молозиво. К вершине конического резонатора 10 прикреплен запредельный волновод 13 с шаровым краном для слива продукта.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в двухрезонаторном СВЧ-размораживателе непрерывно-поточного действия происходит следующим образом. Молозиво, замороженное в силиконовых контейнерах, достать из морозильной камеры и освободить от них.

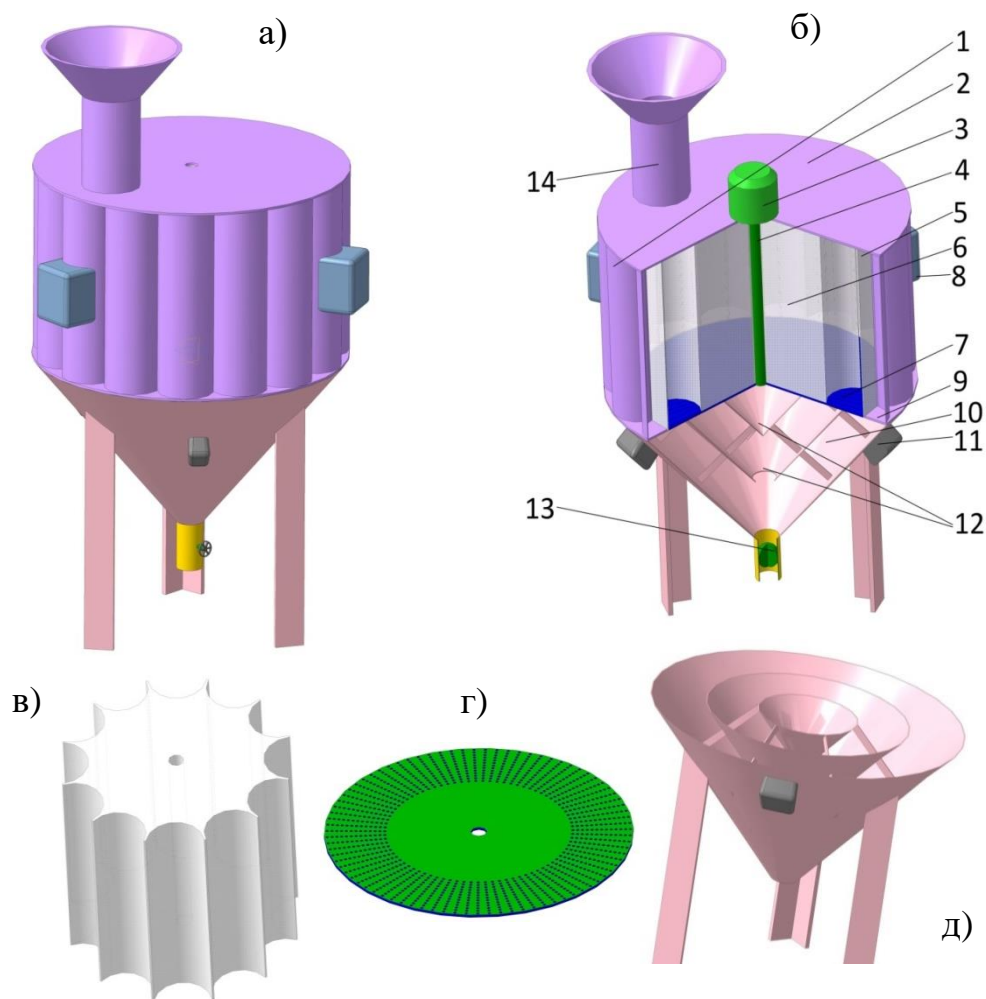


Рисунок 3.14 – СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия с металлодиэлектрическим резонатором для дефростации и разогрева молозива животных: а) пространственное изображение установки (общий вид); б) пространственное изображение установки (вид спереди в разрезе); в) диэлектрический сплошной цилиндр; г) диск неферромагнитный перфорированный; д) конический неферромагнитный резонатор с радиопрозрачными усеченными коническими тарелками; 1 – экранирующий неферромагнитный цилиндрический корпус; 2 – верхнее неферромагнитное основание; 3 – электродвигатель; 4 – вал неферромагнитный; 5 – радиопрозрачный пустой цилиндр; 6 – диэлектрический сплошной цилиндр; 7 – диск неферромагнитный перфорированный; 8, 11 – магнетроны; 9 – кольцевое неферромагнитное основание корпуса; 10 – конический неферромагнитный резонатор; 12 – радиопрозрачные усеченные конические тарелки; 13 – запредельный волновод с шаровым краном; 14 – запредельный волновод для приема сырья

Причем, в замороженном виде силиконовый контейнер с молозивом имеет цилиндрическую форму. Включить электропривод 3 для вращения перфорированного неферромагнитного диска 7 вместе со сплошным диэлектрическим цилиндром 6 и радиопрозрачными усеченными коническими тарелками 12. Загрузить через приемный запределный волновод 14 замороженные бруски молозива в проемы диэлектрического сплошного цилиндра 6, в процессе его передвижения. Включить сверхвысокочастотные генераторы, магнетроны 8 которых расположены на боковой поверхности экранирующего неферромагнитного цилиндрического корпуса 1. После чего в пространстве неферромагнитного корпуса 1 возбуждается ЭМП СВЧ, под воздействием которого замороженное сырье размораживается в процессе передвижения внутри объема экранирующего неферромагнитного корпуса 1, жидкая фракция через перфорированный неферромагнитный диск 7 стекает в пространство между радиопрозрачными тарелками 12, расположенными в коническом неферромагнитном резонаторе 10. Такое послойное разделение жидкости с помощью радиопрозрачных тарелок 12 повышает скорость нагрева сырья, так как толщина сырья не превышает две глубины проникновения волны. Далее следует включить СВЧ генераторы (магнетроны 11), излучатели которых направлены в конический резонатор 10, после чего возбуждается ЭМП СВЧ, жидкое сырье разогревается до температуры 38-39 °С и сливается через запределный волновод 13, пропускная способность которого регулируется с помощью шарового крана. В коническом неферромагнитном резонаторе 10 возбуждается электрическое поле высокой напряженности (выше 1,0-1,5 кВ/см), поэтому происходит низкотемпературное обеззараживание молозива [49, 126, 178, 201]. Использование запределных волноводов, размеры которых согласованы с длиной волны, и конического неферромагнитного резонатора обеспечивают электромагнитную безопасность. При этом мощность потока излучений должна быть не более 10 мкВт/см² в течение рабочего дня [88, 215, 261]. Рядом с шаровым краном в запределном волноводе установлен датчик температуры. Пространство внутри неферромагнитного цилиндрического корпуса выполняет функцию *металлодиэлектрического* ре-

зонатора. Микроволны удерживаются внутри поляризуемого диэлектрика, например, керамики, сапфира и т.п., за счет резкого изменения диэлектрической проницаемости на поверхности, и отражаются между сторонами диэлектрического сплошного цилиндра b и экранирующим неферромагнитным цилиндром [186, 271]. Микроволны образуют стоячие волны. Керамика или сапфир имеют большую диэлектрическую проницаемость и низкий коэффициент рассеивания. Резонансная частота определяется конструктивными размерами резонатора и диэлектрической проницаемостью материала. Металлодиэлектрический резонатор работает также, что и неферромагнитные объемные резонаторы, но радиоволны отражаются большим изменением диэлектрической проницаемости, а не проводимостью неферромагнитного материала резонатора, где поверхность становится отражателями, но с потерями (скин-слои). Отражающей поверхностью является граница раздела сырья с диэлектрической проницаемостью больше единицы и воздуха. Электромагнитные колебания в металлодиэлектрических резонаторах можно рассматривать как суперпозицию электрического поля с магнитным полем [91, 92, 252].

Итак, на основе существующих теорий приведена математическая аргументация обеспечения ускорения процесса дефростации молозива и обеззараживания воздействием сантиметровых волн при изменении диэлектрических параметров сырья и с учетом критической напряженности электрического поля. Разработан СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения, обеспечивающая дефростацию молозива в металлодиэлектрическом резонаторе и разогрев молозива во втором резонаторе из неферромагнитного материала с соблюдением послойного разделения жидкости с помощью радиопрозрачных тарелок в соответствии с глубиной проникновения волны для повышения скорости разогрева молозива.

Преимущества СВЧ-размораживателя с металлодиэлектрическим резонатором. При использовании внутри цилиндрического резонатора с криволинейной боковой поверхностью *керамического цилиндра* также с криволинейной поверхностью образуется *металлодиэлектрический* резонатор. В таком резо-

наторе радиоволны отражаются, и происходит суперпозиция электрического и магнитного полей.

Недостатки. Не удобный запредельный волновод, через которого загружаются пластиковые бутылки с замороженным сыром.

Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе с металлодиэлектрическим резонатором приведена в табл. 3.13.

Таблица 3.13 – Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе с металлодиэлектрическим резонатором

Действие оператора		Происходящий процесс	
Освободить замороженное молозиво от цилиндрической силиконовой тары			
Включить электропривод	вращения перфорированного неферромагнитного диска вместе со сплошным диэлектрическим цилиндром и радиопрозрачными усеченными коническими тарелками		
Загрузить замороженное сырье через приемный запредельный волновод в проемы диэлектрического сплошного цилиндра			
Закрыть сверху неферромагнитным диском-основанием			
Открыть сливной патрубков			
Включить сверхвысокочастотные генераторы, магнетроны которых расположены на боковой поверхности экранирующего неферромагнитного цилиндрического корпуса	дефростация замороженного сырья в процессе передвижения внутри объема экранирующего неферромагнитного корпуса, жидкая фракция через перфорированный неферромагнитный диск стекает в пространство между радиопрозрачными тарелками, расположенными в коническом неферромагнитном резонаторе		
Включить СВЧ генераторы, излучатели которых направлены в конический резонатор	жидкое сырье разогревается до температуры 39 °С		
	сливается через запредельный волновод, пропускная способность которого регулируется с помощью шарового крана		
	выпаивание теленка, температура при выпойке – 38-39 °С		
Провести санитарную обработку СВЧ-размораживателя			

Технические характеристики СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия с металлодиэлектрическим резонатором для дефростации и разогрева молозива животных приведены в табл. 3.14.

Таблица 3.14 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с металлодиэлектрическим резонатором

Параметры	Значение
Производительность, л/ч	25-30
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	5,3
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32
Мощность привода диэлектрического контейнера, кВт	0,18
Потребляемая мощность шести СВЧ-генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молозива, кВт·ч/кг	0,176

3.7 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с состыкованными тороидальными резонаторами с перекачиванием сырья с помощью насоса

Во всех вышеописанных СВЧ-размораживателях транспортирование сырья через рабочие камеры осуществляются либо с помощью контейнеров, если в пластиковых бутылках. Если в измельченном виде, то используется перемешивающий механизм над перфорированной поверхностью. Жидкое сырье стекает самотеком и накапливается во втором резонаторе. Для ускорения процесса разработан СВЧ-размораживатель с состыкованными тороидальными резонаторами, через них с помощью насоса, предназначенного для сырья, перекачивается измельченное замороженное сырье (рис. 3.15). С учетом производительности насоса подбирается доза воздействия ЭМП СВЧ, а, следовательно, общее количество необходимых магнетронов воздушного охлаждения. СВЧ-размораживатель содержит шредер, где происходит измельчение замороженного сырья без тары. Это сырье в процессе перекачивания через резонаторы подвергается воздействию ЭМП СВЧ. Двухрезонаторный СВЧ-размораживатель позволяет реализовать способ дефростации и разогрева в разных дозах. В конденсаторных зонах обеспечивается высокая напряженность электрического поля, так как тороидальные резонаторы исполнены как четвертьволновые. Это значит, высота конденсаторной зоны всего 3,08 см, напряженность электрического поля может достигнуть до половины пробивной, т.е. 15 кВ/см.

Поэтому молокопровод выполнен из толстостенного диэлектрического материала, диаметром 3,08 см. В связи с тем, что напряженность электрическо-

го поля очень высокая, а генерируемая в единице объема сырья мощность диэлектрического нагрева пропорциональна квадрату напряженности, поэтому скорость нагрева сырья высокая [200]. А это позволит резко сократить длительность процессов дефростации и разогрева сырья.

СВЧ-размораживатель работает следующим образом. Включить одновременно шредер и насос. Далее включить все магнетроны на обоих тороидальных резонаторах. После чего измельченное (замороженное) сырье перекачивается через диэлектрический молокопровод, эндогенно нагревается и перекачивается во второй резонатор, но в тороидальной части молоко нагревается меньшей скоростью, чем в конденсаторной зоне. Это позволит выровнить давление, температуру по сечению молокопровода. Чередование нагрева высокой и меньшей скоростью позволит соблюдать скважность технологического процесса, что сохраняет кормовую ценность молока.

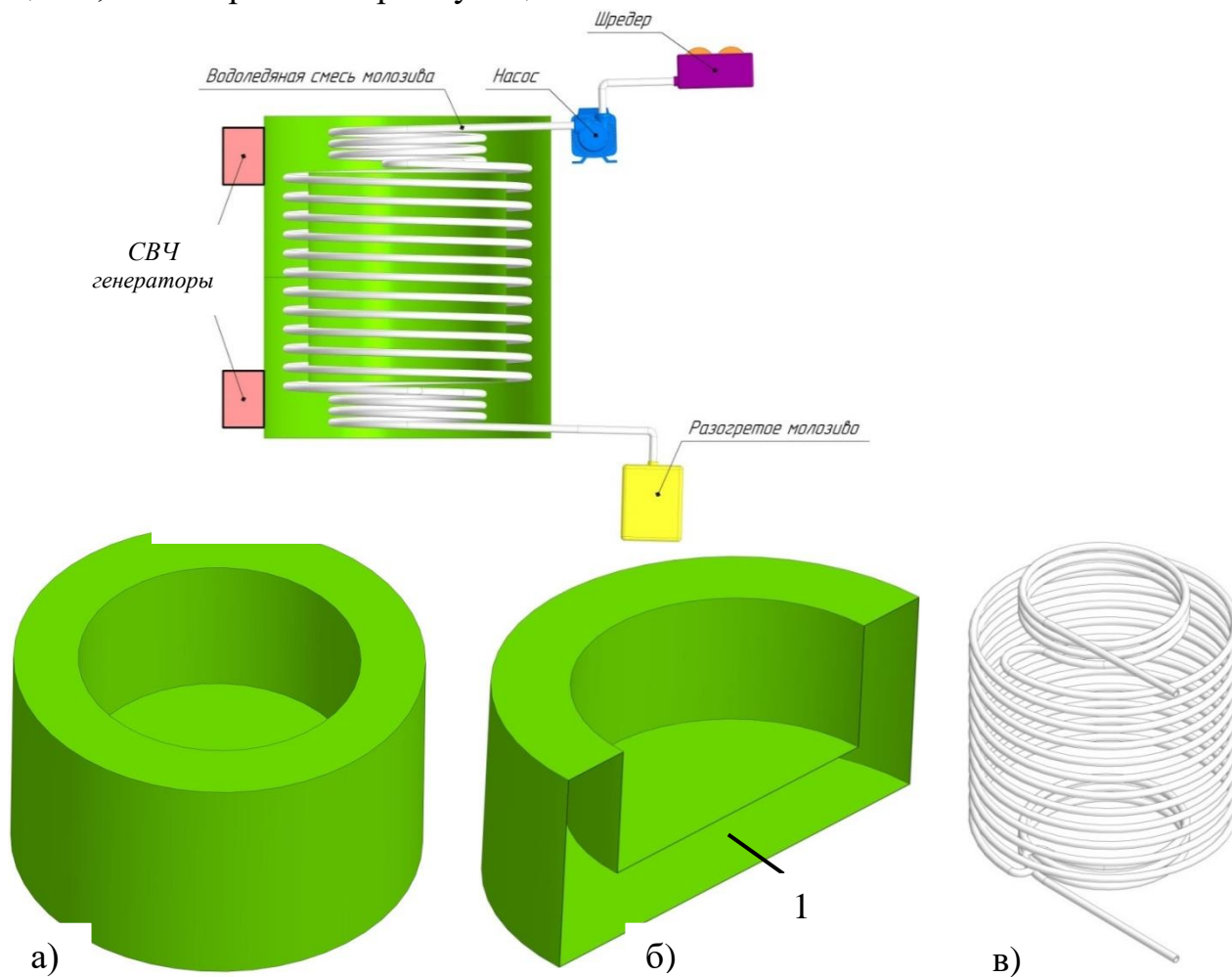


Рисунок 3.15 – Узлы СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молока животных: а) тороидальный резонатор; б) тороидальный резонатор в разрезе (1 – конденсаторная зона); в) фторопластовый толстостенный молокопровод

3.8 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия со сдвоенными коаксиальными резонаторами (патент № 2777113)

Во всех известных СВЧ-размораживателях транспортирование замороженного сырья через объемный резонатор осуществляются либо с помощью контейнеров, если в пластиковых бутылках, либо в измельченном виде с использованием перемешивающего механизма. В них реализовывается *научная инновационная идея* о том, что СВЧ-размораживатель для дефростации и разогрева молозива животных должен содержать сдвоенные резонаторы, рассчитанные на разные агрегатные состояния сырья, из-за существенных отличий его электродинамических и теплофизических характеристик в этих процессах. Но полное сохранение кормовой ценности молозива после такой технологии не происходит из-за того, что продолжительность технологического процесса недостаточно снижается, чтобы сохранить иммуноглобулины в продукте.

Целью работы является разработка радиогерметичного СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия с резонаторами, разделяющими процессы дефростации и разогрева молозива животных при изменении агрегатного состояния, позволяющей сохранить кормовую ценность за счет сокращения длительности технологического процесса. Один резонатор предназначен для дефростации от $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до 0 , другой резонатор – для разогрева до $39-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сдвоенные резонаторы должны разделять сырье при температуре, равной температуре фазового превращения. СВЧ-размораживатель (рис. 3.16) представлена в горизонтальной плоскости с двумя состыкованными кольцевыми резонаторами 1, 2 с прямоугольными сечениями и с общим основанием 3. В кольцевом пространстве имеются диэлектрические кольцевые перегородки 5, расположенные поярусно. На перегородках расположен молокопровод 6, свернутый в кольцо и фиксированный к перегородке 5. Продолжение молокопровода проложено через перегородку на последующие ярусы. На боковой стороне обоих резонаторов 1, 2 имеются запердельные волноводы 7, 10, сечением менее четверти длины волны. Через них проложены молокопроводы для подачи измельченного замороженного молозива в верхний коаксиальный резонатор 2, и

слива разогретого молозива из нижнего кольцевого резонатора 1, соответственно. В каждом молокопроводе 6, на выходе из верхнего резонатора 2, имеются неферромагнитные сетки 8 в диэлектрических втулках 9, ограничивающих излучение из верхнего резонатора 2 в нижний резонатор 1, и фильтрующие льдоводяную смесь. Это чтобы в молокопроводе, расположенном в нижнем резонаторе 1, подвергался воздействию ЭМП СВЧ только жидкое молозиво.

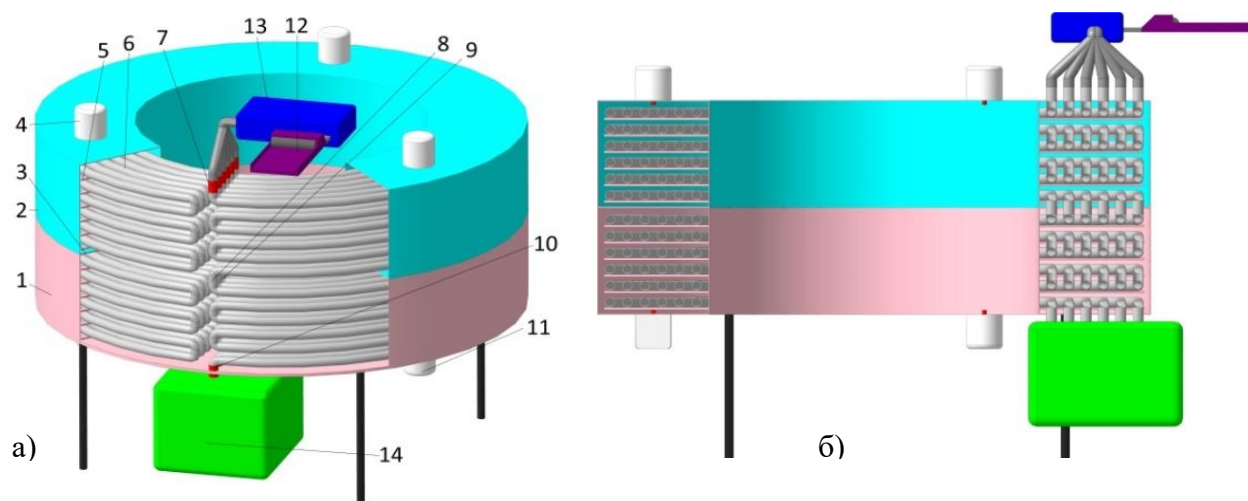


Рисунок 3.16 – СВЧ-размораживатель со сдвоенными коаксиальными резонаторами: а) общий вид в разрезе; б) схематическое изображение; 1 – нижний кольцевой резонатор; 2 – верхний кольцевой резонатор; 3 – общее основание резонаторов; 4 – магнетроны на верхнем резонаторе; 5 – диэлектрические кольцевые перегородки; 6 – молокопровод; 7 – запердельный волновод на верхнем резонаторе; 8 – неферромагнитная сетка; 9 – диэлектрическая втулка; 10 – запердельный волновод на нижнем резонаторе; 11 – магнетроны на нижнем резонаторе; 12 – измельчитель; 13 – насос для вязкой жидкости; 14 – емкость для приема продукта

Молокопровод сечением менее две глубины проникновения волны (примерно 2,8 см), их длина в резонаторах разная. Магнетроны с волноводом и вентилятором расположены со сдвигом на 120 градусов сверху на верхнем резонаторе 2 и снизу на нижнем резонаторе 1. Весь СВЧ-размораживатель расположен на монтажном каркасе, куда установлен измельчитель 14 и насос 15 для вязкой жидкости. Общий молокопровод от насоса разветвляется на молокопроводы с диаметром, согласованной с глубиной проникновения волны. Это позволит загрузить в резонатор достаточный объем сырья и согласовать продолжительность нахождения сырья в резонаторе с производительностью насоса для вязкой жидкости. Магнетроны 4 расположены на верхнем основании, а магнетроны 11 установлены на нижнем основании нижнего резонатора.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе со сдвоенными коаксиальными резонаторами происходит следующим образом. Молозиво замороженное следует освободить из пластиковых бутылок, загрузить в измельчитель 14, предварительно включив его. Для увеличения поверхности теплообмена, согласованной с глубиной проникновения волны сантиметрового диапазона и для обеспечения равномерного нагрева, замороженное сырье следует измельчить. Далее с помощью насоса 15 для вязкой жидкости следует перекачивать в верхний резонатор 2, где оно подвергается воздействию ЭМП СВЧ. Происходит дефростация молозива животных, жидкое сырье перекачивается через неферромагнитные сетки 8, расположенные в диэлектрических втулках 9, в нижний коаксиальный резонатор 1, где под воздействием электромагнитного поля другой дозы разогревается. Молозиво, разогретое до 39 °С, сливается в приемную емкость 14. СВЧ-размораживатель работает в непрерывном режиме. Доза воздействия в каждом резонаторе 1, 2, разная, она регулируется изменением мощности генератора и массой загрузки сырья (так как длина молокопроводов в резонаторах разная), управляя производительностью насоса 12. При фазовом переходе из замороженного состояния в жидкое состояние, молозиво окажется в нижнем резонаторе 1. Запредельные волноводы 7, 10 обеспечивают электромагнитную безопасность.

Итак, двухрезонаторный СВЧ-размораживатель позволяет реализовать способ дефростации и разогрева молозива в разных дозах, в зависимости от агрегатного его состояния. В кольцевых объемах резонаторов обеспечивается высокая напряженность электрического поля, в пределах 4-6 кВ/см, менее половины пробивной напряженности электрического поля воздуха, 15 кВ/см. Поэтому молокопровод выполнен из толстостенного диэлектрического материала, диаметром менее две глубины проникновения волны. В связи с тем, что напряженность ЭП высокая, а генерируемая в единице объема сырья мощность диэлектрического нагрева пропорциональна квадрату напряженности ЭП, поэтому скорость нагрева сырья высокая. А это позволит резко сократить длительность

ность процессов дефростации и разогрева сырья, а значит сохранить его кормовую ценность. Технические характеристики СВЧ-размораживателя с металлодиэлектрическим резонатором приведены в табл. 3.15.

Таблица 3.15 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с металлодиэлектрическим резонатором

Параметры	Значение
Производительность, л/ч	30-35
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	6,2
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,30
Мощность привода измельчителя, кВт	0,5
Мощность насоса, кВт	0,5
Потребляемая мощность шести СВЧ генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молозива, кВт·ч/кг	0,174

Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе приведена в табл. 3.16.

Таблица 3.16 – Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева коровьего молозива в СВЧ-размораживателе со сдвоенными коаксиальными резонаторами

Действие оператора		Происходящий процесс
Освободить замороженное сырье от пластиковых бутылок		
Включить электропривод измельчителя		загрузить в измельчитель и провести измельчение сырья
Включить насос вязкой жидкости	перекачивание измельченного замороженного сырья через молокопровод в верхний резонатор	
Включить СВЧ генераторы на верхнем резонаторе		сырье подвергается воздействию ЭМП СВЧ и происходит дефростация молозива
Включить СВЧ генераторы на нижнем резонаторе		жидкое сырье подвергается воздействию ЭМП СВЧ и происходит разогрев молозива
Жидкое сырье перекачивается по молокопроводу в нижний резонатор		молозиво разогревается до 38-39 °С под воздействием ЭМП другой дозы и сливается в приемную емкость
Открыть шаровой кран	слить готовый продукт в емкость для выпойки телят	
Провести санитарную обработку размораживателя		

Преимущества. Возможность обеспечения высокой напряженности ЭП и ускорения процессов дефростации и разогрева молозива животных.

Недостатки. Высокие энергетические затраты.

3.9 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами (Патент 2779598)

Инновационная идея состоит в том, что в двух полусферических резонаторах с общим перфорированным вибрирующим основанием под воздействием ЭМП СВЧ происходит соответственно дефростация и разогрев замороженного измельченного молозива животных в процессе дополнительного измельчения и диспергирования с помощью диэлектрического высокоскоростного диска с радиально расположенными острыми ребрами. СВЧ-размораживатель (рис. 3.17) содержит полусферические резонаторы 1, 9 с общим перфорированным вибрирующим основанием 6 в горизонтальной плоскости. Внутри верхнего резонатора 1 под измельчающим механизмом 2, 4, состыкованным с резонатором 1 и расположенным с наружной стороны, установлен высокоскоростной диэлектрический диск 5 с радиально расположенными острыми ребрами. Под перфорированным основанием 6 расположен вибратор 12. Внизу нижнего полусферического резонатора 9 установлен запердельный волновод 11 с шаровым краем 10. Магнетроны 7, 8 с волноводом расположены по периметрам обоих резонаторов 1, 9 со сдвигом на 120 градусов. Загрузочная емкость 3 пристыкована к измельчающему механизму 2, 4.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных происходит следующим образом. Включить высокоскоростной электродвигатель для вращения диэлектрического диска 5. Включить электропривод 2 шнекового измельчающего 4 механизма. Открыть заслонку в загрузочной емкости 3, после чего замороженные кусочки молозива животных с помощью измельчающего шнека 4 падают в центральную часть диэлектрического диска 5, дополнительно измельчаются, попадая на радиально расположенные острые ребра. Включить вибратор 12, включить генераторы (7, магнетроны). За счет центробежной силы замороженные частицы сырья сбрасываются к периферии диэлектрического диска 5, диспергируются. Суммарная поверхность теплообмена увеличивается. Под воздействием ЭМП СВЧ скорость нагрева замороженного сырья в верхнем полусферическом резонаторе 1 резко увеличивается, так как

размеры частиц в десятки раз меньше глубины проникновения волны сантиметрового диапазона, и замороженные частицы сырья находятся во взвешенном состоянии. По мере перехода в жидкое состояние (фазовый переход) капли молозива с вибрирующей поверхности (12) перфорированного основания 6 стекает в нижний полусферический резонатор 9. Далее включить СВЧ генераторы 8, после чего за счет воздействия ЭПМСЧ сырье разогревается до 38-39 °С и через шаровой кран 10, расположенный в запредельном волноводе 11, молозиво сливают в специальную емкость. Диэлектрический диск может измельченные куски замороженного сырья превратить в диспергированное сырье в виде порошка, благодаря чему образуется развитая суммарная поверхность теплообмена и уменьшается размер частиц в десятки раз (0,10-0,15 см), чем глубина проникновения волны сантиметрового диапазона (1,3-1,5 см). Размер частицы определяет скорость переноса эндогенного тепла. Дефростация молозива при воздействии ЭМПСВЧ протекает интенсивнее и продолжительность процесса резко уменьшается. При этом, как только температура частиц молозива будет равна температуре фазового перехода в жидкое состояние, оно протекает в нижний полусферический резонатор, где происходит разогрев до необходимой температуры. Малая продолжительность перехода из замороженного агрегатного состояние в другое, жидкое состояние, обеспечивает высокое качество продукта с сохранением кормовой ценности. Скорость вращения диэлектрического диска необходимо согласовать с требуемым размером и однородностью частиц сырья. Следует согласовать частоту вращения шнекового измельчителя с частотой вращения диэлектрического диска 5 с тем, чтобы размеры измельченного сырья при попадании на поверхность диска могли превратиться в диспергированное сырье. Частицы замороженного сырья попадают на быстровращающийся диэлектрический диск, растягиваются в нем центробежными силами и сбрасываются с периферийной поверхности диска. Рекомендуется использовать высокоскоростной электродвигатель. Радиальные острые ребра диэлектрического диска способствуют дополнительному измельчению и равномерному сбрасыванию сырья по всему периметру диска.

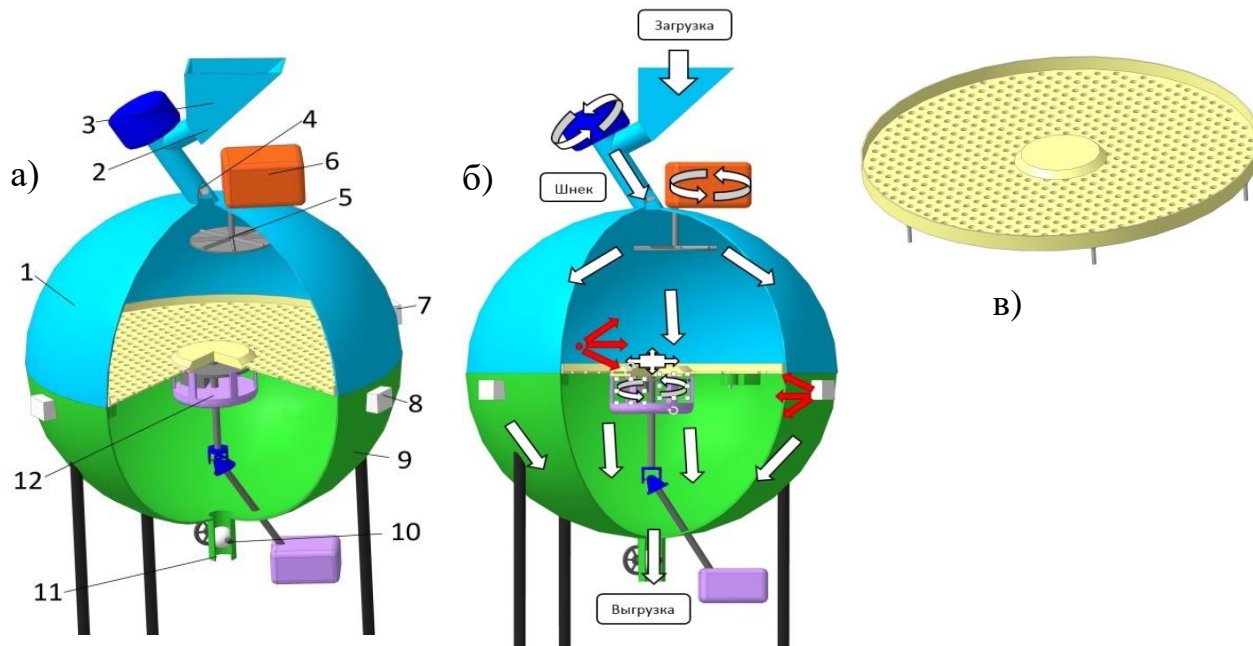


Рисунок 3.17 – СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами: а) – общий вид; б) – технологическая схема; в) неферромагнитное основание; 1 – верхний полусферический резонатор; 2 – измельчитель с загрузочной емкостью 3 и шнеком 4; 5 – диэлектрический диск; 6 – перфорированное неферромагнитное основание; 7 – магнетроны с волноводами на верхнем резонаторе; 8 – магнетроны с волноводами на нижнем резонаторе; 9 – нижний полусферический резонатор; 10 – шаровой кран; 11 – заградительный волновод; 12 – вибратор диэлектрический

Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе приведен в табл. 3.17.

Таблица 3.17 – Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева коровьего молозива в СВЧ-размораживателе

Действие оператора		Происходящий процесс
Подготовить замороженное сырье в виде брикетов или пластин		
Включить электроприводы диска и измельчителя		загрузить сырье в измельчитель
Открыть заслонку в емкости	измельченное сырье попадает на диск, расположенный в верхнем полусферическом резонаторе и раскрошится, за счет центробежной силы разбрасывается	
Включить СВЧ генераторы на верхнем резонаторе и электропривод вибратора		сырье подвергается воздействию ЭМП СВЧ и происходит дефростация молозива, жидкость протекает через перфорированное основание за счет вибрации
Включить СВЧ генераторы на нижнем резонаторе		жидкое сырье подвергается воздействию ЭМП СВЧ и происходит разогрев молозива до 38-39 °С
Открыть шаровой кран	слить готовый продукт в емкость для выпойки телят	
Провести санитарную обработку СВЧ-размораживателя		

Технические характеристики СВЧ-размораживателя с полусферическими резонаторами приведены в табл. 3.18.

Таблица 3.18 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с полусферическими резонаторами

Параметры	Значение
Производительность, л/ч	35
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	5,92
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32
Мощность привода диска, кВт	0,5
Мощность вибратора, кВт	0,3
Потребляемая мощность шести СВЧ-генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молозива, кВт·ч/кг	0,153-0,174

Преимущества. Возможность обеспечения равномерного нагрева и ускорения процессов дефростации и разогрева молозива животных.

Недостатки. Напряженность ЭП всего 0,6 кВ/см.

3.10 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с соосно состыкованными цилиндрическим и коаксиальным резонаторами (патент 2780835)

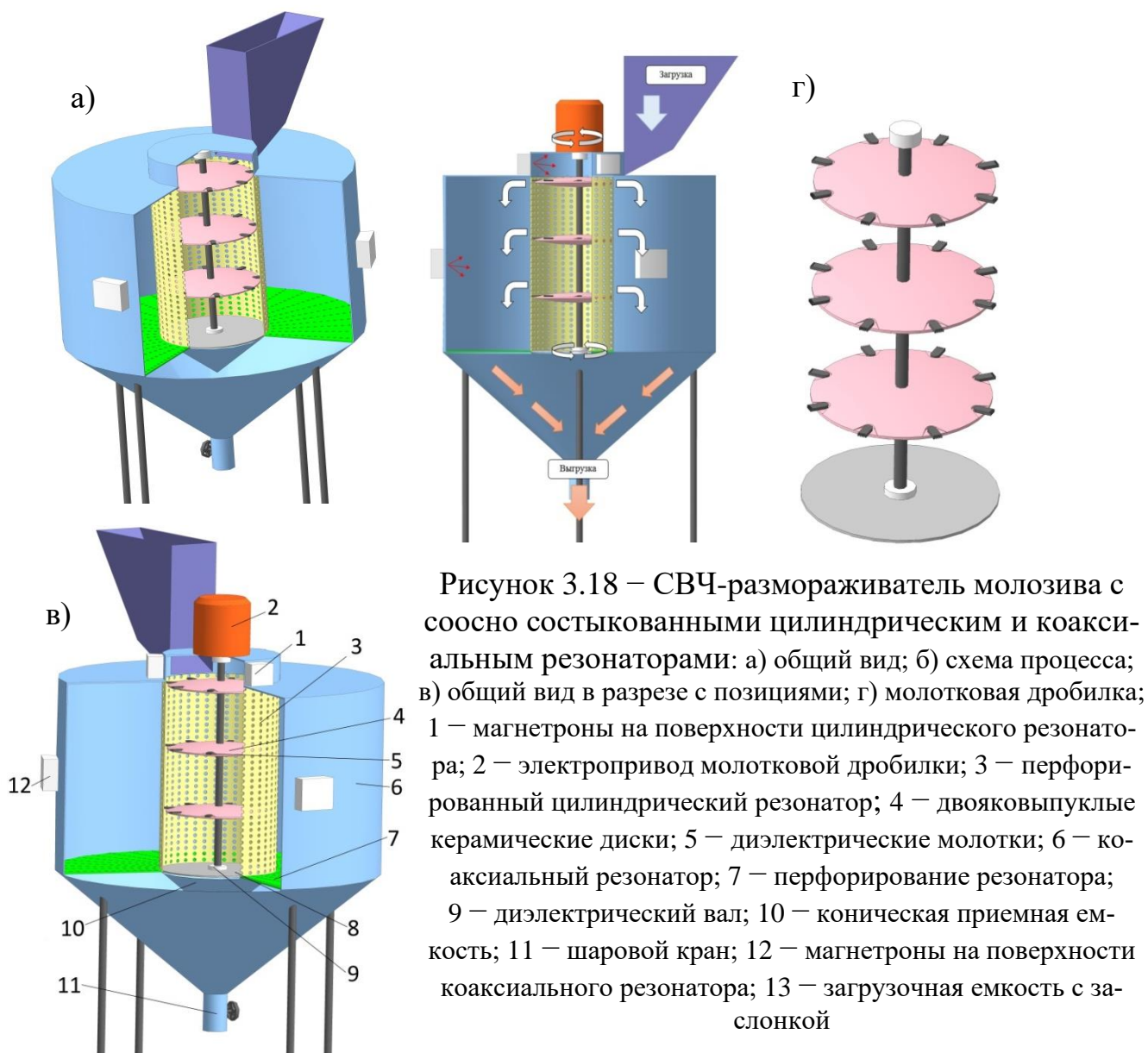
Инновационная идея – сохранение кормовой ценности молозива животных за счет сокращения длительности технологического процесса дефростации и разогрева реализуется путем разработки СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия с резонаторами, обеспечивающими воздействие ЭМПВЧ в процессе раздробления замороженных брикетов сырья и разделения, при изменении агрегатного состояния молозива животных, в разные резонаторы.

На принципе известной дробильно-просеивающей установки [5, стр. 490], где дробление шквары осуществляют молотками, шарнирно закрепленными на дисках вертикального вала, разработан СВЧ-размораживатель (рис. 3.18) с соосно состыкованными цилиндрическим и коаксиальным резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных. СВЧ-размораживатель содержит соосно расположенные, в коаксиальном неферромагнитном резонаторе 6, перфорированный неферромагнитный цилиндрический резонатор 3 и молотковую дробилку 4, 5, 9. Молотковая дробилка представлена из поярусно расположен-

ных двояковыпуклых керамических дисков 4 на диэлектрическом валу 9, и диэлектрическими молотками 5, закрепленными шарнирно. Нижнее кольцевое основание 7 коаксиального резонатора 6 перфорировано, а под ним установлена неферромагнитная коническая приемная емкость 10 с шаровым краном 11, а неферромагнитная загрузочная емкость 13 с заслонкой пристыкована к верхнему основанию цилиндрического перфорированного резонатора 3. Магнетроны 1, 2 прикреплены через волноводы к боковым поверхностям обоих резонаторов 3, 6 со сдвигом на 120 градусов. Перфорированный цилиндр 3 служит одновременно внутренним цилиндром для коаксиального резонатора. Средний периметр коаксиального резонатора 6 и диаметр перфорированного цилиндрического резонатора 3 кратны половине длины волны (длина волны 12,24 см).

Использование *керамических двояковыпуклых дисков 4* (диэлектрической проницаемость 5,2) как части перфорированного цилиндрического резонатора позволяет поддерживать свободные электромагнитные колебания разных видов, удовлетворяющие условиям полного внутреннего отражения (малые радиационные потери). Керамика обладает малыми тепловыми потерями, так как тангенс угла диэлектрических потерь всего $3 \cdot 10^{-3}$, следовательно, собственная добротность цилиндрического перфорированного резонатора с керамическими дисками выше, чем без керамических дисков. Падающие и отраженные волны фокусируются в определенных местах, в зависимости от расположения излучателей, выпуклости диска. Концентрация энергии ЭМП СВЧ в объеме резонатора и уменьшение потерь на излучение достигается благодаря применению двояковыпуклых керамических дисков [6]. Принцип действия диэлектрической *молотковой дробилки 4, 5* заключается в разрушении замороженных брикетов ударом быстро вращающихся рабочих органов-молотков, ударом отбрасываемого молотками 5 куски брикетов о перфорированную поверхность цилиндрического резонатора 3 и истиранием сырья о поверхность. Поступающие замороженные брикеты молотками в зону вращения молотков разрушаются посредством их удара. При этом основное значение имеют скорость молотков и струк-

турно-механические свойства замороженного сырья, угол встречи рабочей поверхности молотка с замороженным сырьем



Окружная скорость молотков – в пределах 50-100 м/с, в зависимости от размеров брикетов замороженного сырья. Сырье подвергается многократному удару, затем в результате вращения молотков и воздушного потока, создаваемого керамическими дисками, частицы сырья вовлекаются во вращательное движение, что приводит к истиранию на поверхности перфорированного цилиндрического резонатора. Степень измельчения брикетов и скорость изменения агрегатного состояния молозива зависит от дозы воздействия ЭМП СВЧ, от окружной скорости молотков, их числа. Молотковые дробилки имеют небольшие габариты и высокую производительность.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе происходит следующим образом. Замороженные брикеты размером менее четверти длины (3 см) волны загружают в загрузочную емкость 13, на дне которой имеется закрытое заслонкой отверстие, диаметр которого не более четверти длины волны. Закрывают шаровой кран 11 и включают электропривод 2 молотковой дробилки 4, 5. Открывают заслонку в загрузочной емкости 13 и включают СВЧ генераторы (магнетроны 1). В перфорированном цилиндрическом резонаторе возбуждается ЭМП СВЧ. При открытии заслонки замороженные брикеты попадают в перфорированный цилиндрический резонатор 3, так как при высоких оборотах молотковой дробилки происходит вибрация СВЧ-размораживателя. Сырье эндогенно нагревается в процессе прохождения через зону дробления и размороженное сырье центробежными силами выбрасывается через перфорированную боковую поверхность цилиндрического резонатора 3 в коаксиальный резонатор 6, где уже возбуждено ЭМП СВЧ с помощью генераторов 12. Жидкое сырье в распыленном состоянии в коаксиальном резонаторе разогревается до температуры 39 °С намного быстрее, чем в жидком состоянии. СВЧ-размораживатель работает в непрерывном режиме с обеспечением электромагнитной безопасности, так как отверстие в загрузочной емкости менее четверти длины волны, в приемной емкости установлен шаровой кран 11. Доза воздействия в каждом резонаторе разная, она регулируется изменением мощности генератора и массой загрузки сырья. При фазовом переходе из замороженного состояния в жидкое состояние молозиво окажется в коаксиальном резонаторе 6.

Итак, двухрезонаторный СВЧ-размораживатель позволяет реализовать способ дефростации и разогрева молозива в разных дозах, в зависимости от агрегатного его состояния сырья. При этом за счет дробления замороженного сырья процесс дефростации ускоряется при равномерном нагреве сырья, а значит, сохраняется кормовая ценность молозива. Вязкость разогретого сырья жирностью 6,4-7 % уменьшается, и жидкость протекает через перфорацию кольцевого основания 7 коаксиального резонатора 6 и накапливается в приемной емкости

10. Открывая шаровой кран 11 можно слить разогретый продукт в емкость для поения телят. *Преимущества.* Возможность обеспечения равномерного нагрева за счет двояковыпуклых керамических дисков и ускорения процессов дефростации и разогрева молозива животных, низкие энергетические затраты. *Недостатки.* Сложность в изготовлении молотковой дробилки с диэлектрическими дискам.

Технические характеристики СВЧ-размораживателя приведены в табл. 3.19.

Таблица 3.19 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с металлодиэлектрическим резонатором

Параметры	Значение
Производительность, л/ч	38-40
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	5,62
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32
Мощность привода молотковой дробилки, кВт	0,5
Потребляемая мощность шести СВЧ генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молозива, кВт·ч/кг	0,141-0,148

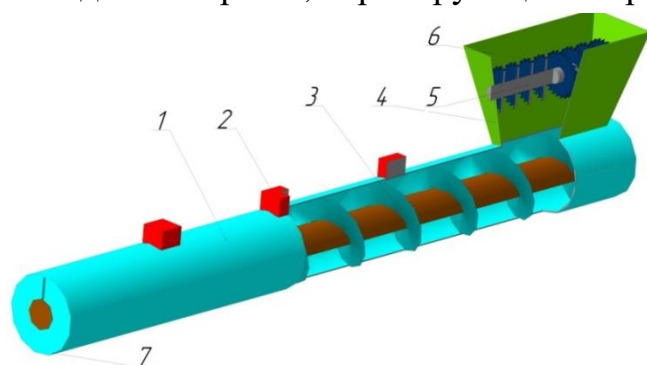
Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе приведена в табл. 3.20.

Таблица 3.20 – Операционно-технологическая схема процесса дефростации и разогрева коровьего молозива в СВЧ-размораживателе

Действие оператора		Происходящий процесс
Подготовить замороженное сырье в виде брикетов размерами не более 3 см		
Включить электроприводы молотковой дробилки		загрузить сырье в загрузочную емкость
Открыть заслонку в емкости	брикеты замороженного сырья попадают на двояковыпуклые диски с молотком, раскрошатся	
Включить СВЧ генераторы на поверхности цилиндрического резонатора		Замороженное сырье подвергается воздействию ЭМП СВЧ и происходит дефростация молозива, жидкость просачивается через перфорированный цилиндр в кольцевой объем коаксиального резонатора
Включить СВЧ генераторы на коаксиальном резонаторе		жидкое сырье подвергается воздействию ЭМП СВЧ и происходит разогрев молозива до 38-39 °С, стекает через перфорированное основание коаксиального резонатора в приемную емкость
Открыть шаровой кран		слить готовый продукт в емкость для выпойки телят
Провести санитарную обработку СВЧ-размораживателя		

3.11 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия со шнековым транспортером

СВЧ-размораживатель (рис. 3.19) содержит загрузочную емкость 4, внутри которой расположен вал с дисковыми фрезами 5 для предварительного измельчения замороженного сырья. Измельченное замороженное коровье молозива передвигается через наклонно расположенный цилиндрический экранирующий корпус 1 с помощью шнека 3. Т.е. предлагается совмещать процессы транспортирования измельченного сырья с помощью шнека, дефростации за счет микроволновой технологии в СВЧ-размораживателе. При измельчении замороженного молозива увеличивается поверхность теплообмена, что согласуется с глубиной проникновения ЭМП СВЧ. Это обеспечивает равномерность диэлектрического нагрева измельченного замороженного коровьего молозива. С одной стороны, экранирующего корпуса прикреплена загрузочная емкость 4.



Магнетроны 2 от СВЧ генераторов расположены равномерно вдоль образующей экранирующего корпуса. В загрузочной емкости расположены дисковые фрезы 6 на одном валу 5.

Рисунок 3.19 – СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия со шнековым транспортером: 1 – экранирующий корпус; 2 – магнетроны; 3 – винты шнека; 4, 6 – загрузочная емкость; 5 – дисковая фреза

Технологический процесс дефростации коровьего молозива происходит следующим образом. Включить электроприводы шнека 3 и дисковых фрез 6. Замороженное сырье измельчается и попадает в межвитковое пространство шнека. Масса сырья в каждом межвитковом пространстве в пределах 0,2-0,5 кг. По мере заполнения межвиткового пространства шнека измельченным сырьем, последовательно включить СВЧ генераторы 2. При этом измельченное сырье подвергается воздействию ЭМП СВЧ и нагревается. Размороженное сырье является жидко-вязким продуктом, резкий нагрев ее внутренних слоев приводит к превращению внутренней влаги в пар, который, расширяясь, образует пузырь-

ки. Винтовые поверхности шнека являются стенками малых резонаторных камер. По мере перемещения витков шнека 3 сырье нагревается до 39 °С. Количество СВЧ генераторов влияет на производительность СВЧ-размораживателя. Режимы обработки зависят от жирности и от электрофизических параметров сырья замороженного коровьего молозива. Для достижения равномерного нагрева сырья, его следует измельчить, чем прежде подвергать воздействию ЭМП СВЧ. Конструктивные параметры резонатора должны быть согласованы с глубиной проникновения волны, с учетом диэлектрических характеристик замороженного молозива. *Преимущества.* При предварительном измельчении замороженного сырья с помощью дисковой фрезы процессы размораживания и разогрева можно осуществить, при небольшом объеме сырья, в одном цилиндрическом резонаторе.

3.12 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с тороидальным резонатором (заявка № 2022120392, положительное решение от 02.05.2023 г.)

Инновационная идея состоит в том, что конструктивное исполнение тороидального резонатора прямоугольного сечения обеспечивает перемещение в торе на уровне конденсаторной части (емкостного зазора) замороженного сырья в пластиковых бутылках, наклоненных горлышкой к центру, по диэлектрической круглой платформе толщиной, уменьшающейся к центру. А жидкое сырье разогревается и стерилизуется при высокой напряженности ЭП в керамическом цилиндре, расположенном в конденсаторной части, позволяющем сконцентрировать энергию электромагнитных излучений в сырье.

СВЧ установка содержит тороидальный резонатор 3, состоящий из тора 9 прямоугольного сечения и конденсаторной части. Внутри резонатора соосно установлена диэлектрическая круглая платформа 5 диаметром, равным диаметру резонатора, и толщиной, уменьшающейся к центру, на уровне конденсаторной части. Над диэлектрической платформой 5 расположен ротор 7 с диэлектрическими лопастями, вращающийся от электропривода. В конденсаторной

части на нижнюю пластину соосно установлен керамический цилиндр 8, куда пристыкован запредельный волновод с шаровым краном 11, через нижнее основание резонатора. На кольцевых основаниях резонатора, средний периметр которых кратен половине длины волны, имеются отверстия для тары, состыкованные с соответствующими шлюзовыми затворами 1, 10. Скорость передвижения замороженного сырья зависит от мощности генераторов и от объема сырья в резонаторе.

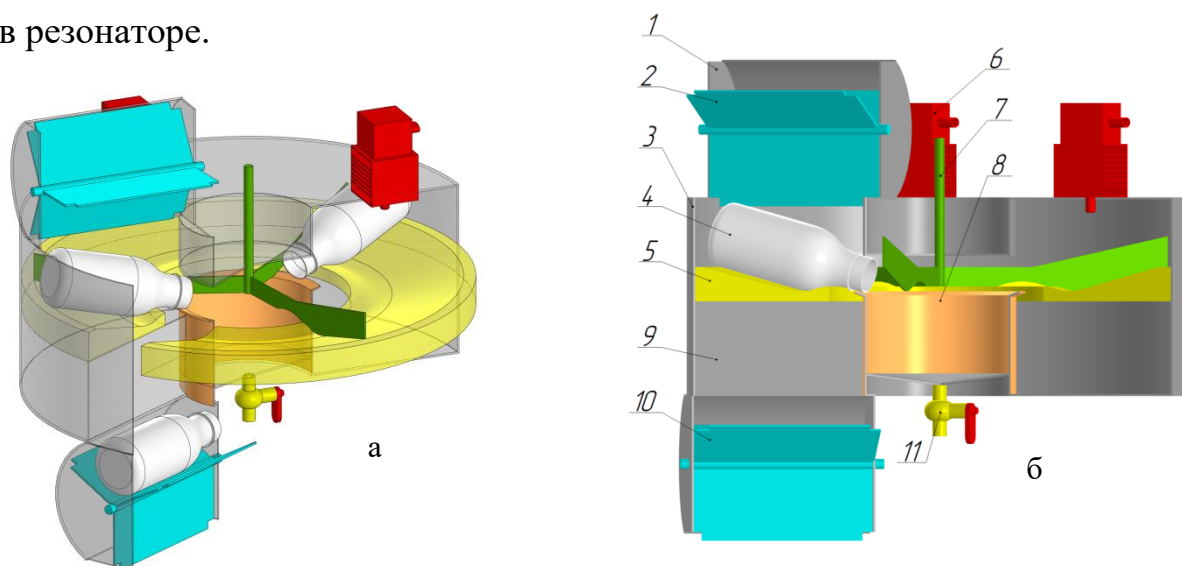


Рисунок 3.20 – СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с тороидальным резонатором: а) общий вид; б) общий вид с позициями; 1 – шлюзовой затвор; 2 – отсеки роторного питателя; 3 – тороидальный резонатор; 4 – молозиво в пластиковой бутылке; 5 – диэлектрическая наклонная платформа; 6 – волновод, магнетрон и вентилятор; 7 – ротор с диэлектрическими лопастями с электроприводом; 8 – керамический цилиндр в конденсаторной части резонатора; 9 – тороидальная часть резонатора; 10 – шлюзовой затвор; 11 – шаровой кран в запредельном волноводе

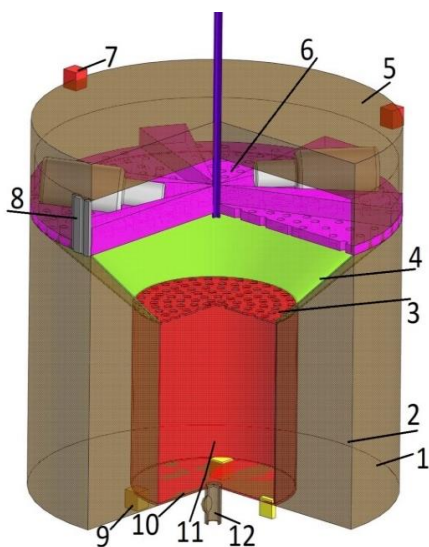
Платформа предназначена для перемещения замороженного в пластиковых бутылках молозива. В конденсаторную часть направлена открытая часть бутылки. По мере послойного размораживания сырья в тороидальной части, т. е. при фазовом переходе с замороженного состояния в жидкое состояние, молозиво стекает в керамический цилиндр 8. Он позволяет сконцентрировать энергию электромагнитного поля в жидком сырье. В конденсаторной части резонатора возбуждается ЭП высокой напряженности, позволяющее резко увеличить скорость диэлектрического нагрева, снизить бактериальную обсемененность, сохраняя кормовую ценность сырья. *Преимущества.* Малая продолжительность

перехода из замороженного состояние в жидкое обеспечивает высокое качество продукта с сохранением кормовой ценности.

3.13 СВЧ-размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с соосно расположенными тороидальным и цилиндрическим резонаторами (заявка № 2023109489)

Инновационная идея состоит в том, что конструктивное исполнение тороидального резонатора прямоугольного сечения обеспечивает размораживания молозива освобожденного от пластиковой бутылки в процессе перемещения с помощью электроприводного ячеистого диэлектрического диска в его конденсаторной части, а разогрев молозиво происходит в цилиндрическом резонаторе при другой дозе воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты.

СВЧ установка взаимосвязанными резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных содержит перевернутый тороидальный резонатор 1, представленный в виде коаксиально расположенных неферромагнитных цилиндров разной высоты с общим нижним неферромагнитным основанием 10, образуя тороидальную 2 и конденсаторную 5 части резонатора. К нижнему основанию 10 внутреннего цилиндра, представленного



как цилиндрический резонатор 11, прикреплен за пределы волновод 12 с шаровым краном. Верхнее основание 3 внутреннего цилиндра 11 перфорировано и к нему прикреплена керамическая стационарная обечайка 4 в виде усеченного конуса, у которой диаметр большого основания равен диаметру наружного цилиндра.

Рисунок 3.21 – СВЧ-размораживатель молозива животных с соосно расположенными тороидальным и цилиндрическим резонаторами: 1 – тороидальный резонатор; 2 – тороидальная часть резонатора; 3 - перфорированное основание; 4 – керамическая обечайка в виде усеченного конуса; 5 – конденсаторная часть тороидального резонатора; 6 – электроприводной диэлектрический перфорированный секционный диск; 7, 9 – магнетроны; 8 - окно для загрузки сырья, закрытое алюминиевой шторой; 10 – неферромагнитное основание; 11 – цилиндрический резонатор; 12 – патрубок с шаровым краном

Объем между перфорированным основанием 3 внутреннего цилиндра и

верхним основанием наружного цилиндра представлен как конденсаторная часть 5 резонатора, куда соосно размещен электроприводной перфорированный диэлектрический секционный диск 6, на уровне загрузочного отверстия 8 на боковой поверхности наружного цилиндра. На верхнем основании наружного цилиндра и на нижнем основании 10 внутреннего цилиндра размещены магнетроны с волноводом 7, 9, со сдвигом на 120 градусов.

При расположении замороженного сырья без пластиковых бутылок на перфорированном диэлектрическом секционном диске в конденсаторной части тороидального резонатора, происходит нагрев при определенной дозе воздействия ЭМП СВЧ. Молозиво размораживается послойно, в зависимости глубины проникновения волны и жидкая фаза стекает через диэлектрический перфорированный ячеистый диск и через перфорированное верхнее основание 3 в цилиндрический неферромагнитный резонатор 11. Включить генераторы 9, расположенные на основании цилиндрического резонатора. В этом резонаторе молозиво разогревается до 39 °С при другой дозе воздействия ЭМП СВЧ.

Преимущества. Возможность обеспечения высокой напряженности электрического поля (ЭП) в обоих резонаторах, электромагнитной безопасности при непрерывном режиме работы.

3.14. Размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с СВЧ энергоподводом в коаксиальный резонатор (заявка)

Научная инновационная идея реализации способа размораживания и разогрева сырья с использованием СВЧ энергии заключается в том, что в экранирующем цилиндрическом корпусе соосно установлен перфорированный коаксиальный (*квазикоаксиальный*) резонатор, внутренний цилиндр которого заменен неферромагнитным стационарным винтовым шнеком, корпус которого из радиопрозрачного материала вращается вместе с наружным перфорированным цилиндром. Это обеспечивает интенсификацию процесса размораживания и разогрева молозива животных в электромагнитном поле сверхвысокой частоты

(ЭМПСВЧ, 2450 МГц, 12,24 см) при нахождении замороженных частиц сырья во взвешенном состоянии за счет центробежной силы.

Техническим результатом изобретения является – интенсификация процесса дефростации и разогрева путем применения сверхвысокочастотной энергии сантиметрового диапазона в квазикоаксиальном резонаторе, представленном в виде вращающегося неферромагнитного перфорированного цилиндра с соосно расположенным неферромагнитным винтовым неподвижным шнеком, обеспечивающем непрерывный режим работы.

Размораживатель молозива животных с СВЧ энергоподводом в коаксиальный резонатор содержит в вертикальной плоскости неферромагнитный цилиндрический экранирующий корпус 1 с неферромагнитными емкостями приемными 8, 11 и загрузочной 13, содержащей измельчающий механизм 14.

Внутри экранирующего корпуса 1 соосно расположен коаксиальный резонатор 2, у которого боковая поверхность наружного цилиндра перфорирована и отсутствует верхнее основание. Внутренним цилиндром резонатора служит неферромагнитный винтовой шнек 5, стационарно установленный в радиопрозрачном перфорированном цилиндре 4, вращающимся вместе с наружным цилиндром 1 за счет сцепления электроприводной шестерни 7 с зубчатым венцом 6 на боковой поверхности наружного цилиндра 2.

К наклонному нижнему основанию 10 экранирующего корпуса 1 прикреплена приемная емкость 9 для жира, а приемная емкость 11 для шквары расположена под нижним основанием наружного цилиндра 2, так, что витки шнека направлены в нее. На верхнем основании экранирующего корпуса 1 по периметру со сдвигом на 120 градусов установлены магнетроны 12 воздушного охлаждения, излучатели которых через волноводы направлены в наружный цилиндр 2 резонатора, где поярусно, жестко прикрепленные к наружному цилиндру, расположены перфорированные радиопрозрачные эллипсоиды 3, по центру которых жестко размещен радиопрозрачный перфорированный цилиндр 4.

Неферромагнитные винты шнека выполнены с шагом не более двух глубин проникновения волны в сырье и диаметром, менее чем диаметр внутренней

поверхности перфорированного радиопрозрачного цилиндра.

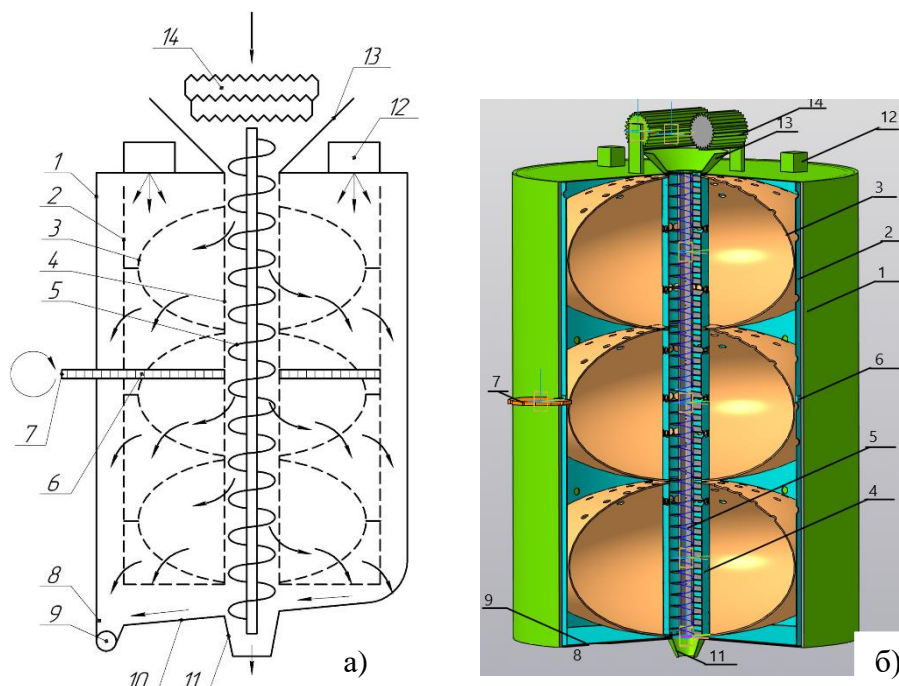


Рисунок 3.22 – Размораживатель молозива животных непрерывно-поточного действия с СВЧ энергоподводом в коаксиальный резонатор: а – технологическая схема, б – общий вид, 1 – ферромагнитный цилиндрический экранирующий корпус; 2 – коаксиальный резонатор; 3 – перфорированные радиопрозрачные эллипсоиды; 4 – радиопрозрачный перфорированный цилиндр; 5 – ферромагнитный винтовой шнек; 6 – зубчатый венец; 7 – электроприводная шестерня; 8, 10 – ферромагнитная емкость приемная; 9 – приемная емкость для разогретого молозива; 11 – приемная емкость для отходов; 12 – магнетроны воздушного охлаждения; 13 – ферромагнитная емкость загрузочная; 14 – измельчающий механизм

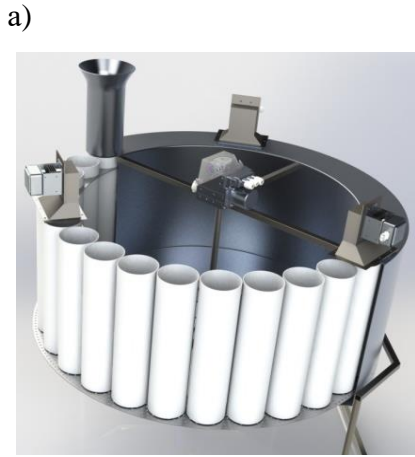
3.15 Сравнительный анализ энергетических затрат на дефростацию и разогрев молозива животных в СВЧ-размораживателях, реализующих процесс разными способами

Проведен сравнительный анализ технических характеристик четырех СВЧ установок, обеспечивающих дефростацию и разогрев молозива животных при разных способах транспортирования замороженного сырья через резонаторы (рис. 3.23):

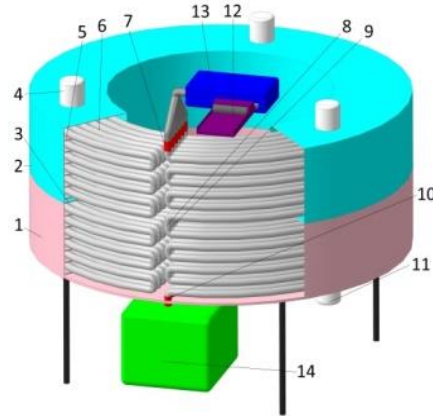
- 1) транспортирование замороженного сырья в пластиковых бутылках в контейнерах (табл. 3.21);
- 2) транспортирование замороженного измельченного сырья с помощью насоса вязкой жидкости через молокопровод (табл. 3.22);
- 3) распыление измельченного замороженного сырья с помощью центробежного диска (табл. 3.23);

4) распределение в объеме резонатора измельченных замороженных брикетов с помощью диэлектрической молотковой дробилки (табл. 3.24).

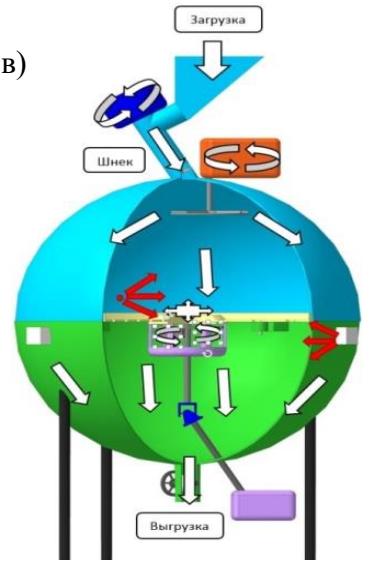
(I)



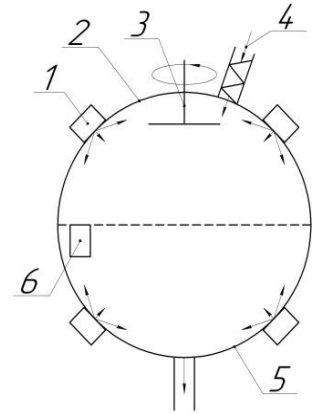
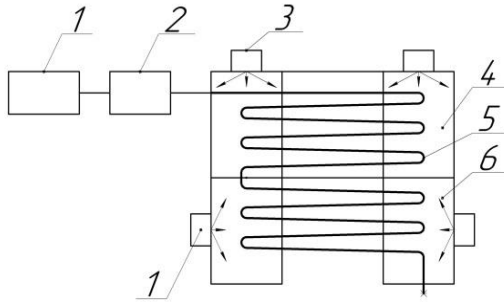
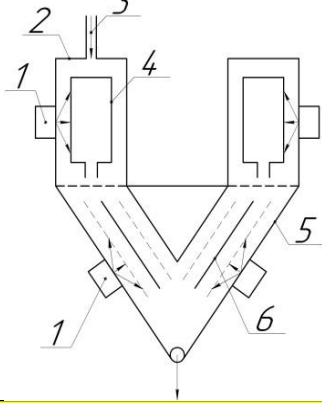
б)



в)



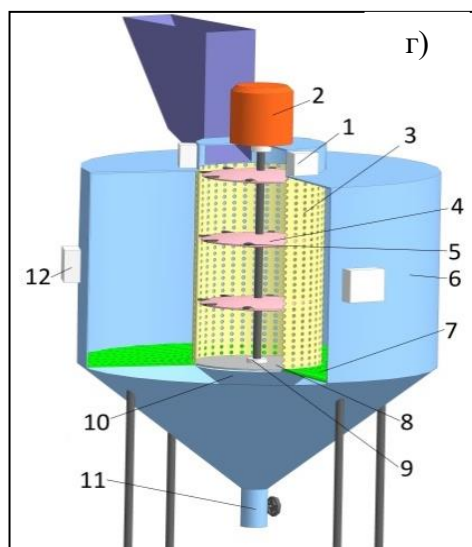
(II)



1 – магнетроны; 2 – коаксиальный резонатор; 3 – заградительный волновод; 4 – замороженное сырье; 5 – конический резонатор; 6 – конические диэлектрические тарелки

1 – шредер; 2 – насос; 3 – магнетроны; 4, 6 – коаксиальные резонаторы; 5 – молокопровод

1 – магнетроны; 2, 5 – полусферические резонаторы; 3 – диск; 4 – измельчитель; 6 – вибратор



1, 12 – магнетроны;
3, 6 – резонаторы;
5 – молотковая дробилка

Рисунок 3.23 – Пространственное (I) и схематическое (II) изображение СВЧ установок, обеспечивающих дефростацию и разогрев молозива животных при разных способах транспортирования замороженного сырья:

- а) замороженное молозиво в пластиковых бутылках с помощью контейнеров; б) измельченного замороженного сырья с помощью насоса вязкой жидкости; в) распыление измельченного замороженного сырья с помощью диска; г) распределение в объеме резонатора измельчённых замороженных брикетов с помощью диэлектрической молотковой дробилки

Таблица 3.21 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами (сырье в пластиковых бутылках) (рис. 3.23, а)

Параметры	Значение
Производительность, л/ч	25-30
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	5,3
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32
Мощность привода перфорированного основания, кВт	0,18
Потребляемая мощность шести СВЧ генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев коровьего молозива, кВт·ч/кг	0,176-0,212
Дефростация и разогрев молозива объемом 12,5 л происходит за 25 мин.	

Таблица 3.22 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с состыкованными коаксиальными резонаторами и насосом для перекачивания сырья (измельченное с помощью шредера сырье) (рис. 3.23, б)

Параметры	Значение
Производительность, л/ч	30-35
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	6,12
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32
Мощность привода шредера, кВт	0,5
Мощность насоса для перекачивания измельченного замороженного молозива, кВт	0,5
Потребляемая мощность шести СВЧ генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев коровьего молозива, кВт·ч/кг	0,174-0,204
Дефростация и разогрев молозива объемом 12,5 л происходит за 21 мин.	

Таблица 3.23 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с состыкованными полусферическими резонаторами и распределительным диском (*замороженные измельченные брикеты*) (рис. 3.23, в)

Параметры	Значение
Производительность, л/ч	35-40
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	6,12
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32
Мощность привода измельчителя, кВт	0,5
Мощность привода диска, кВт	0,5
Потребляемая мощность шести СВЧ генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев коровьего молозива, кВт·ч/кг	0,153-0,174
Дефростация и разогрев молозива объемом 12,5 л происходит за 19 мин.	

Таблица 3.24 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя с соосно состыкованными цилиндрическим и коаксиальным резонаторами (*замороженные брикеты измельчаются с помощью диэлектрической молотковой дробилки*) (рис. 3.23, г)

Параметры	Значение
Производительность, л/ч	38-40
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	5,62
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32
Мощность привода молотковой дробилки, кВт	0,5
Потребляемая мощность шести СВЧ генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молозива, кВт·ч/кг	0,141-0,148
Дефростация и разогрев молозива объемом 12,5 л происходит за 19 мин.	

3.16 Выводы по разделу

1. Разработанные научно-технические основы проектирования СВЧ установок для дефростации и разогрева предусматривают возможность реализации всех критериев в конструктивных исполнениях резонаторов, способных выполнять одновременно функцию экранирующего корпуса. В конструкциях резонаторов реализуются непрерывный режим работы; высокая напряженность электрического поля с магнетронами воздушного охлаждения; равномерность распределения электромагнитного поля в резонаторе; равномерный нагрев сырья; возможность изменения дозы воздействия и варьирования производительности СВЧ-размораживателя; обеспечение электромагнитной безопасности без экра-

нирующего корпуса с использованием запердельного волновода или конструктивных особенностей резонаторов (например, в коническом резонаторе).

2. Разработанные СВЧ-размораживатели с разными конструктивными исполнениями резонаторов позволили оценить возможность реализации основных требований, предъявляемых к технологии дефростации и разогрева молозива животных. Основные требования к технологии подготовки молозива к выпойке телят – это его обеспечение стерильности и сохранение иммуноглобулинов, т.е. сохранение кормовой ценности в продукте.

3. Для реализации указанных требований разработаны двухрезонаторные СВЧ-размораживатели с магнетронами воздушного охлаждения с разными конструктивными исполнениями резонаторов.

4. В резонаторах предусмотрены возможность обеспечения электромагнитной безопасности при непрерывном режиме работы СВЧ-размораживателя с использованием запердельных волноводов или за счет усечения вершины конуса на уровне критического сечения. При использовании металлодиэлектрического резонатора уменьшаются потери, связанные со скин-слоем, и происходит суперпозиция электрического и магнитного полей, что усиливает эффект тепловой обработки.

5. Методология разработки СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных предусматривает систему методов решения комплекса взаимосвязанных задач. Зная электрофизические параметры молозива в разных агрегатных состояниях и основные закономерности процессов дефростации и разогрева молозива животных, выбран рациональный метод воздействия ЭМП-СВЧ в двух объемных резонаторах и обоснованы эффективные режимы работы размораживателей непрерывно-поточного действия, позволяющие обеспечить сохранение кормовой ценности сырья при минимальных эксплуатационных затратах.

Спроектированы объемные резонаторы с магнетронами воздушного охлаждения, обладающие высокой собственной добротностью, обеспечивающие равномерность распределения электромагнитного поля при высокой

напряженности электрического поля, электромагнитную безопасность без экранирующего корпуса и снижение энергетических затрат на дефростацию и разогрева молозива животных в непрерывном режиме.

Разработано 15 многогенераторных радиогерметичных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушно-го охлаждения с состыкованными двумя резонаторами разного конструктивными исполнениями: такими резонаторами как тороидальный, конический, полусферический, цилиндрический, металлодиэлектрический.

Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молозива животных при использовании СВЧ-размораживателя с состыкованными резонаторами составляют 0,176-0,212 кВт·ч/кг, продолжительность процесса до **25,8** мин.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕФРОСТАЦИИ И РАЗОГРЕВА МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭМПСВЧ

4.1 Результаты исследования процессов дефростации и разогрева молозива животных в лабораторном образце СВЧ-размораживателя

4.1.1 Особенности узлов лабораторного образца СВЧ-размораживателя молозива животных

Изготовлен лабораторный образец СВЧ-размораживателя для проведения экспериментальных исследований (рис. 4.1). В качестве объемного резонатора служит биконус.

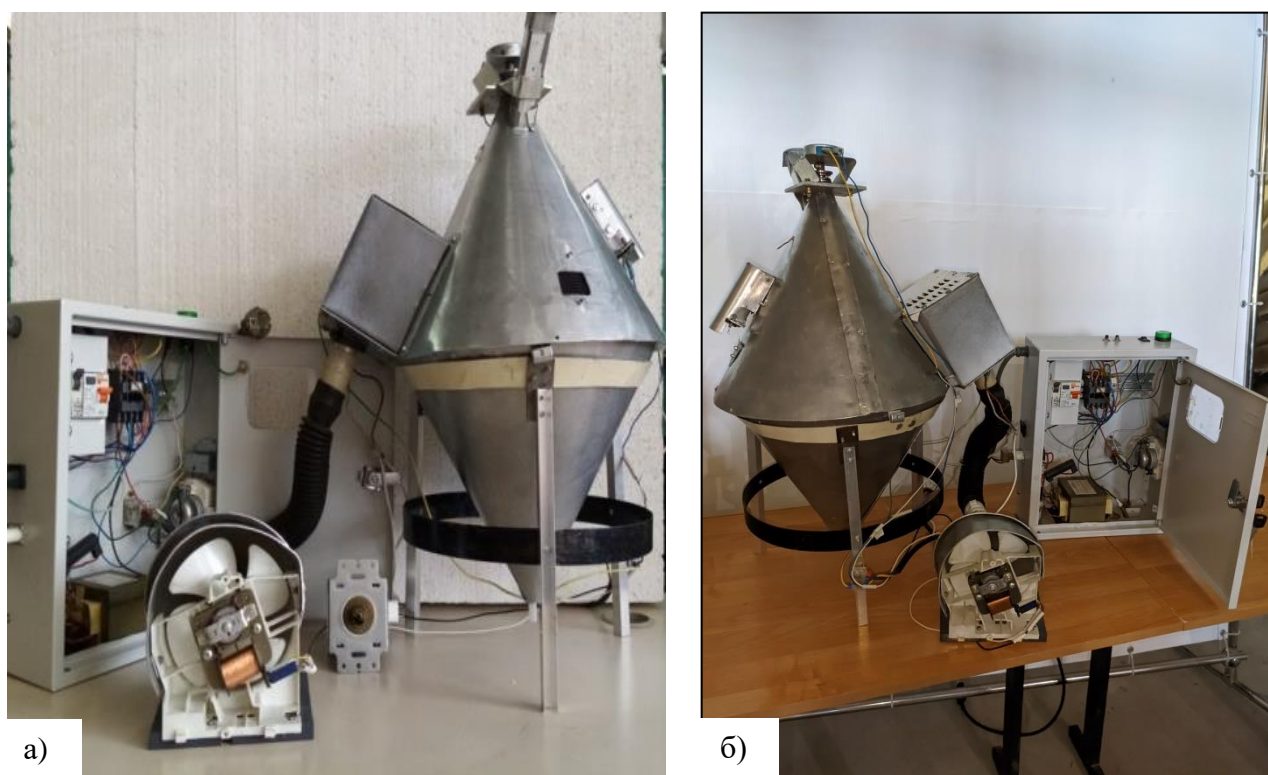


Рисунок 4.1 – Экспериментальный образец СВЧ-размораживателя с биконическим резонатором и отдельные узлы: а) установка со шкафом управления; б) установка с элементами электронного блока в шкафу управления

На его боковой поверхности установлен магнетрон, который охлаждается от вентилятора. Все элементы генераторного блока и системы управления технологическим процессом размещены в шкафу управления. Внутри биконического резонатора имеется вращающийся диэлектрический диск, технические характеристики представлены в табл. 4.1. С помощью этого образца исследована динамика нагрева молозива, свежесвыдоенного в течении 6 ч. после отела, жирностью 6,4 %, замороженного в специальном пакете в виде брикетов. На

основе этих результатов получен градуировочный график, позволяющий оценить приращение температуры сырья при разных удельных мощностях. Замеряли значение начальной (входной) и конечной (выходной) температуры молозива и, пользуясь градуировочным графиком, оценивали выходную мощность СВЧ генератора. Этим градуировочным графиком пользовались при определении мощности, поглощенной сырьем, при разогреве молозива во втором резонаторе (коническом) опытного образца СВЧ-размораживателя (см. раздел 4.3).

Таблица 4.1 – Технические характеристики лабораторного образца СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева коровьего молозива

Производительность, кг/ч	6
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	1,1
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,15
Мощность перемешивающего диска, кВт	0,1
Потребляемая мощность СВЧ-генераторов, кВт	0,85
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,183

4.1.2 Динамика эндогенного разогрева коровьего молозива

Известно, что молозиво крупного рогатого скота содержит макроэлементы, витамины и минералы. Оно богато белковыми соединениями, которые регулируют иммунные реакции и способствуют росту. Молозиво значительно отличается от нормального молока органолептическими, физико-химическими свойствами, химическим составом и пригодностью к технологической переработке. Молозиво имеет желто-бурый цвет, солоноватый вкус, специфический запах, густую вязкую консистенцию. Оно содержит больше белков, жира, минеральных веществ, меньше лактозы, чем нормальное молоко. В нем содержится больше каротина, витаминов (А, Д, В₁, В₂) ферментов, а также иммуноглобулинов, лизоцима и лейкоцитов [211]. В связи с высоким содержанием белков и солей кислотность молозива достигает 40 °Т и выше [210]. Вследствие наличия в нем большого количества глобулинов и альбуминов *молозиво легко свертывается при разогревании* выше 40 °С.

Исследование распределения теплового потока по поверхности коровьего молозива в процессе дефростации и разогрева проводили с помощью инфра-

красного мини-термометра Fluke 62 и тепловизора FLIRi3 (рис. 4.2).

Хронометраж дефростации и разогрева *молока* жирностью 3,2 %, при удельной мощности генератора 4,5 Вт/г, приведен на рис. 4.2. Результаты исследования динамики разогрева *молока* (рис. 4.3), жирностью 3,2%, при удельной мощности генератора 4,5 Вт/г, показывают, что превышение температуры за 80 с составит 85 °С. Графики, описывающие динамику разогрева коровьего молозива, жирностью 6,5 %, при разных удельных мощностях сверхвысокочастотного генератора (0,4 Вт/г; 0,8 Вт/г; 1,2 Вт/г), приведены на рис. 4.3.


Хронометраж замораживания, дефростации и разогрева молока	
Замороженное сырье в специальном пакете	
Куски замороженного сыря	

Рисунок 4.2 – Хронометраж дефростации и разогрева *молока* жирностью 3,2 % в ЭМПСВЧ, при удельной мощности генератора 4,5 Вт/г

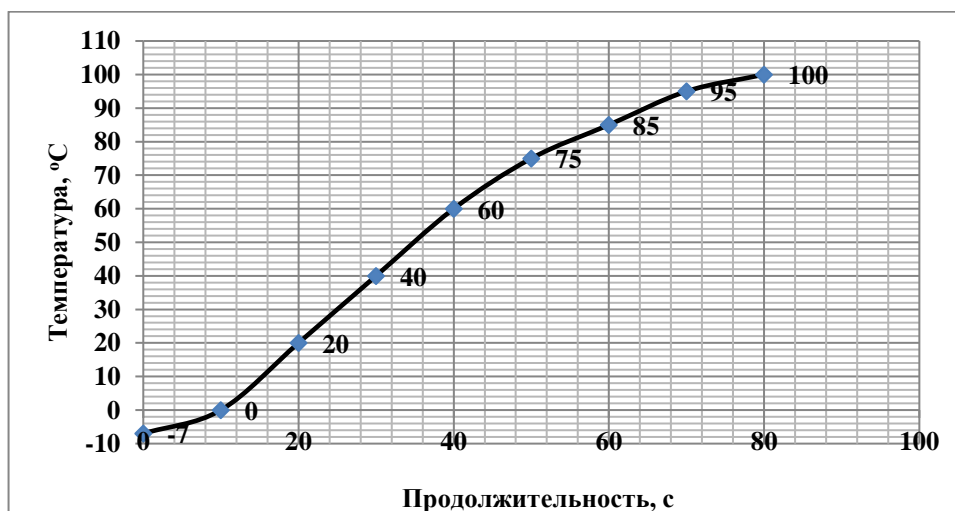


Рисунок 4.3 – Динамика нагрева *молока* жирностью 3,2 %, при удельной мощности СВЧ генератора 4,5 Вт/г

При удельной мощности СВЧ генератора 4,5 Вт/г, изменение температуры молока, жирностью 3,2 %, с -7 до 42 °С происходит за 30 с.

Эмпирическое выражение, описывающее динамику эндогенного разогрева:

$$T = -0,0079 \cdot \tau^2 + 2,09 \cdot \tau - 13,86 \quad (4.1)$$

Хронометраж дефростации и разогрева коровьего молозива жирностью 6,5 % в резонаторе, при удельной мощности генератора 0,7 Вт/г, приведен на рис. 4.4.









Продолжительность воздействия (мин.), масса (г), температура (°С)		
<p>Масса с бутылкой 1170 г, температура минус 7,8°С</p> 	<p>Масса без бутылки 945 г</p> 	<p>До воздействия ЭМПСВЧ, без бутылки</p> 
<p>Продолжительность воздействия ЭМПСВЧ 5 мин, температура замороженной поверхности молозива 7,6°С</p> 	<p>Продолжительность воздействия ЭМПСВЧ 10 мин, температура размороженного молозива 26°С</p> 	
<p>Продолжительность воздействия ЭМПСВЧ 15 мин, температура поверхности молозива 31,4°С</p> 	<p>Продолжительность воздействия ЭМПСВЧ 20 мин, температура поверхности молозива 51,5°С</p> 	
<p>Продолжительность воздействия ЭМПСВЧ 25 мин, поверхностная температура размороженного молозива 63°С</p> 		

Рисунок 4.4 – Хронометраж дефростации и разогрева коровьего молозива жирностью 6,5 % в резонаторе, при удельной мощности генератора 0,7 Вт/г (молозиво заморожено в пластиковой бутылке)

Динамика нагрева коровьего молозива жирностью 6,5 % при разных удельных мощностях: 0,4 Вт/г; 0,8 Вт/г; 1,2 Вт/г представлена на рис. 4.5.

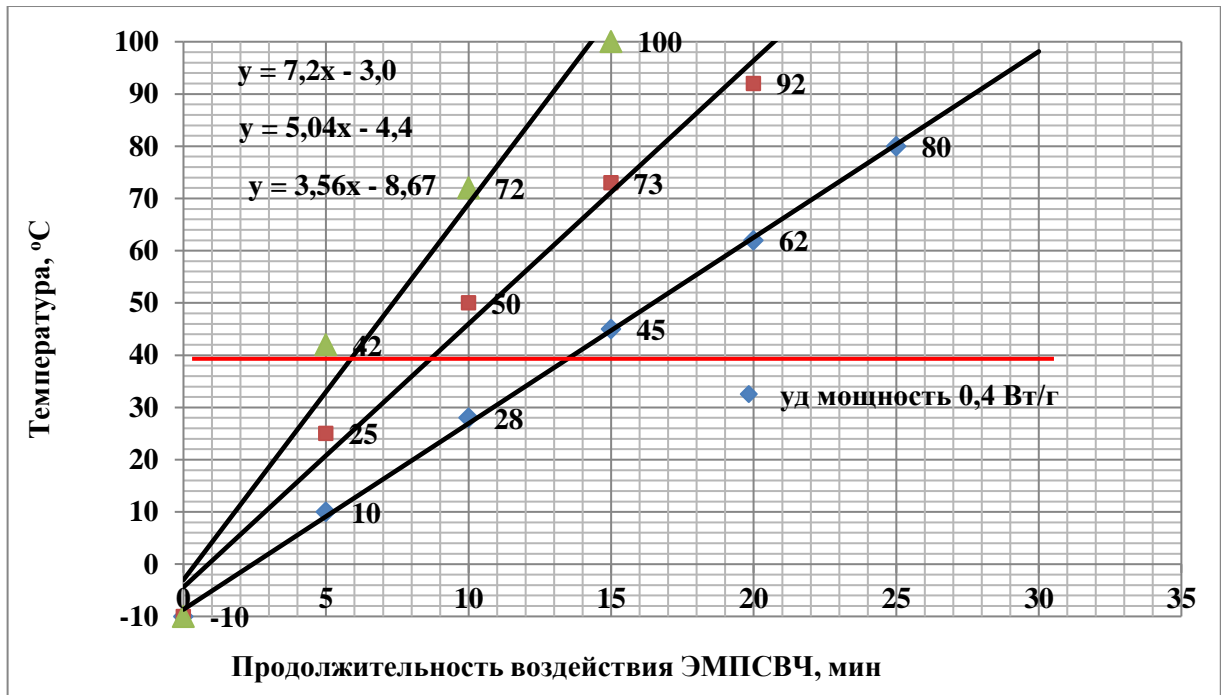


Рисунок 4.5 – Динамика нагрева *коровьего молозива* жирностью 6,5% при разных удельных мощностях: 0,4 Вт/г; 0,8 Вт/г; 1,2 Вт/г

Эмпирические выражения, описывающие динамику дефростации и разогрева коровьего молозива при разных удельных мощностях (0,4 Вт/г; 0,8 Вт/г; 1,2 Вт/г.): $T_{0,4} = 7,2 \cdot \tau - 3,0$; $T_{0,8} = 5,04 \cdot \tau - 4,4$; $T_{1,2} = 3,56 \cdot \tau - 8,67$, (4.2) где τ – продолжительность воздействия ЭМП СВЧ, мин.

Длительность дефростации и разогрева коровьего молозива, жирностью 6,5 %, от -10 °C до 39 °C в зависимости от удельной мощности 0,4 Вт/г; 0,8 Вт/г; 1,2 Вт/г, составляет соответственно: 14, 8, 6 мин. Эти данные сведены в матрицу планирования. Доза воздействия ЭМП СВЧ для дефростации и разогрева коровьего молозива от -10 до 39 °C колеблется от 0,11 Вт·ч/г до 0,12 Вт·ч/г или в пределах **400 Вт·с/г**.

Исследование распределения теплового потока по поверхности размораживаемого коровьего молозива. Результаты исследования распределения температурного поля по поверхности продукта при воздействии ЭМП СВЧ с удельной мощностью 0,7 Вт/г, представлены на рис. 4.6-4.8.



Рисунок 4.6, а – Замороженное молозиво в разных тарах

Виды и формы замороженного молозива		
<p>с использованием тары - бутылка, 0,5 л (21 на 6 см); 1 л; 1,5 л</p>  	<p>в виде брикетов (2 на 2 см)</p> 	<p>в виде измельченной массы</p> 
<p>- в форме бутылок (бутылка удаляется)</p>  <p>масса без бутылки 945 г (бутылка объемом 1 л)</p>		

















Рисунок 4.6, б – Виды и формы замороженного молозива

Рисунок 4.7 – Замороженное *коровье* молоко жирностью 2,5; 3,2; 7,1; 10 %

Плотность молозива = $1080 \text{ кг/м}^3 = 1,080 \text{ г/см}^3$. Удельная мощность воздействия ЭМП СВЧ: $850/540 = 1,57 \text{ Вт/г}$.

Также проведены исследования по дефростации коровьего молозива объемом – 0,5 л, жирностью 2,5; 3,2; 7,1; 10 % с помощью микроволновой печи марки Samsung (Тайланд), модель CE283DNR, мощность 850 Вт (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Хронометраж разогрева коровьего молозива, замороженного в пластиковой бутылке, при удельной мощности генератора, равной 1,57 Вт/г

Сырье / продолжительность воздействия (τ , с)	Температура молозива, °C			
	2,5	3,2	7,1	10
Замороженное МОЛОЗИВО	-0,494	-0,496	-0,526	-0,546
Водо-ледяная смесь молозива / $\tau = 20$ с				
$\tau = 60$ с	 10,3	 11,1	 13,4	 15,2
$\tau = 120$ с	 24,28	 27,38	 29	 31,74
$\tau = 180$ с	 43,43	 48,7	 51,2	 53,04

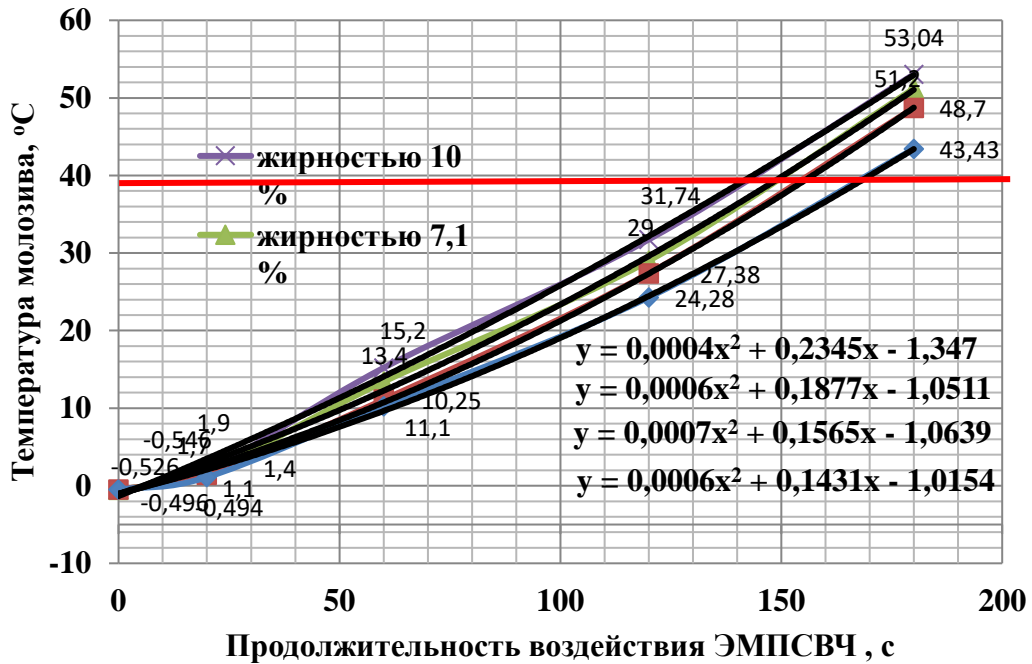
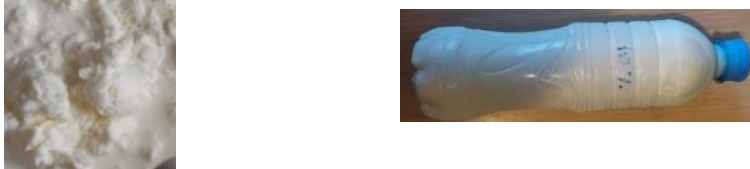











Рисунок 4.8 – Динамика нагрева *коровьего* молозива объемом 0,5 л, жирностью 2,5; 3,2; 7,1; 10 %, при удельной мощности генератора 1,57 Вт/г

Проведены исследования по дефростации и разогрева *сливок* жирностью 10 %, при удельной мощности 1,7 Вт/г (табл. 4.3, рис. 4.9).

Таблица 4.3 – Хронометраж дефростации и разогрева сливок, замороженных в пластиковой бутылке объемом 0,5 л

Сырье	Продолжительность воздействия ЭМПСВЧ, с	Температура сливок, °С
Замороженные сливки	0	-10
		
Водо-ледяная смесь	20	1
		
Жидкое сырье	60	16,5
		
Жидкое сырье	120	33,2
		
Жидкое разогретое сырье	160	38,5
		

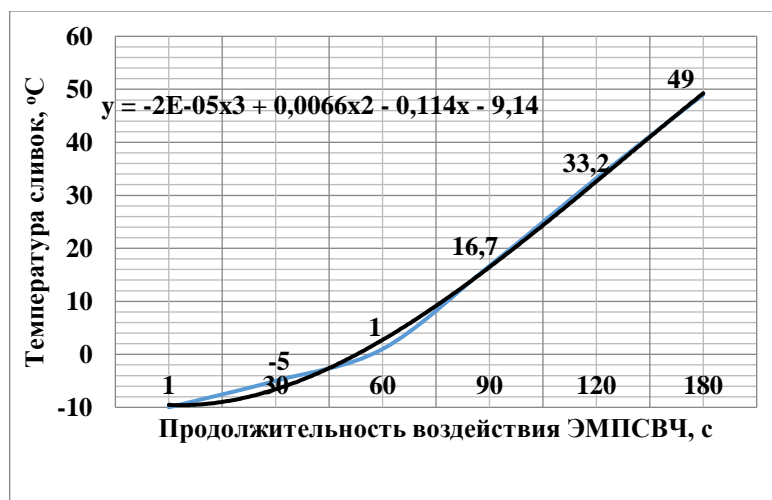


Рисунок 4.9 – Динамика дефростации и разогрева *сливок* жирностью 10 %, при удельной мощности генератора 1,7 Вт/г

Результаты экспериментальных исследований дефростации и разогрева молозива жирностью 4 % при удельной мощности генератора 1,7 Вт/г.

Хронометраж дефростации и разогрева **коровье молозиво** жирностью 4%, при удельной мощности генератора 1,7 Вт/г, приведен на рис. 4.10. Результаты исследования динамики разогрева **молозива** (рис. 4.10), показывают, что размороженная часть молозива, которая стекает в емкость, разогревается и перегревается, превращаясь в творог. Важно не допустить перегрева, поэтому размороженную и разогретую часть молозива необходимо сливать в другую емкость и продолжать нагрев замороженного сырья.



Хронометраж замораживания, дефростации и разогрева молока	
<p>Замороженное сырье в пластиковой бутылке объемом 0,5 л, температура - 10 °С</p> 	<p>Продолжительность воздействия ЭМПСВЧ 2 мин, температура поверхности молозива 11 °С, однако та часть молозива, которая разморозилась, температурой 60 °С, свернулась (белки коагулировались)</p> 
<p>Продолжительность воздействия ЭМПСВЧ 5 мин, температура замороженной поверхности молозива 40 °С, размороженное молозиво свернулось (белки коагулировались)</p>	
<p>Разогретое до 40 °С молозиво непосредственно после проведения опыта и через 30 мин.</p>	

Рисунок 4.10 – Хронометраж дефростации и разогрева **молозива** жирностью 4 % в ЭМПСВЧ, при удельной мощности генератора 1,2 Вт/г

Динамика нагрева *замороженного и размороженного разогретого молозива*, при удельной мощности генератора 0,8 Вт/г, приведена на рис. 4.11. Результаты экспериментальных исследований подтверждают теоретические предположения о том, что при разогреве молозива от 0 до 39 °С скорость нагрева жидкого сырья с увеличением температуры уменьшается.

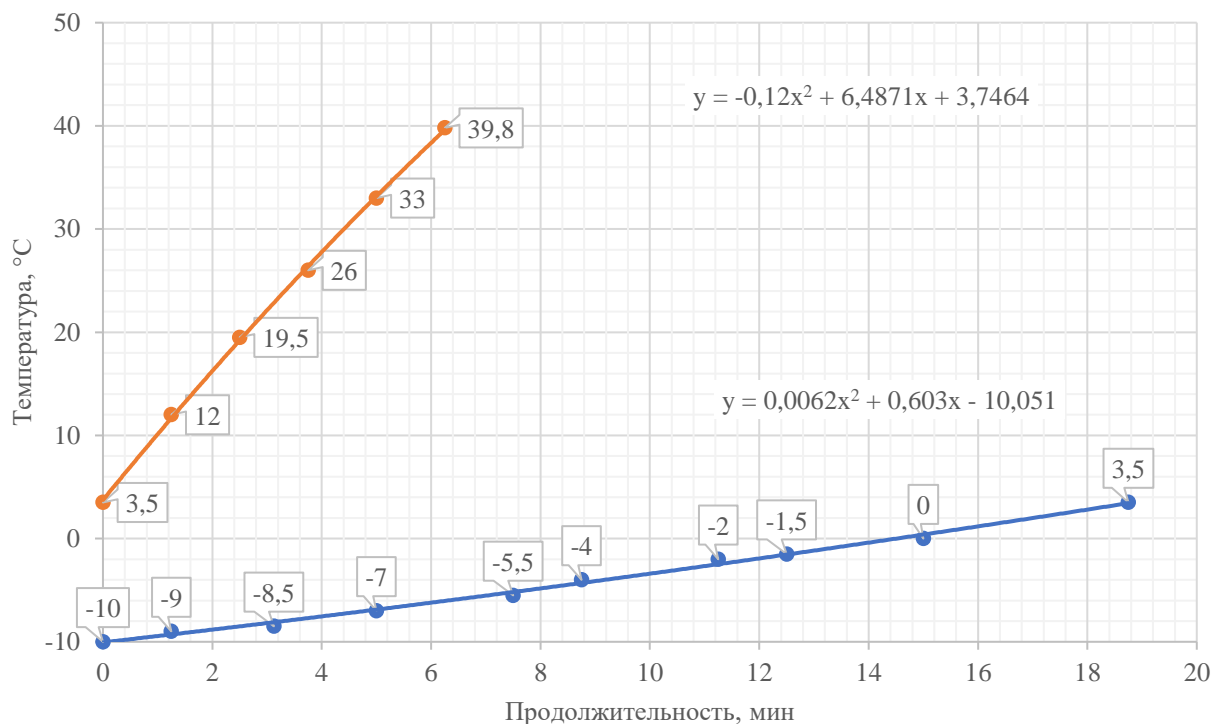


Рисунок 4.11 – Динамика нагрева *замороженного и разогретого молозива*, при удельной мощности генератора 0,8 Вт/г

Результаты экспериментальных исследований производительности СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива жирностью 6,4 %.

Молозиво объемом 0,5 л (500 г) размораживали и разогревали с $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ при мощности СВЧ генератора 850 Вт (1,7 Вт/г) за 4,4 мин. (0,07 ч.), т.е. производительность $0,5/0,07 = 7,1$ л/ч.

С учетом, того, что удельная мощность в коаксиальном резонаторе и коническом резонаторе составляют по 0,185 Вт / г ($P_{\text{уд1}} = 2400 \text{ Вт} / 1300 \text{ г}$), то примерно можно оценить продолжительность дефростации и разогрева в одном резонаторе. С учетом того, что удельная мощность в разрабатываемом СВЧ-размораживателе меньше в 9,2 раза, то продолжительность составляет $9,2 \cdot 4,4 =$

40,48 мин. (0,67 ч). Производительность СВЧ-размораживателя составит 13 л / 0,67 ч. = 19,4 л/ч, примерно 20 л/ч. Итак, в первом резонаторе происходит дефростация молозива за 17,7 мин., а во втором резонаторе его разогрев до 38 °С за 22,8 мин. (40,48-17,7 = 22,8 мин). Схематическое изображение резонаторов с техническими характеристиками представлено на рис. 4.12.

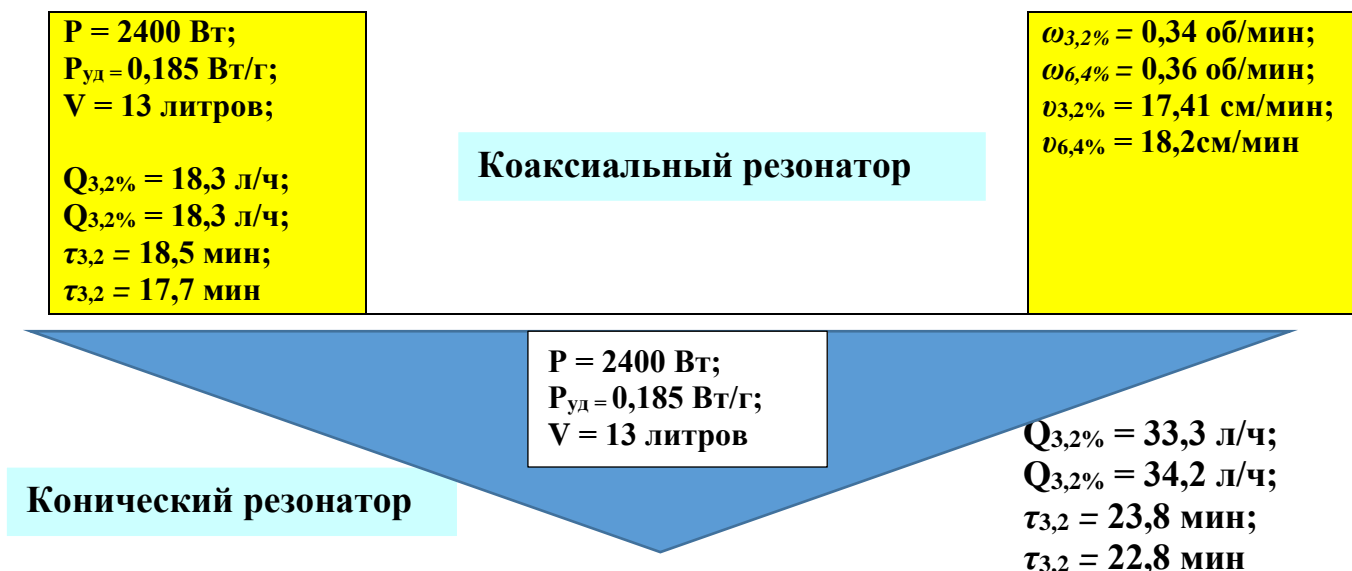


Рисунок 4.12 – Схематическое изображение резонаторов с техническими характеристиками

Результаты экспериментальных исследований производительности СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива жирностью 4,5 %.

Изготовлен СВЧ-размораживатель с 28 контейнерами для размещения 13 пластиковых бутылок по 1 л (13 л), которые должны перемещаться со скоростью 1 оборот за 18,5 мин. (0,31 ч). Исследования показывают, что при удельной мощности 1,7 Вт/г (850 Вт, 500 г) продолжительность дефростации и разогрева молозива до 38 °С в одном резонаторе составила 4,6 мин. (0,08 ч.). С учетом того, что удельная мощность в коаксиальном и коническом резонаторах равны, а именно: $P_{уд1} = 2400 \text{ Вт} / 1300 \text{ г} = 0,185 \text{ Вт} / \text{г}$, то примерно можно оценить продолжительность дефростации и разогрева в одном резонаторе. С учетом того, что удельная мощность уменьшилась в 9,2 раза, то продолжительность составляет $9,2 \cdot 4,6 = 42,3$ мин. (0,71 ч). Производительность СВЧ-размораживателя составит 13 л / 0,71 ч. = 18,3 л/ч, примерно 18 л/ч. Итак, в первом резонаторе происходит дефростация молозива за 18,5 мин., а во втором

резонаторе его разогрев до 38 °С за 23,8 мин. ($42,3 - 18,5 = 23,8$ мин). С учетом разной скорости нагрева сырья с учетом того, что скорость нагрева сырья в первом резонаторе выше, чем во втором, можно считать, что продолжительность процесса дефростации и разогрева составит $18,5 + 23,8 = 42,3$ мин.

Результаты сравнительной оценки производительности СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева воды.

Размораживали лед с удельной мощностью генератора 1,7 Вт/г. Замораживали 0,5 л воды в течение 5 ч до температуры -10 °С. Продолжительность дефростации и разогрева воды до 39 °С составила 5,5 мин. Воду объемом 0,5 л размораживали и разогревали с -10 °С до 39 °С при мощности СВЧ генератора 850 Вт (1,7 Вт/г) за 5,5 мин. (0,09 ч.). Производительность 5,6 л/ч. Продолжительность составляет $9,2 \cdot 5,5 = 50,6$ мин. (0,84 ч). Производительность СВЧ-размораживателя составит 13 л/ч. Производительность СВЧ установки при дефростации и разогреве молозива составит 18 л/ч; а базовым способом – 13 л/ч.

Проведенные исследования по дефростации воды в разработанном СВЧ-



размораживателе показали, что размораживание начинается с центра бутылки (рис. 4.13).

Рисунок 4.13 – Дефростация и разогрев *воды*

4.2 Обоснование режимов работы СВЧ-размораживателя молозива животных с двумя резонаторами

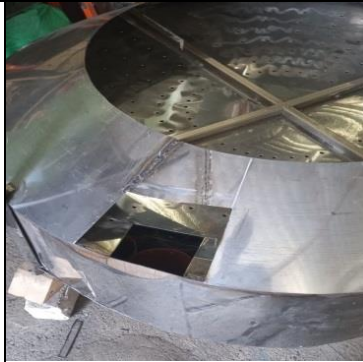
4.2.1 Разработанный и созданный образец СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных

Изготовлен СВЧ-размораживатель (рис. 4.14), содержащий вертикально расположенный *коаксиальный* резонатор прямоугольного сечения без нижнего кольцевого основания, состыкованный с основанием *конического* резонатора. В коаксиальном резонаторе имеется прорезь для перемещения отсеков с помощью электропривода. Отсеки образованы с помощью радиально расположенных диэлектрических перегородок. Основание конического резонатора перфорировано, а магнетроны с воздушным охлаждением со сдвигом на 120 градусов

установлены на поверхностях каждого резонатора. На верхнем основании коаксиального резонатора имеется загрузочный патрубок, выполняющий функцию запердельного волновода. На наружной боковой поверхности резонатора имеется открытое окно, состыкованное с окном на боковой поверхности неферромагнитного выгрузного патрубка без нижнего основания (рис. 4.15).

Изготовленные узлы СВЧ-размораживателя	
Наружный цилиндр коаксиального резонатора и конический резонатор, состыкованный к цилиндру	
Радиопрозрачные цилиндрические контейнеры для загрузки бутылок с замороженным сырьем (вид сбоку и сверху)	
Коаксиальный резонатор без привода с диэлектрическими контейнерами и перфорированным основанием	
Заготовки для изготовления усеченного конического резонатора	

Отверстие на поверхности конического резонатора для выгрузки тары (конический резонатор перевернут). Конический резонатор с запердельным волноводом и шаровым краном



Состыкованные коаксиальный и конические резонаторы и мотор-редуктор серии МЭО-6,3/12,5-0,25 М 99У.14 на верхнем основании размораживателя



Магнетроны марки Toshiba 2M253K(SJ)6C2538, Samsung OM75S(31) (6 шт.: по 3 магнетрона на поверхностях резонаторов)



Волноводы для размещения излучателей магнетронов, направленных в коаксиальный и конические резонаторы



Размещение магнетрона в экранирующем цилиндре расположенного над волноводом.



Вентилятор осевой канальный CV-150 (6 шт.)

Расположение магнетронов с вентиляторами в цилиндрических корпусах, которые установлены на поверхность конического резонатора со сдвигом на 120°



<p>Корпус металлический ЩРН-54-540x440x120-IP31-УХЛЗ-КЭАЗ Устройство защитного отключения УЗО – дифференциальный автоматический выключатель двухполюсный АД12 2Р 40А 30мА ТДМ (3/30) (ТДМ-АД2-40) класс АС Техэнерго</p>		
<p>Выключатель автоматический однополюсный IE. Для электропривода контейнеров (QF0)К ВА47-29 С10</p>		<p>Электромагнитный пускатель марки ПМЕ 111 380В 1з УХЛ4 Класс Б ТЭ EURO Техэнерго. Для запуска 6 магнетронов (QF1... QF6) через два агнитных пускателя (KM1, KM2)</p> 
<p>Шкаф управления с пускозащитным оборудованием и электронными блоками генераторов. Трансформатор силовой Samsung SHV-EURO1-1(230 V, 50 Hz, AA, DPC-M)</p>		
<p>Выключатель автоматический трехполюсный ВА47-60М 3Р 32А 6кА С для запуска 6 магнетронов. Высоковольтный кабель</p>		<p>Высоковольтный кабель для подсоединения для подсоединения электрооборудования СВЧ-размораживателя к системе управления, расположенной в шкафу</p> 

Рисунок 4.14 – Хронометраж изготовления отдельных узлов СВЧ-размораживателя с коаксиальным и коническим резонаторами

Для предварительной оценки режимов размораживания и разогрева коровьего молозива проводили экспериментальные исследования с помощью изготовленного образца СВЧ-размораживателя с коаксиальным и коническим резонаторами с общим перфорированным основанием (рис. 4.15).

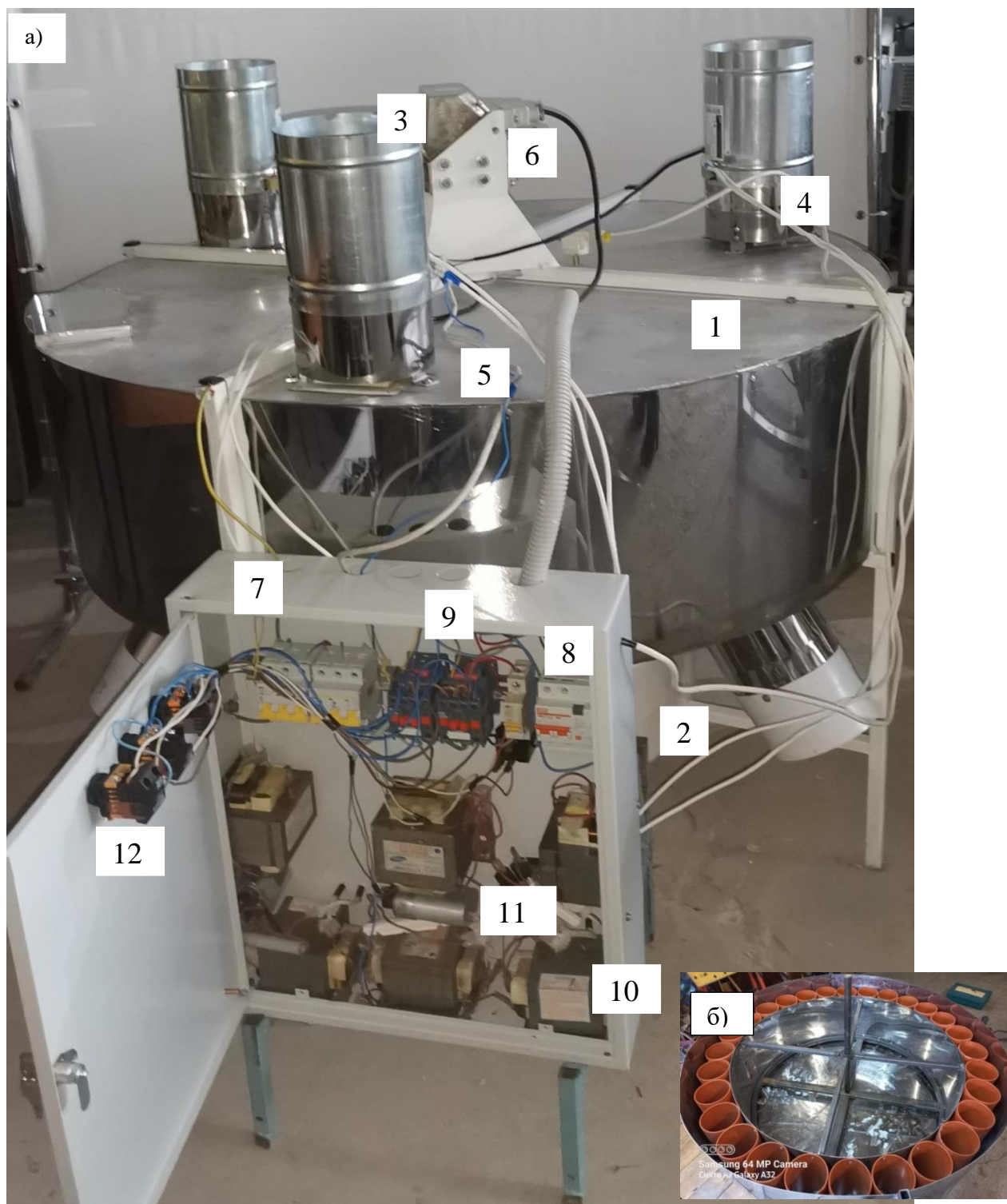


Рисунок 4.15 – Изготовленный СВЧ-размораживатель для дефростации и разогрева молозива животных:

а) установка; б) передвижные контейнеры в коаксиальном резонаторе; 1 – коаксиальный резонатор; 2 – конический резонатор; 3 – вентиляторы; 4 – магнетроны; 5 – волноводы; 6 – мотор-редуктор; 7 – шкаф управления; 8 – автоматические выключатели; 9 – магнитные пускатели; 10 – высоковольтные трансформаторы; 11 – конденсаторы; 12 – кнопки «Пуск» и «Стоп»

4.2.2 Эффективные режимы дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ-размораживателе с коаксиальным и коническим резонаторами

4.2.2.1 Эффективные режимы дефростации молозива животных в СВЧ-размораживателе

Изготовленный СВЧ-размораживатель содержит два резонатора, в первом, коаксиальном, происходит дефростация молозива, а во втором, коническом резонаторе – разогрев молозива до температуры 39 °С. Необходимо обосновать режимы работы СВЧ-размораживателя с коаксиальным резонатором, куда непрерывном режиме в отсеки загружается замороженное молозиво (до 10-12 °С) в пластиковых бутылках. Исследована динамика размораживания коровьего молозива в коаксиальном резонаторе при разных удельных мощностях ($p_{уд1}$; $p_{уд2}$; $p_{уд3}$): 182 Вт/л; 136,5 Вт/л; 91 Вт/л (рис. 4.16).

Эмпирические зависимости, описывающие динамику дефростации и разогрева под воздействием ЭМП СВЧ разной дозы:

$$\begin{aligned} T &= -0,0071 \cdot \tau^2 + 0,64 \cdot \tau - 9,89 \quad (p_{уд1}=182 \text{ Вт/л}); \\ T &= -0,0038 \cdot \tau^2 + 0,47 \cdot \tau - 10,12 \quad (p_{уд2}=136,5 \text{ Вт/л}); \\ T &= -4 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^2 + 0,32 \cdot \tau - 10,34 \quad (p_{уд3}=91 \text{ Вт/л}). \end{aligned} \quad (4.3)$$

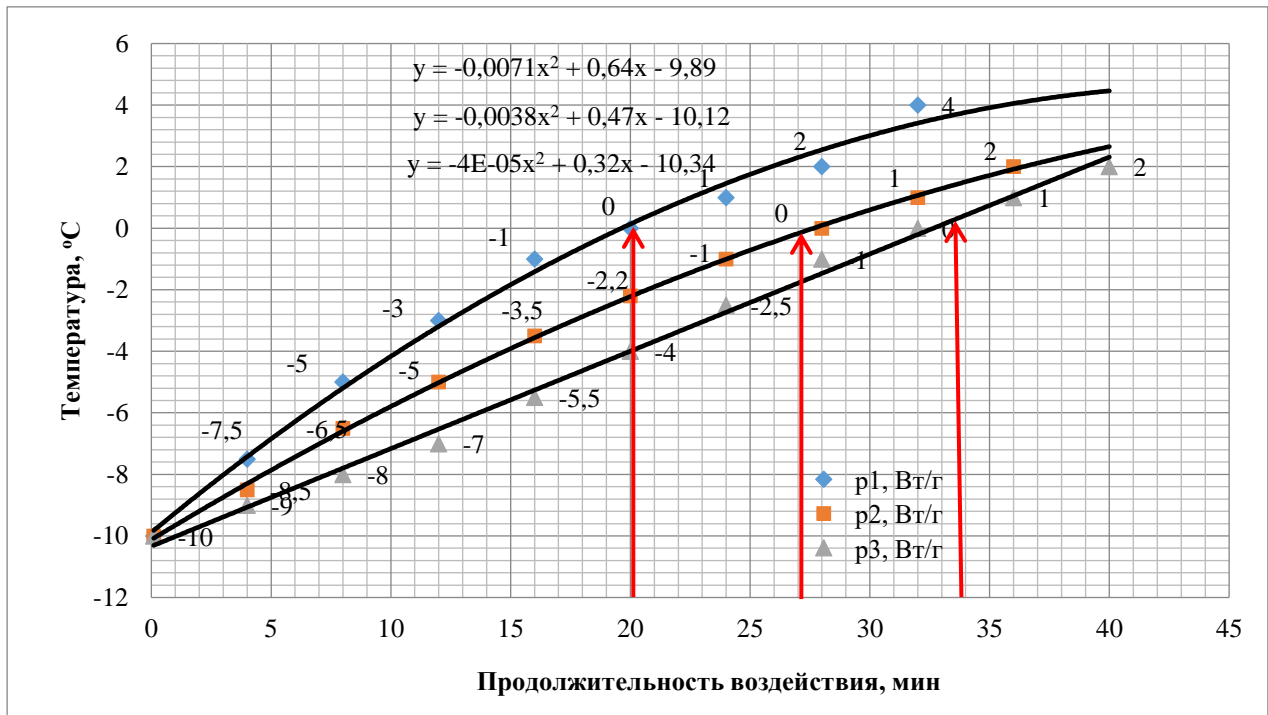


Рисунок 4.16 – Динамика дефростации и разогрева коровьего молозива в ЭМП СВЧ при разных удельных мощностях: 182 Вт/л; 136,5 Вт/л; 91 Вт/л

Результаты исследования показывают, что замороженное молозиво размораживается за 20 мин. (0,333 ч.), если удельная мощность составляет 0,182 Вт/г, а, при удельной мощности 0,091 Вт/г – за 27 мин. (0,45 ч.); за 34 мин. (0,567 ч.) при удельной мощности 136,5 Вт/л. Для обоснования режима дефростации молозива в коаксиальном резонаторе составлена матрица из 11 вариантов в четырехкратной повторности (табл. 4.4). Определены основные факторы, не коррелирующие между собой, но влияющие на процесс дефростации молозива: удельная мощность генераторов $P_{уд}$, Вт/г (x_1); продолжительность воздействия ЭМП СВЧ на замороженное сырье в коаксиальном резонаторе τ , с (x_2); частота вращения диска с отсеками n , об/мин (x_3).

Интервалы варьирования основных факторов обусловлены возможностями конструктивного исполнения коаксиального резонатора (табл. 4.5). В 28 отсеках одновременно подвергается воздействию 28 л замороженного сырья, при общей мощности генераторов 2550 Вт (850 Вт x 3 шт.). Следовательно, удельную мощность можно варьировать от 91 Вт/л (если в каждый отсек загрузить бутылки) и до 182 Вт/л (если бутылки с замороженным сырьем загрузить через отсек). Основные факторы варьировали в следующих пределах:

(x_1) $91 \leq P_{уд} \leq 182$ Вт/л; (x_2) $0,333$ ч (20 мин) $\leq \tau \leq 0,567$ ч (34 мин);

(x_3) $0,166 \leq n \leq 0,25$ об/мин.

Таблица 4.4 – Значения варьируемых факторов

Факторы	Кодовое значение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			Основной уровень	Верхний уровень	Нижний уровень
Удельная мощность генераторов, Вт/л	x_1	45,5	136,5	182	91
Продолжительность воздействия, ч (мин)	x_2	0,117 (7 мин)	0,45 (27 мин)	0,567 (34 мин)	0,333 (20 мин)
Частота вращения отсеков, об/мин	x_3	0,042	0,208	0,25	0,166

Критериями оценки эффективности процесса дефростации молозива в коаксиальном резонаторе являются: Y_1 – температуры (T , °C); Y_2 – производительность СВЧ-размораживателя (Q , кг/ч); Y_3 – доза воздействия (D , кВт·ч/кг);

Y_3 – удельные энергетические затраты (W , кВт·ч/кг); Y_4 – общее микробное число в сырье (ОМЧ, КОЕ/г).

Выбор критериев оценки обусловлен их наибольшей значимостью для дефростации молозива. Температура определяет степень размораживания сырья; производительность – основная характеристика СВЧ-размораживателя; доза воздействия характеризует возможность корректировки объема сырья и мощности генератора; по данным общего микробного числа можно оценить степень соответствие сырья для реализации молодняку животных. Удельные энергетические затраты, определяющие энергоемкость технологического процесса, являются основным показателем при оценке технико-экономической эффективности применения микроволновой технологии и СВЧ-размораживателя.

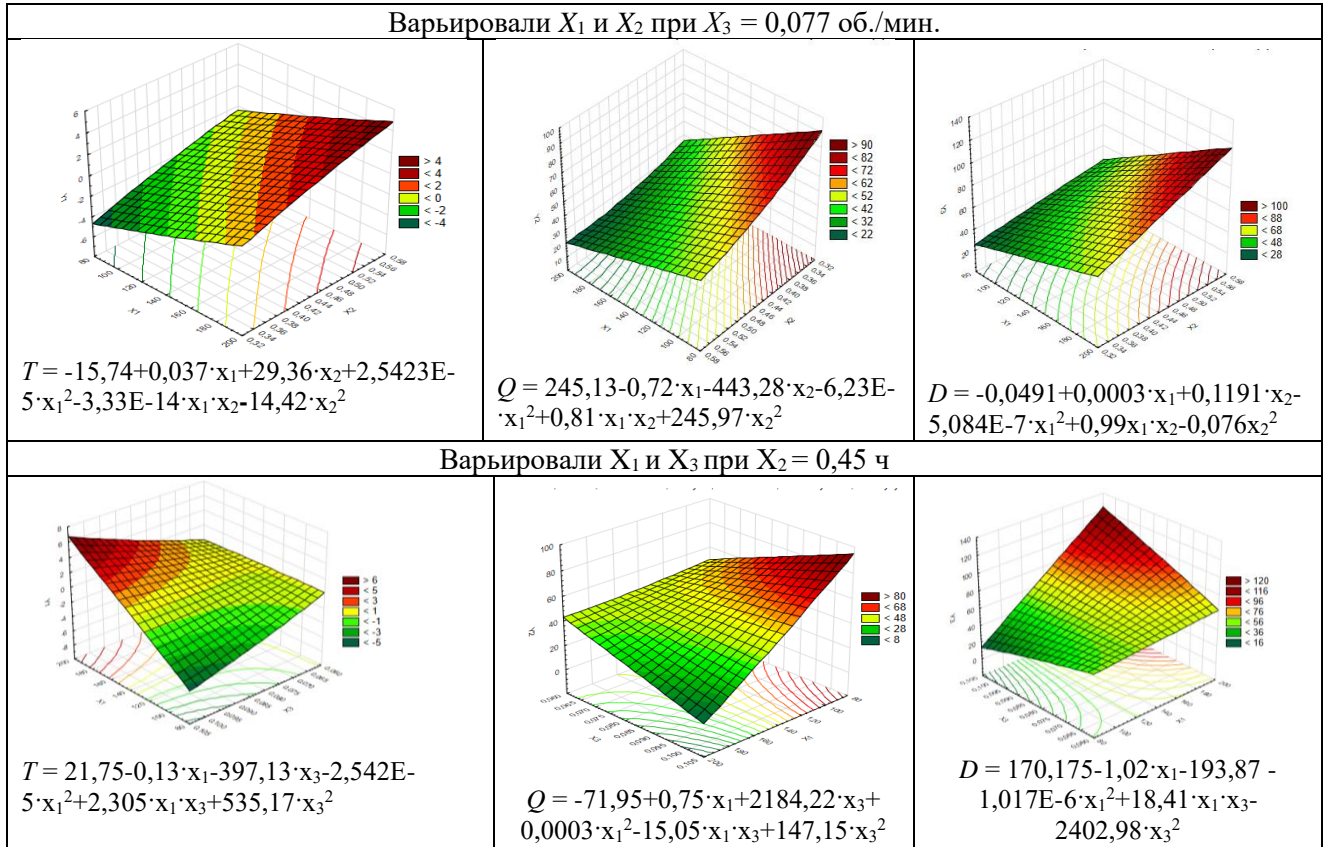
Пользуясь программой «Statistic-12» построены поверхности отклика и их двумерные сечения в изолиниях в зависимости от удельной мощности генератора и продолжительности воздействия ЭМП СВЧ при постоянной частоте вращения отсеков 0,0625 об/мин. (табл. 4.5, рис. 4.17). В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, описывающие взаимосвязь воздействующих факторов с критериями оптимизации. Они адекватно описывают процесс дефростации коровьего молозива под воздействием исследуемых факторов в коаксиальном резонаторе.

Анализ полученных экспериментальных данных по трем поверхностям отклика позволяет получить рациональные режимы *дефростации* молозива в кольцевом пространстве: удельная мощность СВЧ генераторов 0,8 Вт/г; продолжительность воздействия 17,7 мин.; масса загрузки сырья 15 л; частота вращения диска рабочей камеры 0,0625 об/мин. Регрессионные уравнения, описывающие температуру молозива Y_1 , производительности коаксиального резонатора Y_2 , дозы воздействия Y_3 соответственно от воздействующих факторов приведены ниже.

Таблица 4.5 – Матрица планирования 3-х факторного эксперимента для выявления эффективных режимов **дефростации** молозива в коаксиальном резонаторе СВЧ-размораживателя

Варьируемые параметры							Критерии оптимизации		
Общая мощность генераторов 2550 Вт; удельная мощность, Вт/л			Частота вращения отсеков, об/мин		Продолжительность воздействия ЭМП-СВЧ в коаксиальном резонаторе, ч		Температура сырья, °С	Производительность резонатора, кг/ч	Доза воздействия, Вт·ч/кг
№ п/п	x_1	$p_{уд}$	x_3	n	x_2	τ	$Y_1 (T)$	$Y_2 (Q)$	$Y_3(D)$
1	+	182	+	0,1	+	0,567	4	24,7	103,2
2	+	182	-	0,0625	-	0,333	0	42	60,61
3	-	91	+	0,1	-	0,333	-4	84	30,3
4	-	91	-	0,0625	+	0,567	0	49,4	51,6
5	0	136,5	0	0,077	0	0,45	0	46,67	61,43
6	-	91	0	0,077	0	0,45	-2	62,22	40,95
7	+	182	0	0,077	0	0,45	2	31,11	81,9
8	0	136,5	-	0,0625	0	0,45	0	46,67	61,43
9	0	136,5	+	0,1	0	0,45	0,5	46,67	61,43
10	0	136,5	0	0,077	-	0,333	-2	63,06	45,45
11	0	136,5	0	0,077	+	0,567	1,5	37,03	77,4

Поверхности отклика приведены на рис. 4.17.



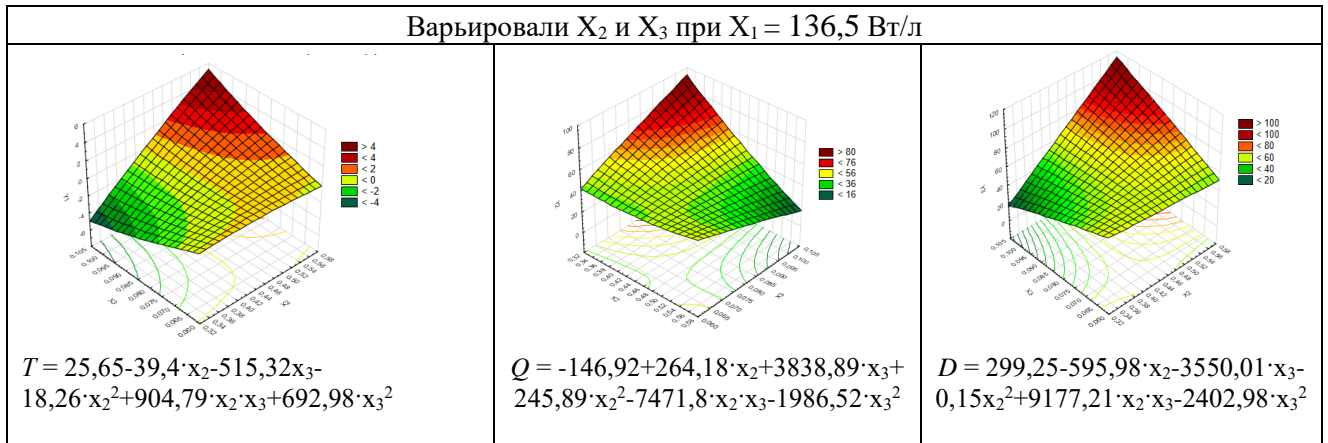


Рисунок 4.17 – Двумерные сечения в изолиниях и поверхности откликов трехфакторных моделей

Технические характеристики коаксиального резонатора СВЧ-размораживателя для дефростации коровьего молозива сведены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя для *дефростации* коровьего молозива

Производительность, кг/ч	15
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	2,74
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,16
Мощность привода диэлектрического контейнера, кВт	0,18
Потребляемая мощность трех СВЧ-генераторов, кВт	2,4
Удельная мощность генератора, Вт/г	0,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию молозива, кВт·ч/кг	0,13-0,14

4.2.2.2 Эффективные режимы *разогрева* молозива животных в СВЧ-размораживателе с коаксиальным и коническим резонаторами

Пользуясь матрицей планирования 3-х факторного активного эксперимента типа 2^3 (табл. 4.7, 4.8), получены регрессионные зависимости. Они позволяют оценить влияние технологических параметров (удельной мощности генератора, продолжительности эндогенного нагрева и мощности генератора) на производительность СВЧ-размораживателя, температуру нагрева сырья и на удельные энергетические затраты.

Определены следующие основные факторы, влияющие на процессы *разогрева* молозива: X_1 – удельная мощность СВЧ генератора ($P_{уд}$, Вт/г); X_2 – продолжительность воздействия ЭМП СВЧ на сырье (τ , ч); X_3 – мощность СВЧ ге-

нераторов (P , Вт). Интервалы варьирования основных факторов оценивали с учетом возможностей конструктивного исполнения СВЧ-размораживателя.

Они совместимы и не коррелированы между собой, а пределы их изменения следующие: (X_1) $0,4 \leq P_{уд} \leq 1,2$ Вт/г; (X_2) $0,1 \leq \tau \leq 0,3$ ч; (X_3) $1,6 \leq P \leq 3,2$ Вт.

Таблица 4.7 – Уровни варьируемых факторов

Факторы	Кодовое значение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			Основной уровень	Верхний уровень	Нижний уровень
Удельная мощность генератора, Вт/г	X_1	0,4	0,8	1,2	0,4
Продолжительность обработки, ч мин	X_2	0,1 6	0,2 12	0,3 18	0,1 6
Мощность генераторов, Вт	X_3	0,8	2,4	3,2	1,6

Критериями оценки эффективности разогрева сырья при варьировании выбранных факторов (табл. 4.9), являлись: Y_1 – производительность СВЧ-размораживателя (Q , кг/ч); Y_2 – энергетические затраты (W , кВт·ч/кг); Y_3 – температура сырья (T , °С); Y_4 – общее микробное число в сырье, ($ОМЧ$, КОЕ/г), результаты исследования приведены ниже). Мощность электродвигателя вентилятора 0,18 Вт.

Пользуясь программой Statistic12, получены трехмерные изображения поверхностей откликов в зависимости от режимов *разогрева* сырья, а именно, зависимость производительности СВЧ-размораживателя (Y_1), энергетических затрат (Y_2), температуры нагрева сырья (Y_3), общего микробного числа (Y_4) от удельной мощности генератора (X_3), продолжительности воздействия ЭМП СВЧ (X_2) и мощности генераторов (X_1). Двумерные сечения в изолиниях и поверхности откликов трехфакторных моделей энергетических затрат, температуры нагрева и производительности СВЧ-размораживателя, и регрессионные зависимости приведены на рис. 4.18.

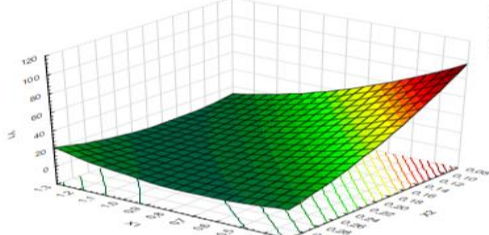
Таблица 4.8 – Матрица активного планирования эксперимента типа 2^3 для выявления эффективных режимов разогрева молозива в СВЧ-размораживателе

Варьируемые параметры												
Масса загрузки в резонатор, кг		Удельная мощность генератора, Вт/г		Продолжительность обработки, τ , мин/ч			Мощность СВЧ-размораживателя, кВт (n – количество генераторов, шт.)					
№	G	X_1	$P_{уд}$	X_2	мин	ч	X_3	n , шт.	$P_{ген}$	$P_{дис.}$	$\frac{P_{ген+}}{P_{дис}}$	$P_{общ}$
1	2,67	+	1,2	+	18	0,3	+	4	3,2	0,15	3,35	3,53
2	1,33	+	1,2	-	6	0,1	-	2	1,6	0,05	1,65	1,83
3	4	-	0,4	+	18	0,3	-	2	1,6	0,18	1,78	1,96
4	8	-	0,4	-	6	0,1	+	4	3,2	0,25	3,45	3,63
5	3	0	0,8	0	12	0,2	0	3	2,4	0,16	2,56	2,74
6	6	-	0,4	0	12	0,2	0	3	2,4	0,20	2,6	2,78
7	2	+	1,2	0	12	0,2	0	3	2,4	0,1	2,5	2,68
8	3	0	0,8	-	6	0,1	0	3	2,4	0,16	2,56	2,74
9	3	0	0,8	+	18	0,3	0	3	2,4	0,16	2,56	2,74
10	2	0	0,8	0	12	0,2	-	2	1,6	0,1	1,7	1,88
11	4	0	0,8	0	12	0,2	+	4	3,2	0,18	3,38	3,56

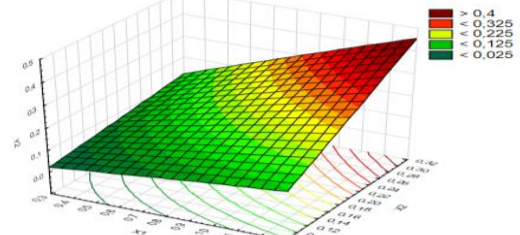
Таблица 4.9 – Критерии оптимизации процесса разогрева коровьего молозива

№	Производительность СВЧ-размораживателя, кг/ч (Q)	Энергетические затраты, кВт·ч/кг (W)	Температура молозива, °С (T)	ОМЧ, (КОЕ/г) (Y_4)
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	8,9	0,397	120	50000
2	13,3	0,137	42	610000
3	13,3	0,147	54	600000
4	80	0,045	12	700000
5	15	0,183	52	540000
6	30	0,093	28	660000
7	10	0,268	75	450000
8	30	0,0913	25	670000
9	10	0,274	86	400000
10	10	0,188	52	580000
11	20	0,178	52	500000

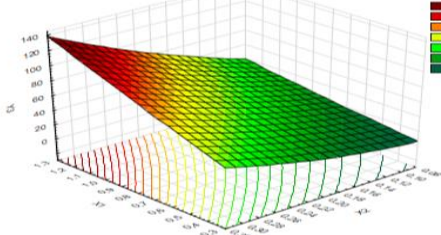
Варьировали X_1 и X_2 при $X_3 = 2,4$ кВт



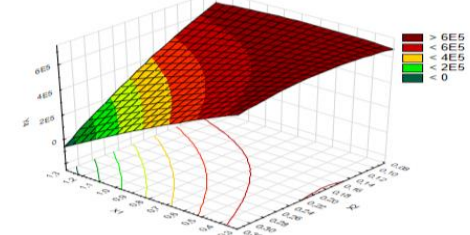
$$Q = 193,53 - 186,23 \cdot x_1 - 744,91 \cdot x_2 + 44 \cdot x_1^2 + 389,38 \cdot x_1 \cdot x_2 + 703,95 \cdot x_2^2$$



$$W = -0,019 + 0,036 \cdot x_1 + 0,104 \cdot x_2 - 0,011 x_1^2 + 0,99 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,036 \cdot x_2^2$$

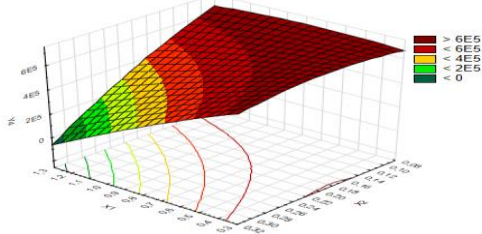


$$T = 3,09E-12 + 9,06 \cdot x_1 - 60,44 \cdot x_2 + 3,4539 \cdot x_1^2 + 225 \cdot x_1 \cdot x_2 + 455,2632 \cdot x_2^2$$

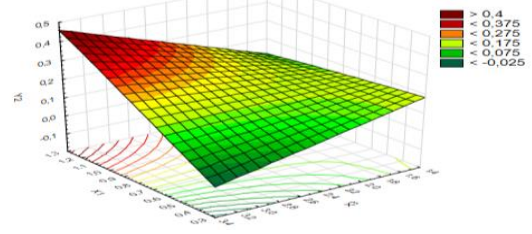


$$OMЧ = 4,73E5 + 3,87E5 \cdot x_1 + 2,21E6 \cdot x_2 - 1,0362E5 \cdot x_1^2 - 2,875E6 \cdot x_1 \cdot x_2 - 3,6579E6 \cdot x_2^2$$

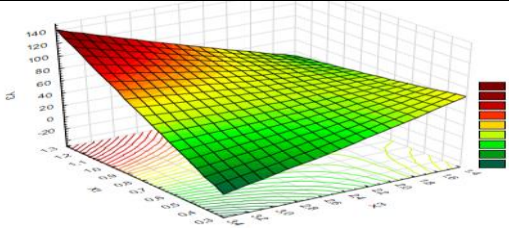
Варьировали X_1 и X_3 при $X_2 = 0,2$ ч (12 мин)



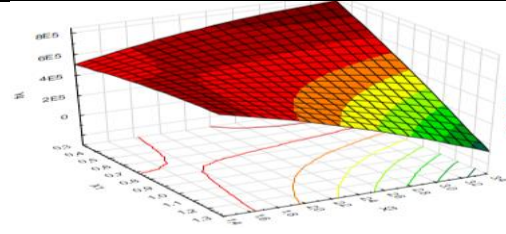
$$Q = -6,47 + 14,43 \cdot x_1 + 36,31 \cdot x_3 + 50,58 \cdot x_1^2 - 55,55 \cdot x_1 \cdot x_3 + 4,83 \cdot x_3^2$$



$$W = 0,49 - 0,45 \cdot x_1 - 0,2 \cdot x_3 - 0,012 \cdot x_1^2 + 0,28 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,001 \cdot x_3^2$$

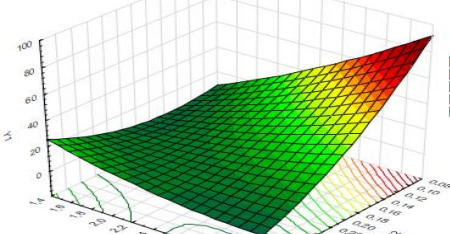


$$T = 188,28 - 178,31 \cdot x_1 - 80,92 \cdot x_3 + 8,06 \cdot x_1^2 + 93,75 \cdot x_1 \cdot x_3 + 2,8 \cdot x_3^2$$

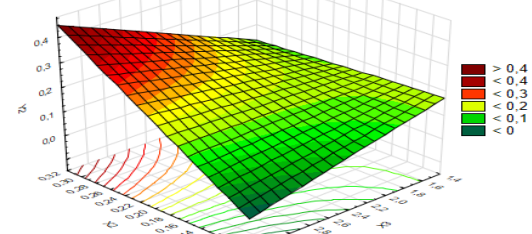


$$OMЧ = -2,5E5 + 1,06E6 \cdot x_1 + 5,45E5 \cdot x_3 - 1,1E5 \cdot x_1^2 - 5,16E5 \cdot x_1 \cdot x_3 - 50986,84 \cdot x_3^2$$

Варьировали X_2 и X_3 при $X_1 = 2,4$ Вт/г



$$Q = -36,47 + 57,73 \cdot x_2 + 36,31 \cdot x_3 + 809,21 \cdot x_2^2 - 222,19 \cdot x_2 \cdot x_3 + 4,83 \cdot x_3^2$$



$$W = 0,44 - 1,65 \cdot x_2 - 0,1843 x_3 - 0,0166 \cdot x_2^2 + 1,0687 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0003 \cdot x_3^2$$

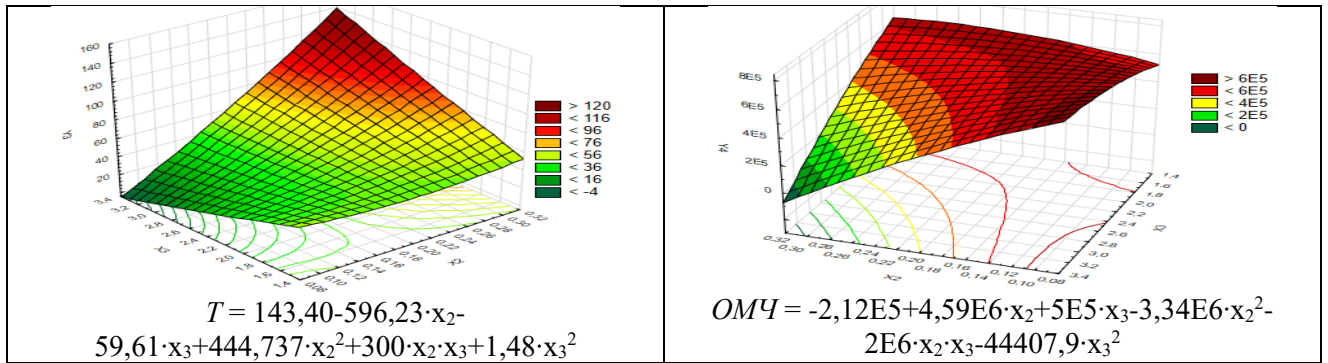


Рисунок 4.18 – Двумерные сечения в изолиниях и поверхности откликов трех-факторных моделей

Эффективные режимы *разогрева* коровьего молозива от 1,0 до 39 °С в ЭМПСВЧ, следующие: удельная мощность СВЧ генератора – 2,4 Вт/г; продолжительность воздействия ЭМПСВЧ в резонаторе – 8 мин. При этом производительность СВЧ-размораживателя (конического резонатора) составляет 15 кг/ч, энергетические затраты – 0,13-0,14 кВт·ч/кг (табл. 4.10), напряженность электрического поля – 3,8 кВ/см.

Таблица 4.10 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя для *разогрева* коровьего молозива

Производительность, кг/ч	15
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	2,74
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,16
Мощность привода диэлектрического контейнера, кВт	0,18
Потребляемая мощность трех СВЧ-генераторов, кВт	2,4
Удельная мощность генератора, Вт/г	0,8
Удельные энергетические затраты на разогрев жидкого молозива, кВт·ч/кг	0,13-0,14

Обоснованные параметры СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных

Эффективные режимы дефростации и разогрева коровьего молозива в ЭМПСВЧ, следующие: удельная мощность СВЧ генератора – 0,8 Вт/г; продолжительность воздействия ЭМПСВЧ в резонаторах – 25,7 мин.; мощность СВЧ генераторов – 2,4 кВт. При этом производительность установки составляет 30 кг/ч, энергетические затраты – 0,176-0,2 кВт·ч/кг (табл. 4.11).

Таблица 4.11 – Технические характеристики СВЧ-размораживателя для *дефростации и разогрева* коровьего молозива

Производительность, кг/ч	30
Потребляемая мощность СВЧ-размораживателя, кВт	2,74
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,16
Мощность привода диэлектрического контейнера, кВт	0,18
Удельная мощность СВЧ генератора, Вт/г	0,8
Мощность СВЧ генераторов, кВт	2,4
Удельные энергетические затраты на разогрев молозива, кВт·ч/кг	0,176

4.2.3 Оценка органолептических показателей сырья опытного и контрольного образцов

Органолептические показатели молозива (цвет, консистенцию) определяют в соответствии с ГОСТ 52054-2003, (запах, вкус) определяют в соответствии с ГОСТ 28283-2015; температуру – по ГОСТ 26754; плотность – по ГОСТ 54758-2011 (3625-84); кислотность – по ГОСТ 54669-2011 (ГОСТ 3624-92); группу чистоты – по ГОСТ 8218; бактериальную обсемененность – по ГОСТ 32901-2014. Шкала оценки органолептических показателей продукта приведена в табл. 4.12. Коровье **молозиво** состоит из 87 % воды и 13 % сухого остатка. В первые дни молозиво имеет желтый или желто-бурый цвет, густую тягучую консистенцию и сладковато-соленый вкус. Коровье **молозиво** кислотностью **40°Т** коагулируется при температуре выше 40°С. Кислотность молозива снижается на протяжении лактации.

Таблица 4.12 – Шкала оценки органолептических показателей размороженного коровьего молозива

Наименование и характеристика показателя		Оценка (баллы)
<i>Вкус и запах (5 баллов)</i>		
Отличный	Чистый, приятный, сладковато-соленый вкус	5
Хороший	Недостаточно выраженный	4
Удовлетворительный	Слабый кормовой, слабый нечистый	3
<i>Консистенция и внешний вид (5 баллов)</i>		
Отличный	Густая тягучая	5

Хороший	Недостаточно выраженная консистенция	4
Удовлетворительный	Слабая консистенция и нечистый внешний вид	3
<i>Цвет (2 балла)</i>		
	Желтый	5
	Желто-бурый	4
Итого		15

В специализированной лаборатории испытаны два образца коровьего молозиво в 4-х кратной повторности. 1 образец – контрольный (размороженный в базовой установке «ПримаЛакт»); 2 образец – опытный (размороженный СВЧ-размораживателе в эффективном режиме). Результаты исследования приведены на рис. 4.19.

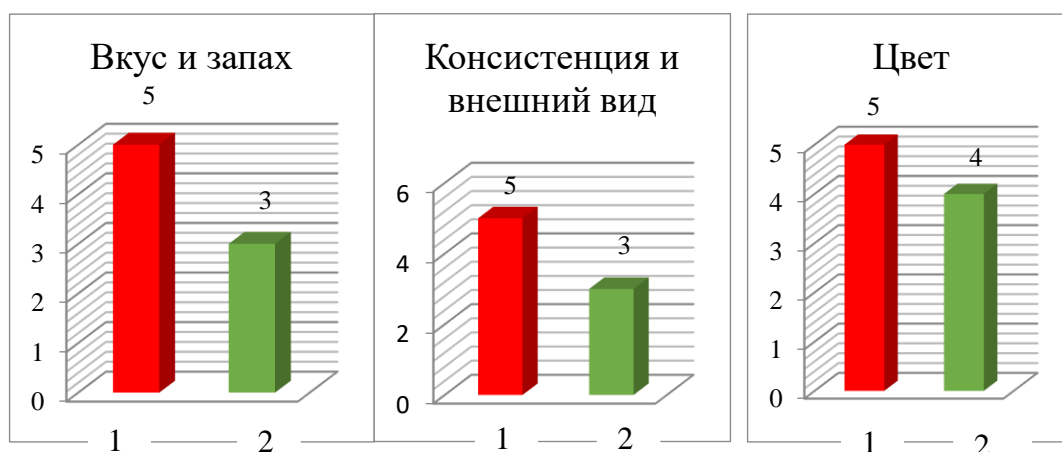


Рисунок 4.19 – Сравнительные органолептические показатели размороженного коровьего молозива разными способами: в ЭМПСВЧ (1) и традиционным (базовым) способом (2)

Вкус и запах опытного образца оценен на 5 баллов, контрольного – на 3 балла, из максимально возможных 5 баллов. Консистенция и внешний вид опытного образца оценен на 5 балла, контрольного на 3 из максимально возможных 5 баллов. Цвет опытного образца оценен на 5 балла, контрольного – на 4 балла, из максимально возможных 5 баллов. Сравнительные органолептические показатели коровьего молозива, размороженного разными способами: в ЭМПСВЧ (1) и горячей воде (2), приведены на рис. 4.19. Результаты исследования свидетельствуют, что органолептические показатели опытного образца отличаются на 5 баллов от показателей контрольного образца.

4.3 Оценка электромагнитной безопасности при работе СВЧ-размораживателя с двумя резонаторами

4.3.1 Исследование электромагнитной безопасности при работе СВЧ-размораживателя молозива животных с коаксиальным и коническим резонаторами

Основными элементами в структурной схеме (рис. 4.20) многогенераторного СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных являются генераторные блоки и объемные резонаторы, запердельные волноводы, механизмы для транспортирования контейнеров с сырьем [228].

СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия содержит			
генераторные блоки, состоящие из		две рабочие камеры, состоящие из	
<i>магнетронов</i> с излучателями, волноводами и системой охлаждения	<i>электронного блока</i> с высоковольтным трансформатором, выпрямителем и др.	<i>объемных резонаторов</i> с узлом для транспортирования контейнеров	ограничителей излучений из подающих и выгрузных устройств (запердельные волноводы)
Задача – оценить энергоэффективность функционирования генераторных блоков		Задача – оценить электромагнитную безопасность при использовании:	
Рисунок 4.20 – Структурная схема двухрезонаторного СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных		запердельных волноводов	прорезей на резонаторе
		перфорации на резонаторе и смотровом окне	

Источниками электромагнитного поля являются магнетроны с воздушным охлаждением, излучатели которых направлены в соответствующие резонаторы [229-231]. Вся система управления и контроля технологическим процессом расположена в шкафу управления. При непрерывном технологическом процессе радиогерметичность обеспечивается за счет запердельных волноводов. Ниже проанализированы особенности обеспечения электромагнитной безопасности в СВЧ-размораживателе. Известно, мощность потока излучений в

диапазоне сантиметровых волн не должна превышать 10 мкВт/см². Оценку электромагнитной безопасности при обслуживании созданной СВЧ-размораживателя, осуществляли с помощью измерителя электромагнитных излучений ПЗ-33М. В соответствии с ГОСТ ИЕС 61307-2016 «Промышленные установки разогрева токами СВЧ. Методы испытаний для определения выходной мощности» [272], а также ГОСТ 20271.1-91 «Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров» [273] измеряли на определенном расстоянии от СВЧ-размораживателя (0,5 м, 1,0 м и 2,0 м, по высоте 0,5 м, 1,0 м и 1,7 м.) мощность потока излучений. Средство измерения (ПЗ-33М) соответствовало требованиям ГОСТ 22261-94 «Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия» [274].

Допустимый уровень потока мощности электромагнитного поля при эксплуатации СВЧ-размораживателя определяли по методике Краева А. А. (кафедра физики, МГТУ) [130]. Опасную величину потока мощности ЭМП СВЧ полагают, что можно определить из формы пороговой дозы $D_{пор} = P \cdot \tau$, где P – мощность потока излучений, τ – продолжительность воздействия. В мире считают, что наибольшая плотность излучения не должна превышать 10 мВт/см², и при этом в зоне такой плотностью излучения обслуживающий персонал может оставаться не более 1 часа. СВЧ печи не должны излучать более 5 мВт/см².

В России облучение считается безопасным при продолжительных дозах воздействия ЭМП СВЧ (в течение 8 часового рабочего дня), если уровень потока мощности не превышает 10 мкВт/см². При уровне потока мощности 0,1 мВт/см² можно работать в течение 2 часов при частоте 2450 МГц. При пуске в работу и в процессе эксплуатации установки необходимо регулярно измерять мощность потока излучения СВЧ энергии в окружающее пространство.

Контроль над уровнем излучения в окружающее пространство мы осуществляли с помощью прибора ПЗ-33М (до 18000 МГц, 615 В/м), перемещая в пространстве от работающей СВЧ-размораживателя при дефростации и разогреве молозива животных на расстоянии 0,5 м, 1,0 м, 1,7 м и высоте 0,5 м, 1,0 м, 1,7 м. На определенном расстоянии измеряли плотность поток энергии

(мкВ/см²) и значения физических величин мощности потока СВЧ излучения, далее вычисляли допустимую продолжительность работы около СВЧ-размораживателя. Построены графики зависимости мощности потока СВЧ излучения по высоте установки, при расстоянии от установки до точки замера 0,5-2 м (рис. 4.21).

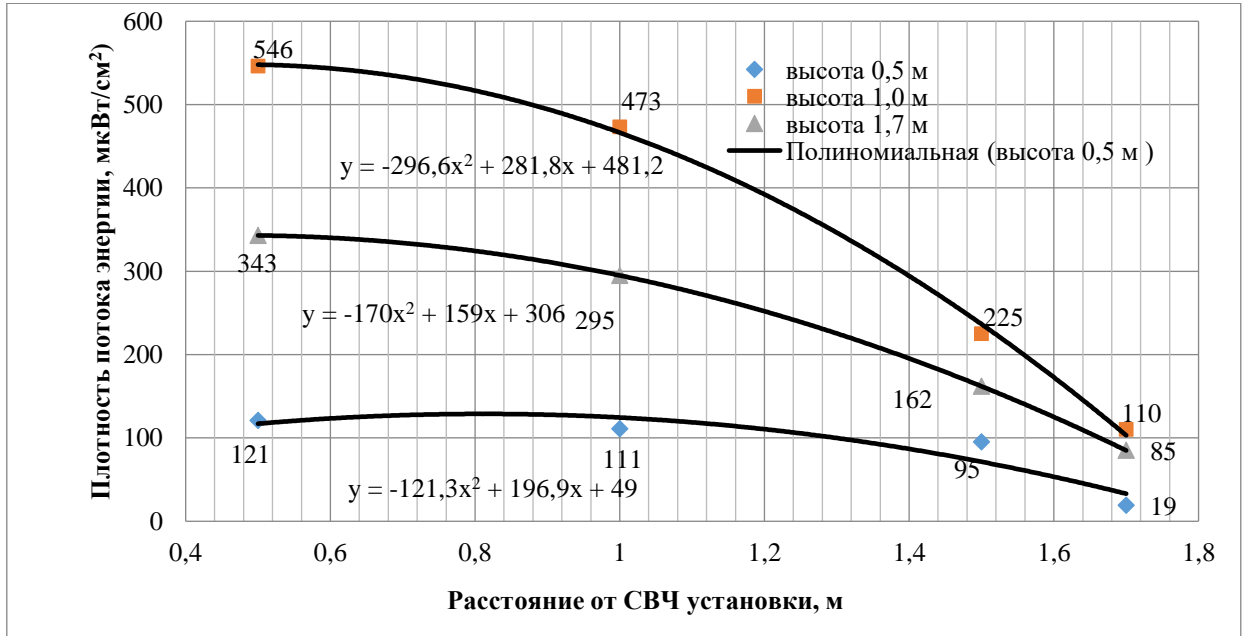


Рисунок 4.21 – Изменение мощности потока СВЧ излучения по высоте СВЧ-размораживателя, при расстоянии от установки до точки замера 0,5-2 м

Проведена оценка электромагнитной безопасности коаксиального резонатора с перфорированным кольцевым основанием в процессе дефростации коровьего молозива (рис. 4.22). Матрица планирования приведена в табл. 4.13. Полученные регрессионные модели для оценки электромагнитной безопасности коаксиального резонатора с перфорированным основанием:

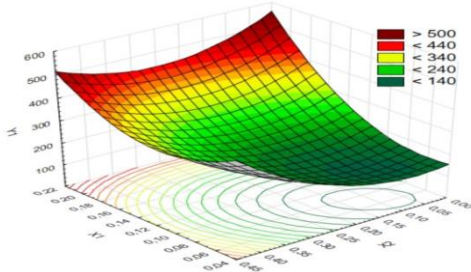
$$\begin{aligned}
 I &= 202,81 - 1823,11 \cdot x_1 - 131,49 \cdot x_2 + 15658,17 \cdot x_1^2 - 3942,65 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2002,7 \cdot x_2^2 \quad (x_3 = 3 \text{ мм}) \\
 Y_1 &= 1260,97 - 5178,97 \cdot x_1 - 524,72 \cdot x_3 + 15658,17 \cdot x_1^2 + 829,49 \cdot x_1 \cdot x_3 + 64,89 \cdot x_3^2 \quad (x_2 = 0,22) \\
 Y_1 &= 1419,03 - 2155,70 \cdot x_2 - 678,08 \cdot x_3 + 2826,51 \cdot x_2^2 + 402,78 \cdot x_2 \cdot x_3 + 91,59 \cdot x_3^2 \quad (x_1 = 0,1 \text{ Вт/см}^3) \\
 Y_2 &= 4,62 - 11,45 \cdot x_1 + 2,43 \cdot x_2 - 3,1 \cdot x_1^2 + 23,23 \cdot x_1 \cdot x_2 - 15,49 \cdot x_2^2 \quad (x_3 = 3 \text{ мм}) \\
 Y_2 &= -2,48 + 8,0 \cdot x_1 + 3,80 \cdot x_3 - 3,1 \cdot x_1^2 - 4,78 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,5 \cdot x_3^2 \quad (x_2 = 0,22) \\
 Y_2 &= -3,02 + 11,76 \cdot x_2 + 3,66 \cdot x_3 - 15 \cdot x_2^2 - 2,29 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,49 \cdot x_3^2 \quad (x_1 = 0,1 \text{ Вт/см}^3)
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

Таблица 4.13 – Матрица активного планирования эксперимента типа 2^3 для оценки электромагнитной безопасности коаксиального резонатора с перфорированным основанием

№	Варьируемые параметры						Критерии оптимизации	
	Удельная мощность генератора, Вт/см ³		Коэффициент живого сечения		Толщина экранящего корпуса, мм		Мощность потока излучений, мкВт/см ²	Допустимая продолжительность работы, ч
	X_1	P_{y0}	X_2	k	X_3	d	$Y_1(P_{общ.})$	$Y_2(\tau)$
1	+	0,195	+	0,4	+	4	420	2,5
2	+	0,195	-	0,04	-	2	400	2,6
3	-	0,05	+	0,4	-	2	390	2,65
4	-	0,05	-	0,04	+	4	140	4,1
5	0	0,1	0	0,22	0	3	160	3,9
6	-	0,05	0	0,22	0	3	120	4,5
7	+	0,15	0	0,22	0	3	200	3,4
8	0	0,1	-	0,04	0	3	170	3,6
9	0	0,1	+	0,4	0	3	220	3,3
10	0	0,1	0	0,22	-	2	200	3,4
11	0	0,1	0	0,22	+	4	190	3,5

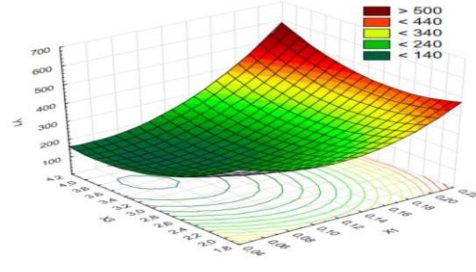
3D Surface Plot of Y1 against X1 and X2

$$P_{общ.} = 202,81 - 1823,11 \cdot x_1 - 131,49 \cdot x_2 + 15658,17 \cdot x_1^2 - 3942,65 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2002,7 \cdot x_2^2$$



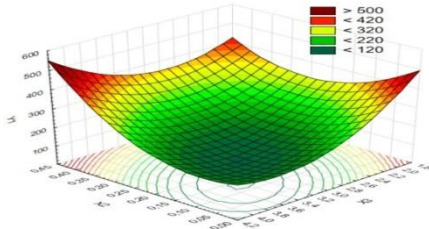
3D Surface Plot of Y1 against X1 and X3

$$P_{общ.} = 1260,97 - 5178,97 \cdot x_1 - 524,72 \cdot x_3 + 15658,17 \cdot x_1^2 + 829,49 \cdot x_1 \cdot x_3 + 64,89 \cdot x_3^2$$



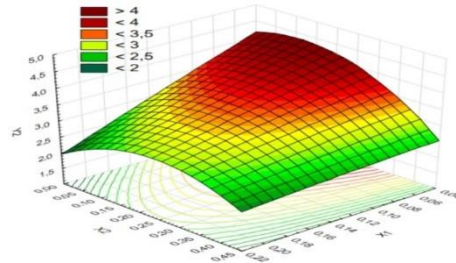
3D Surface Plot of Y1 against X2 and X3

$$P_{общ.} = 1419,03 - 2155,70 \cdot x_2 - 678,08 \cdot x_3 + 2826,51 \cdot x_2^2 + 402,78 \cdot x_2 \cdot x_3 + 91,59 \cdot x_3^2$$



3D Surface Plot of Y2 against X1 and X2

$$\tau = 4,62 - 11,45 \cdot x_1 + 2,43 \cdot x_2 - 3,1 \cdot x_1^2 + 23,23 \cdot x_1 \cdot x_2 - 15,49 \cdot x_2^2$$



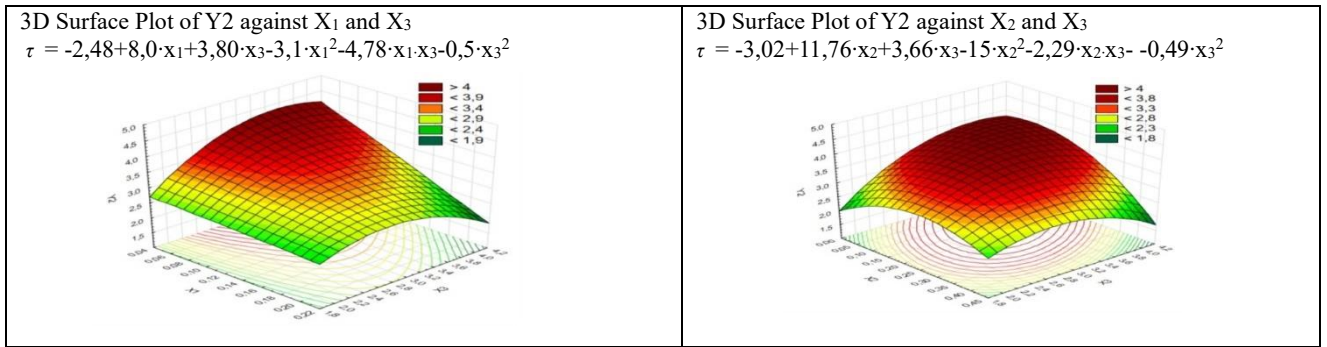


Рисунок 4.22 – Двумерные сечения в изолиниях и поверхности откликов трехфакторных моделей оценки электромагнитной безопасности коаксиального резонатора с перфорированным кольцевым основанием процесса разогрева коровьего молока

Результаты исследования регрессионных моделей (рис. 4.22) показывают, что, если коаксиальный резонатор выполнен из алюминия, толщиной 3 мм, при удельной мощности $0,1 \text{ Вт/см}^3$ и коэффициенте живого сечения перфорации кольцевого основания коаксиального резонатора $0,22$, мощность потока излучений составляет 160 мВт/см^2 . При таком уровне можно обслуживать установку в сутки не более 3-4 часов.

4.3.2 Описание принципиальной электрической схемы управления СВЧ-размораживателем непрерывно-поточного действия с двумя резонаторами

Принципиальная электрическая схема управления СВЧ-размораживателем с двумя резонаторами приведена на рис. 4.23-4.25.

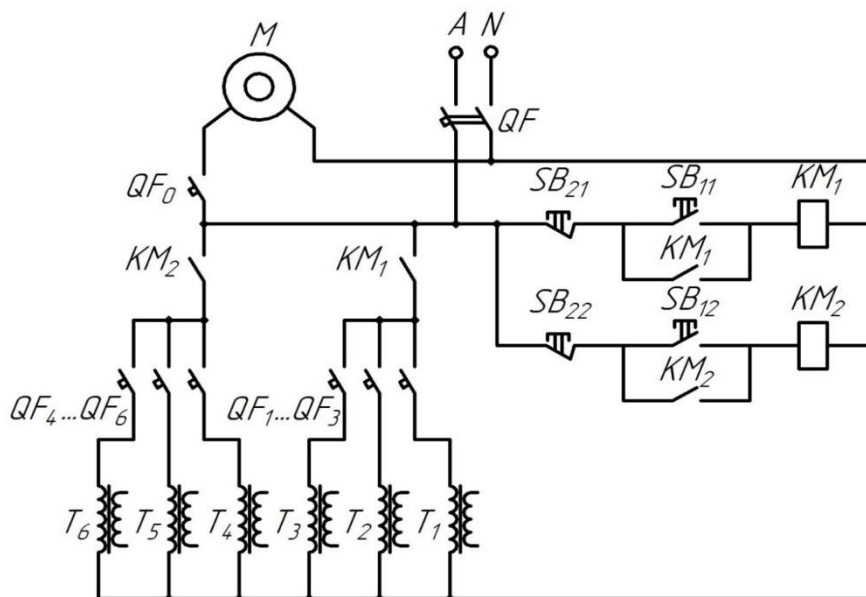


Рисунок 4.23 – Принципиальная электрическая схема управления магнетронными блоками СВЧ-размораживателя с двумя резонаторами

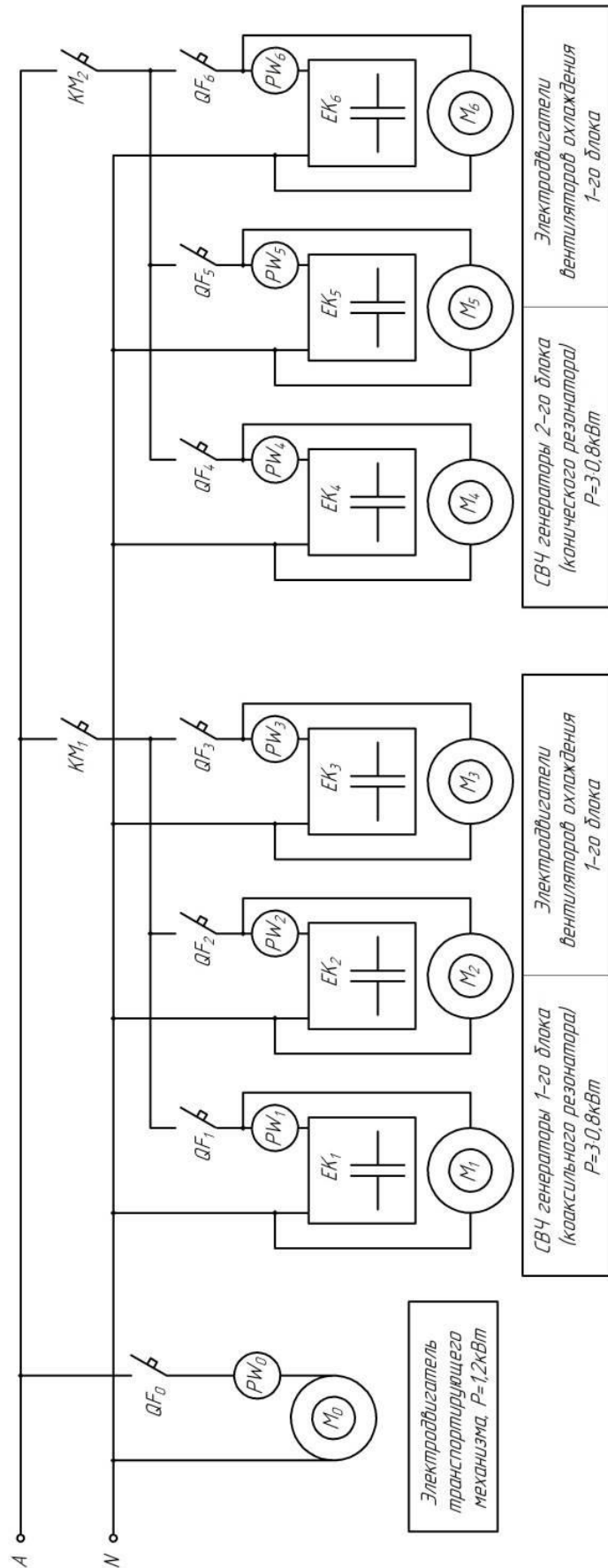


Рисунок 4.24 – Принципиальная электрическая схема управления СВЧ-размораживателя с двумя резонаторами, шестью генераторами для размораживания и разогрева молока животных

Она предусматривает управление: электроприводом (М) для транспортирования контейнеров для пластиковых бутылок с замороженным сыром; электродвигателями шести вентиляторов (М1-М6); шестью СВЧ генераторами (ЕК1-ЕК6). В цепи управления предусмотрены датчики входной и выходной температуры сырья, датчик уровня жидкого молока SQ1. Предусмотрены сигнальные лампы. Включение и выключение блоков генераторов (два блока по три генератора) осуществляется через соответствующие магнитные пускатели КМ1 и КМ2. Включение и выключение каждого генератора осуществляется соответствующими автоматическими выключателями QF1 – QF6. Т. е. подача напряжения на первичные обмотки высоковольтных трансформаторов осуществляется через эти автоматические выключатели.

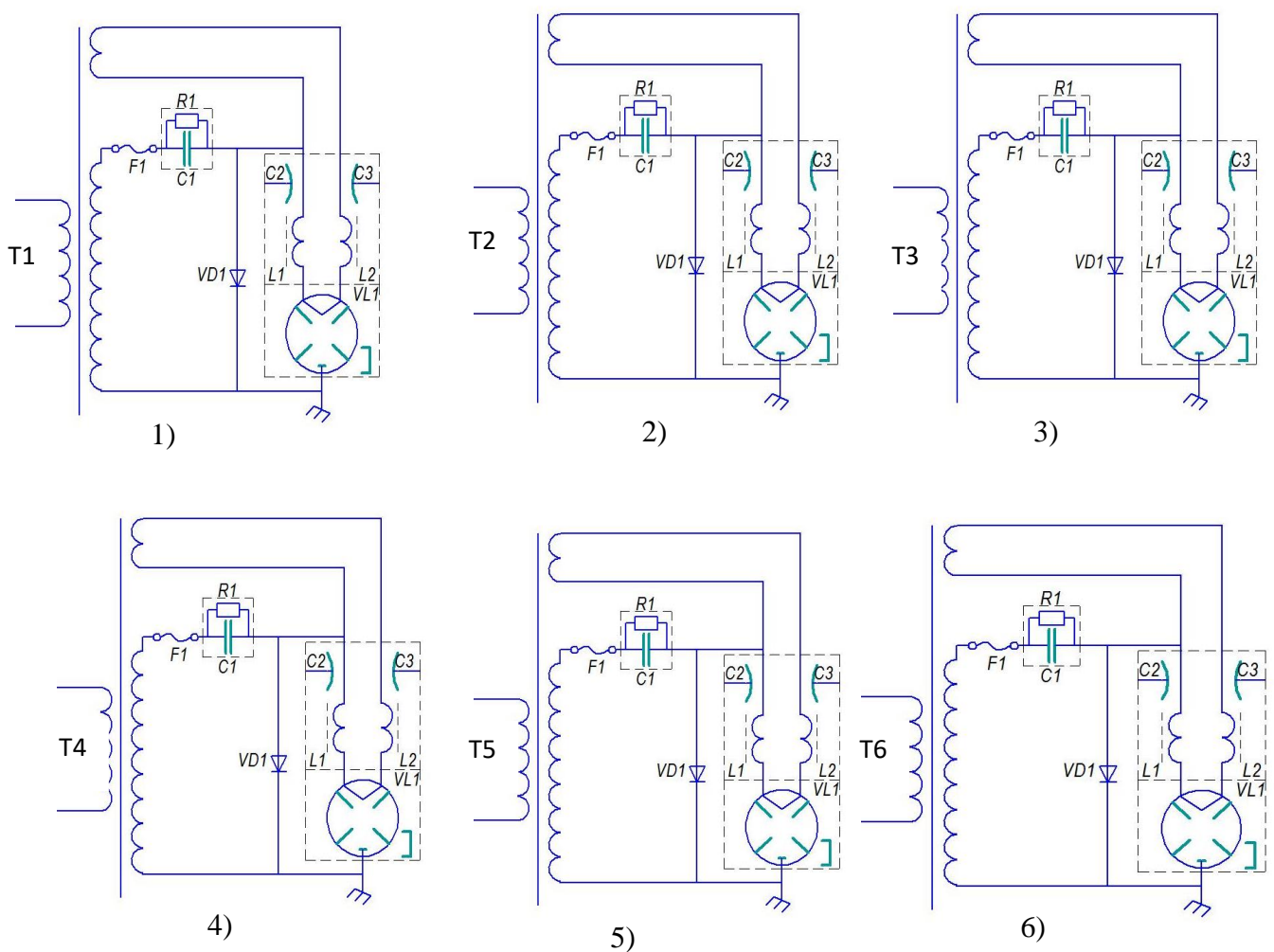


Рисунок 4.25 – Электрическая схема подсоединения элементов генераторных блоков

Предусмотрены сигнальные лампы. Включение и выключение блоков генераторов (два блока по три генератора) осуществляется через соответствующие магнитные пускатели КМ1 и КМ2. Включение и выключение каждого генератора осуществляется соответствующими автоматическими выключателями QF1 – QF6. Т. е. подача напряжения на первичные обмотки высоковольтных трансформаторов осуществляется через эти автоматические выключатели.

Выходную мощность СВЧ-размораживателя измеряли в соответствии приведенной структурной схемой (рис. 4.26).

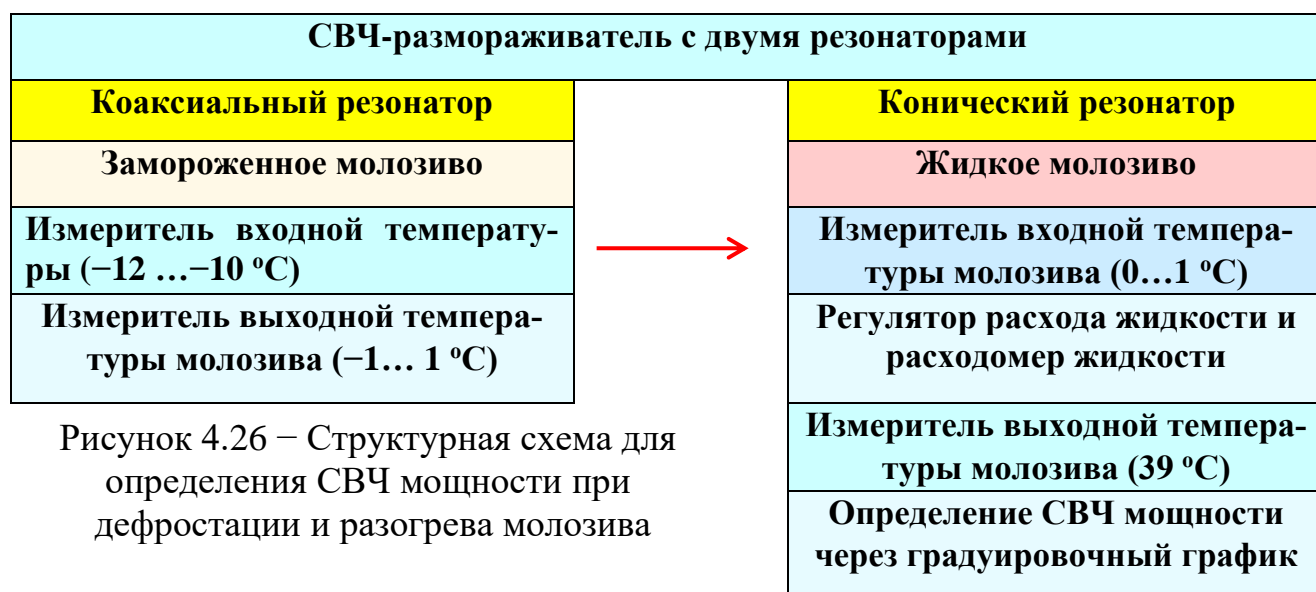


Рисунок 4.26 – Структурная схема для определения СВЧ мощности при дефростации и разогрева молозива

4.3.3 Апробация СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных в производственных условиях

Апробация двухрезонаторного СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива проведена в производственных условиях ООО «АП Княгининское» (Нижегородская обл., Княгининский район,



г. Княгинино) (рис. 4.27-4.29).



Рисунок 4.27– Производственные условия ООО «АП Княгининское»: а) внешний вид коровника (общее поголовье 860 коров), б) внутренний вид коровника, в) хранение замороженного молозива в морозилке



Рисунок 4.28 – Процесс выпаивание теленка размороженным и разогретым молозивом через дренчерный зонд

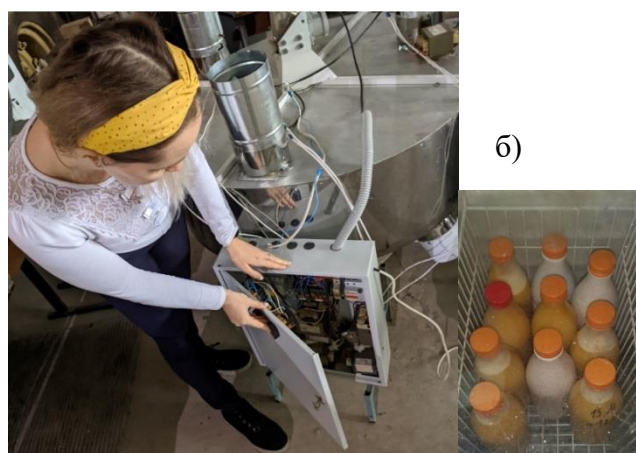


Рисунок 4.29 – Разработанный двух-резонаторный СВЧ-размораживатель: а) управление технологическими процессами; б) замороженное в пластиковых бутылках молозиво

Результаты экспериментального исследования продолжительности дефростации и разогрева молозива жирностью 6,5 %.

Для проведения исследований молозиво обрабатывали в режимах, указанных в табл. 4.14 а и 4.14 б. Результаты экспериментальных данных дефростации и разогрева молозива представлены в табл. 4.15.

Таблица 4.14 а – Результаты исследования продолжительности размораживания и разогрева молозива первого удоя





Характеристики процесса 	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
		контроль – размораживание и разогрев на водяной бане температурой 50 °С, без поворотного механизма (базовый размораживатель «Юником-плюс»)	размораживание и разогрев при мощности СВЧ генератора 400 Вт
Мощность СВЧ генератора, Вт	-	400	850
Масса замороженного молозива, г	100	100	100
Продолжительность размораживания, мин.	45	1,5	1,3
Температура размороженного молозива, °С	39	39	39

Таблица 4.14 б – Результаты исследования продолжительности размораживания и разогрева молозива первого удоя

Характеристики процесса	Первый удой (отел 16.10.2021)			Второй удой		
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
	контроль - размораживание и разогрев (базовый размораживатель «Юником-плюс»)	размораживание и разогрев при мощности СВЧ генератора 400 Вт	размораживание и разогрев при мощности СВЧ генератора 850 Вт	контроль - размораживание и разогрев (базовый размораживатель «Юником-плюс»)	размораживание и разогрев при мощности СВЧ генератора 400 Вт	размораживание и разогрев при мощности СВЧ генератора 850 Вт
Мощность СВЧ генератора, Вт	-	400	850		400	850
Масса замороженного молозива, г	100	100	100	100	100	100
Продолжительность, мин	45	1,5	1,3	55	1,6	1,4
Температура размороженного молозива, °С	39	39	39	39	39	39

Таблица 4.15 – Результаты экспериментальных данных дефростации и разогрева молозива

τ , с	T , °С	Масса молозива г	Масса растопленного молозива, г	Масса добавленного за- мороженного молозива, г
<i>дефростация</i>				
0	-10	 250	17	17
40	11	 250	80	80
60	12,1	250	100	100
70	16	250	140	140
90	19	250	160	160
100	29	250	250	250
<i>разогрев</i>				
120		250	-	0
140	33	250	-	0
150	35	250	-	0
160	37	250	-	0
170	 39	250	-	0

Хронометраж *разогрева молозива* в ЭМПСВЧ, при удельной мощности генератора 3,4 Вт/г приведен на рис. 4.30.

Фото молозива, 3,5 °С	Масса, г	$T_{\text{начальная}}$, °С	$T_{\text{конечная}}$, °С	Фото молозива, 39 °С
		35 	39 	 

Рисунок 4.30 – Хронометраж разогрева *молозива* в ЭМПСВЧ, при удельной мощности генератора 3,4 Вт/г

Динамика нагрева молозива, при удельной мощности генератора 0,8 Вт/г, представлена на рис. 4.31, 4.32.

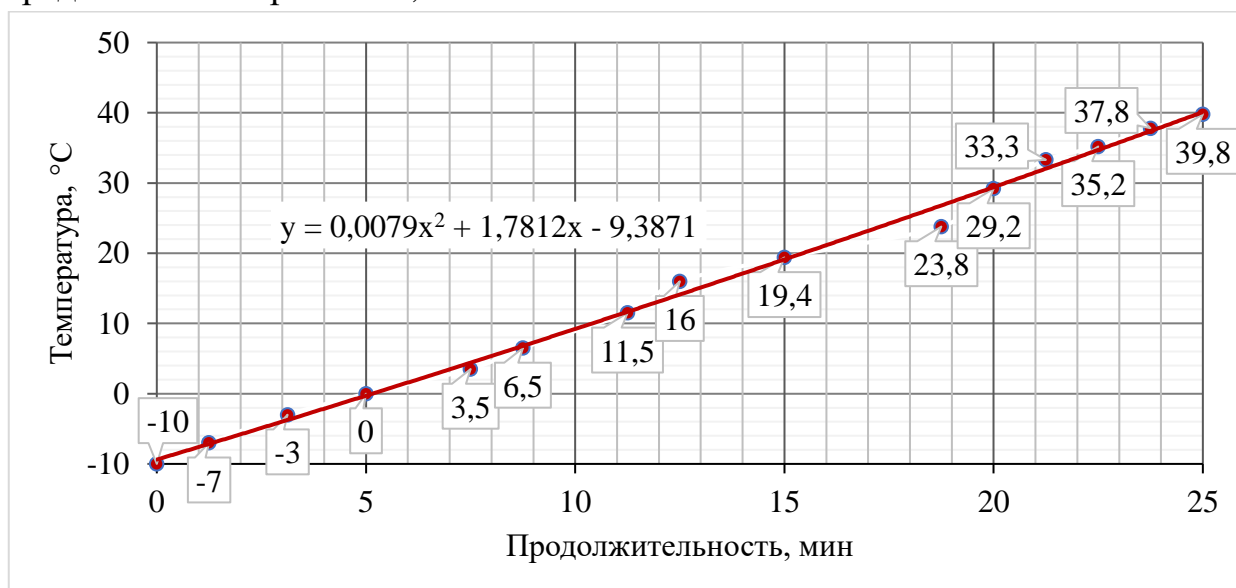


Рисунок 4.31 – Динамика нагрева (*размораживания и разогрева*) *молозива*, при удельной мощности генератора 0,8 Вт/г

Молозиво размораживали и разогревали от -10 °C до 39 °C при мощности СВЧ генератора 2,4 кВт; удельной мощности СВЧ генератора – 0,8 Вт/г; напряженности ЭП в коаксиальном резонаторе – 1,2 кВ/см; напряженности ЭП в коническом резонаторе – 3,8 кВ/см; за 25,7 мин.

Производительность СВЧ-размораживателя с одним резонатором составляет 15 л/ч.

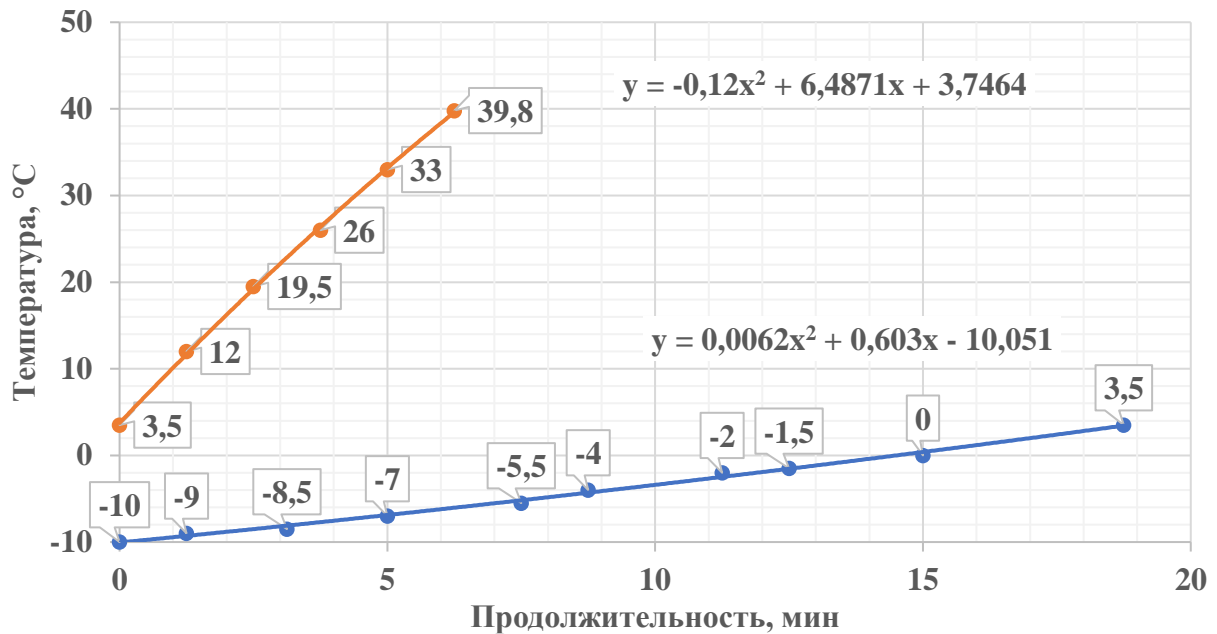


Рисунок 4.32 – Динамика нагрева *замороженного* (красным), и *размороженного и разогретого* *молозива* (синим), при удельной мощности генератора 0,8 Вт/г

На ООО «СВВ» проведены эксперименты по определению электрофизических параметров воды в СВЧ диапазоне волноводным методом (раздел 1, рис. 1.39). Современная измерительная аппаратура построена на базе прямоугольного волновода, в котором распространяется волна H_{10} (рис. 4.33). В волноводную секцию, закрытую тонкой пленкой, наливается вода, подвергается воздействию ЭПМСВЧ.



Рисунок 4.33 – Исследования для определения диэлектрической проницаемости сыра волноводным методом

Более подробно эксперимент описан в разделе 1.3. Экспериментальные данные позволяют подтвердить теоретические исследования о том, что при разогреве молозива от 0 до 40 °C фактор диэлектрических потерь молозива падает, т.е. поглощаемая мощность и скорость нагрева жидкого сыра с увеличением температуры уменьшается.



Положительные результаты экспериментальных исследований в производственных условиях подтверждены актами апробирования (приложение 2).

4.4 Биохимическая, физико-химическая, микробиологическая оценка молозива животных контрольного образца и образца после обработки электромагнитным полем сверхвысокой частоты

Качество молозива и его биологическая активность варьируется в зависимости от удоя [133, 275] и от возраста коровы. Для проведения биохимической, физико-химической оценки качества молозива коровьего и козьего были проведены лабораторные исследования (29.10.2021, 24.11.2021, 13.12.2021) образцов – молозива животных контрольного образца и образца после обработки электромагнитным полем сверхвысокой частоты. Отбор и подготовка проб к анализу – по ГОСТ 26809-1 в части молока, ГОСТ 26669, ГОСТ 31904, ГОСТ 32164. Определение температуры – по ГОСТ 26754. Результаты исследования приведены в табл. 4.17.

Молозиво коровье.

Таблица 4.17 – Результаты исследования дефростации и разогрева молозива коровьего

Характеристики процесса	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
	контроль – размораживание и разогрев на водяной бане температурой 50 °С, без поворотного механизма (базовый размораживатель Юником-плюс) 	размораживание и разогрев в ЭМП-СВЧ (удельная мощность 4 Вт/г) 	размораживание и разогрев в ЭМПСВЧ (удельная мощность 8,5 Вт/г)	размораживание и разогрев на воздухе температурой 23 °С
Мощность СВЧ генератора, Вт	-	400	850	-
Масса замороженного молозива, г	100	100	100	100
	Молозиво (1 удой)			Молозиво (2 удой)
Продолжительность	45	1,5	1,2	120

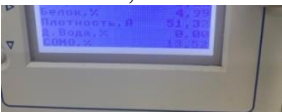





размораживания, мин.				
Температура молозива, °С	39	39	39	39

Биохимическая, физико-химическая оценка качества молозива коровьего (29.10.2021) [75, 115, 240, 241]. Проведено четыре опыта в трехкратной повторности. Результаты опытов 3 и 4 представлены в Приложении 5.

Получены следующие результаты биохимического, физико-химического исследования.

Опыт 1. а) с использованием прибора Клевер-2М (табл. 4.17).

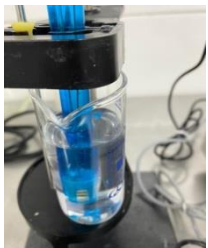

Таблица 4.18 – Результаты биохимического, физико-химического исследования молозива коровьего с использованием прибора Клевер-2М (опыт 1)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
М.д. жира, %	3,85	3,85	3,85	3,85
М.д. белка, %	4,99 	4,97 	4,99	4,983
Плотность, кг/м ³	1051,32	1051,10	1051,27	1051,23
Содержание иммуноглобулинов по плотности (см. табл. 1.4), г/л	55	55	55	55
Добавл. воды, %	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМО, %	13,52	13,47	13,51	13,5
СМО, %	14,78 	14,75 	14,77	14,76
СГ, %	0,00	0,00	0,00	0,00
М.д. лактозы, %	7,37	7,34	7,36	7,35
М.д. соли, %	1,16	1,16	1,16	1,16
Т, °С (при исследовании)	23,98	26,15	26,02	25,38
Т замерзания, °С	 -0,4036	 -0,4007	-0,403	-0,4024

Примечание. М.д – массовая доля; СМО – сухой молочный остаток; СОМО – сухой обезжиренный остаток молока; СГ – степень гомогенизации

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (табл. 4.18).

Таблица 4.19 – Результаты биохимического, физико-химического исследования молозива коровьего с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (опыт 1)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
Активная кислотность (рН)	6,24 	6,23 	6,24	6,236
Т, °С	24,19	24,92	24,83	24,64
Кислотность, °Т	25,69	25,59	25,61	25,63

в) с использованием колострометра (опыт 1) (рис. 4.34). Температура мо-



лозива составила 22 °С. Определили качество молозива, используя для этого цветовую шкалу, расположенную внутри прибора в той части, которая находится на поверхности.

Рисунок 4.34 – Колострометр (производство Дания, Франция)

Цвет – зеленый, молозиво высокого качества, безопасный продукт, содержит максимальный уровень иммуноглобулинов.

Опыт 2. а) с использованием прибора Клевер – 2М (таблица 4.19).

Таблица 4.20 – Результаты биохимического, физико-химического исследования молозива коровьего с использованием прибора Клевер-2М (опыт 2)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
М.д. жира, %	3,79	3,78	3,78	3,783
М.д. белка, %	5,47	5,47	5,48	5,473
Плотность, кг/м ³	1057,07	1057,09	1057,19	10577,11
Содержание иммуноглобулинов, г/л	55	55	55	55
Добавл. воды, %	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМО, %	14,81	14,82	14,84	14,82
СМО, %	15,60	15,59	15,62	15,60
СГ, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg L, %	8,07	8,08	8,09	8,08
Mg C, %	1,27	1,27	1,28	1,273
Т, °С	24,62	26,32	26,73	25,89
Т заморзания, °С	-0,4761	-0,4762	-0,4776	-0,4766

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (табл. 4.20).

Таблица 4.21 – Результаты биохимического, физико-химического исследования молозива коровьего с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (опыт 2)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
рН	6,23	6,23	6,22	6,226
Т, °С	24,43	24,21	24,65	24,43
Кислотность, °Т	25,90	25,92	25,86	25,89

в) с использованием колострометра (опыт 2).

Результат – цветовая шкала зеленого цвета.

Результаты физико-химических исследований *молозива коровьего* подтверждены протоколами испытаний (приложение 5).

Микробиологическая оценка качества молозива коровьего

Для проведения микробиологической оценки качества молозива коровьего [124, 125] были проведены лабораторные испытания (29.10.2021 г.). Патогенные микроорганизмы не обнаружены.

Показатели качества и безопасности молозива животных контрольного образца и образца после обработки электромагнитным полем сверхвысокой частоты сохранены и соответствуют нормативным документам (таблицы 4.21-4.23), результаты исследований подтверждены протоколами испытаний (приложение 5).

Таблица 4.22 – Результаты микробиологического исследования *молозива коровьего*

№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив, ПДУ	Нормативный документ
1 удой, опыт 1					
1	КМАФАиМ	КОЕ/см ³	2,5х10 ⁴	5х10 ⁵	ГОСТ 32901-2014
2	Патогенные микроорганизмы	г	не обнаружено	не обнаружено	ГОСТ 31659-2012
1 удой, опыт 2					
1	КМАФАиМ	КОЕ/см ³	1,7х10 ⁴	5х10 ⁵	ГОСТ 32901-2014
2	Патогенные микроорганизмы	г	не обнаружено	не обнаружено	ГОСТ 31659-2012

Также результаты микробиологического исследования *молозива коровьего* ((1 удой, опыт 3) и (2 удой, опыт 4)) представлены в приложении 5.

Результаты микробиологического исследования *молозива коровьего* также представлены и подтверждены протоколами испытаний в приложении 5.

Молозиво козье.

Таблица 4.23 – Результаты проведения эксперимента по размораживанию и разогреву *молозива животных (коровьего и козьего)*

Характеристики процесса	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
	контроль – базовый размораживатель (дефростация и разогрев)	дефростация и разогрев в ЭМПСВЧ 4 Вт/г)	дефростация и разогрев в ЭМПСВЧ 8,5 Вт/г)	размораживание и разогрев на воздухе температурой 23 °С
Мощность СВЧ генератора, Вт	-	400	850	-
Масса замороженного <i>молозива</i> , г	100	100	100	100
	Молозиво козье (1 удой)			Молозиво козье (2 удой)
Продолжительность размораживания, мин.	42	1,2	1	115
Температура размороженного <i>молозива</i> , °С	39	39	39	39

*Биохимическая, физико-химическая оценка качества *молозива козьего* (24.11.2021).* Получены следующие результаты биохимического, физико-химического исследования (четыре опыта в трехкратной повторности).

Опыт 1. а) с использованием прибора Клевер-2М (табл. 4.24).

Таблица 4.24 – Результаты биохимического, физико-химического исследования *молозива козьего* с использованием прибора Клевер-2М (опыт 1)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
М.д. жира, %	3,88	3,88	3,88	3,88
М.д. белка, %	3,72	3,72	3,70	3,71
Плотность, кг/м ³	1051,29	1051,30	1051,23	1051,27
Содержание иммуноглобулинов, г/л	52, хорошее по качеству <i>молозиво</i>			
Добавл. воды, %	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМО, %	9,14	9,14	9,12	9,13
СМО, %	13,08	13,08	13,04	13,07
СГ, %	0,00	0,00	0,00	0,00
М.д. лактозы, %	4,60	4,60	4,60	4,60

М.д. соли, %	0,79	0,79	0,78	0,79
T, °C	22,44	22,90	23,90	23,08
T замерзания, °C	-0,5519	-0,5520	-0,5513	-0,5517

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (табл. 4.25).
Таблица 4.25 – Результаты биохимического, физико-химического исследования с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (опыт 1)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
рН	6,70	6,70	6,71	6,70
T, °C	22,07	22,30	23,73	22,7
Кислотность, °Т	16,60	16,57	16,61	16,59

в) с использованием колострометра (опыт 1). Результат – цветовая шкала зеленого цвета.

Опыт 2. а) с использованием прибора Клевер – 2М (табл. 4.26).

Таблица 4.26 – Результаты биохимического, физико-химического исследования *молозива козьего* с использованием прибора Клевер-2М (опыт 2)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
М.д. жира, %	3,85	3,85	3,85	3,85
М.д. белка, %	3,73	3,74	3,73	3,73
Плотность, кг/м ³	1051,35	1051,38	1051,36	1051,36
Содержание иммуноглобулинов, г/л	52, хорошее по качеству молозиво			
Добавл. воды, %	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМО, %	9,15	9,16	9,15	9,15
СМО, %	13,06	13,07	13,06	13,06
СГ, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg L, %	4,60	4,60	4,60	4,60
Mg C, %	0,79	0,79	0,79	0,79
T, °C	24,67	25,18	26,20	25,35
T замерзания, °C	-0,5520	-0,5521	-0,5520	-0,5520

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (табл. 4.27).
Таблица 4.27 – Результаты биохимического, физико-химического исследования *молозива козьего* с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (опыт 2)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
рН	6,71	6,71	6,71	6,71
T, °C	24,54	24,53	25,60	24,89
Кислотность, °Т	16,05	16,47	16,50	16,34

в) с использованием колострометра (опыт 2).

Результат – цветовая шкала зеленого цвета. Результаты биохимического, физико-химического исследования молозива козьего (опыт 3, опыт 4) представлены в приложении 5. Результаты биохимических, физико-химических исследований *молозива козьего* подтверждены протоколами испытаний (приложение 5).

Изменения результатов биохимических, физико-химических исследований после дефростации и разогрева молозива животных в базовом размораживателе и в ЭМПСВЧ представлен в таблице 4.28.

Таблица 4.28 – Результаты биохимических, физико-химических исследований после дефростации и разогрева в базовом и разработанном СВЧ-размораживателе

Исследуемые показатели	Молозиво <i>коровье</i>			Молозиво <i>козье</i>		
	до замораживания (свежесыроденное молозиво в первые 6 ч.)	дефростация и разогрев в базовом размораживателе	дефростация и разогрев в ЭМПСВЧ	до замораживания (свежесыроденное молозиво в первые 6 ч.)	дефростация и разогрев в базовом размораживателе	дефростация и разогрев в ЭМПСВЧ
М.д. (массовая доля) жира, %	3,85	3,85	3,78	3,85	3,68	3,85
М.д. белка, %	5,473	4,983	5,473	3,73	3,71	3,73
Плотность, кг/м ³	1051,25	1051,23	1055,11	1051,38	1051,27	1051,36
СОМО (сухой обезжиренный остаток молока), %	15,1	13,5	14,82	9,15	9,13	9,15
СМО (сухой молочный остаток), %	15,76	14,76	15,60	13,06	13,07	13,06
СГ (степень гомогенизации), %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
М.д. лактозы, %	8,1	7,35	8,08	4,60	4,60	4,60
М.д. соли, %	1,26	1,16	1,273	0,79	0,79	0,79
Температура, °С (при исследовании)	30	25,38	25,89	25,35	23,08	25,35
Температура замерзания, °С	-0,42	-0,402	-0,47	-0,55	-0,551 7	-0,552
Активная кислотность (рН)	6,21	6,23	6,23	6,71	6,70	6,71
Кислотность, °Т	25,1	25,63	25,89	16,34	16,59	16,34

Микробиологическая оценка качества молозива козьего (13.12.2021).

Патогенные микроорганизмы не обнаружены. Показатели качества и безопасности молозива (КМАФАиМ) контрольного образца и образца после обработки ЭМПСВЧ сохранены и соответствуют нормативным документам [150, 190, 224, 256] (таблица 4.29, 4.30).

Таблица 4.29 – Результаты микробиологического исследования
молозива козьего (опыт 1)

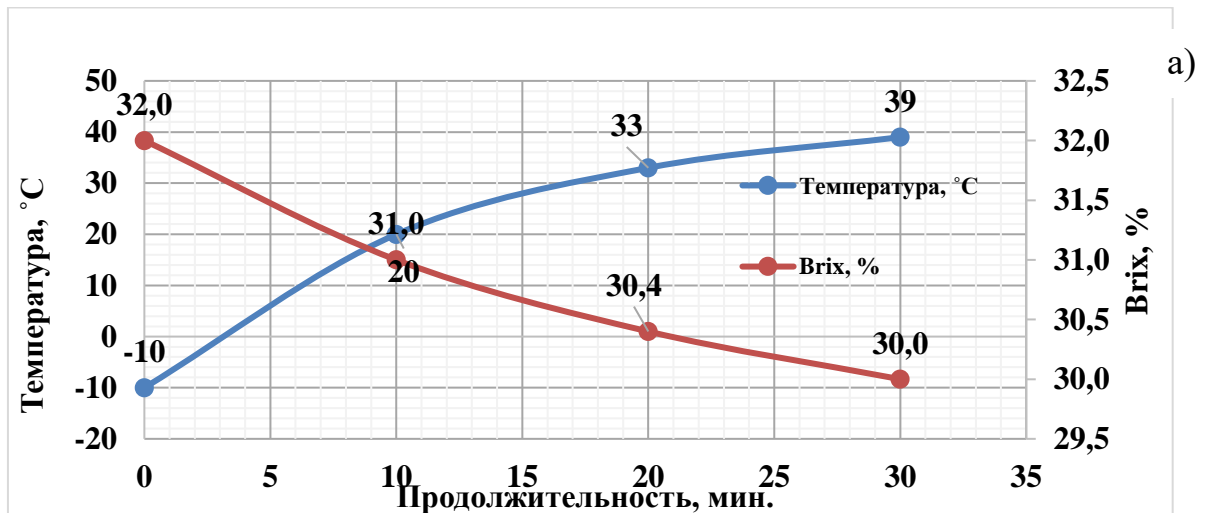
№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив, ПДУ	Нормативный документ
1	КМАФАиМ	КОЕ/см ³	1,1x10 ⁴	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014
2	Патогенные микроорганизмы	г	не обнаружено	не обнаружено	ГОСТ 31659-2012

Таблица 4.30 – Результаты микробиологического исследования
молозива козьего (опыт 2)

№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив, ПДУ	Нормативный документ
1	КМАФАиМ	КОЕ/см ³	1,2x10 ⁴	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014
2	Патогенные микроорганизмы	г	не обнаружено	не обнаружено	ГОСТ 31659-2012

Также результаты микробиологического исследования *молозива коровьего* (опыт 3, опыт 4) представлены в приложении 5.

Определено содержание иммуноглобулинов IgG в молозиве свежесвыдоенном коровьем (черно-пестрая, айрширская, голштинская породы) и козьем, с помощью рефрактометра ИРФ-454Б, примем это же содержание иммуноглобулинов при замораживании до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Молозиво животных заморожено в бутылках ПЭТ объемом 0,5 л, при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, срок хранения 30 дней, разогрев до температуры $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 4.34). Затем опять определено содержание иммуноглобулинов IgG в молозиве коровьем и козьем (рис. 4.35).



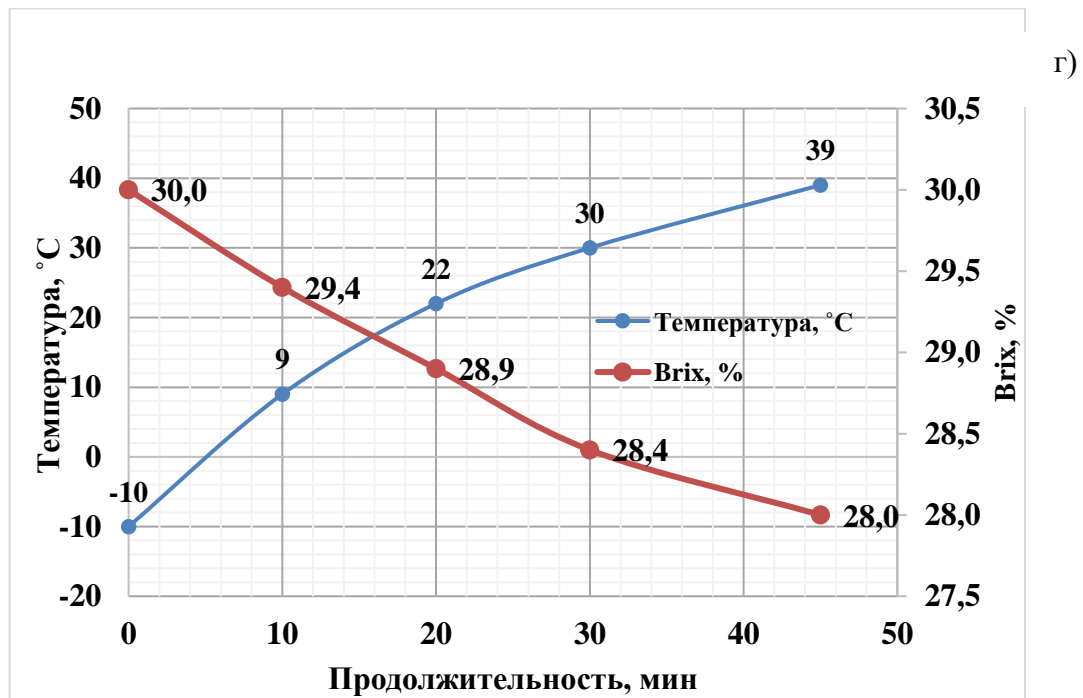
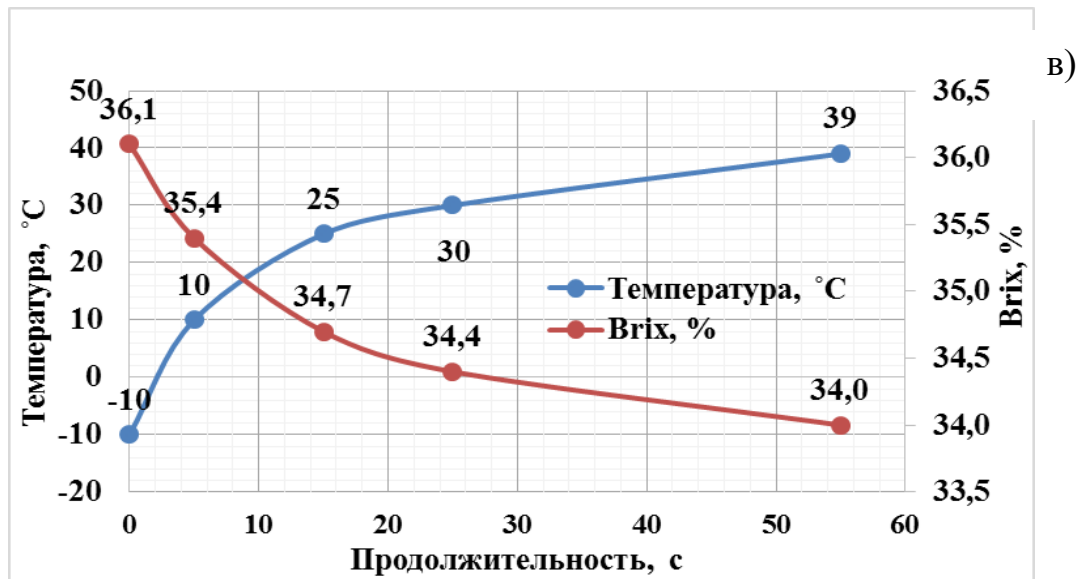
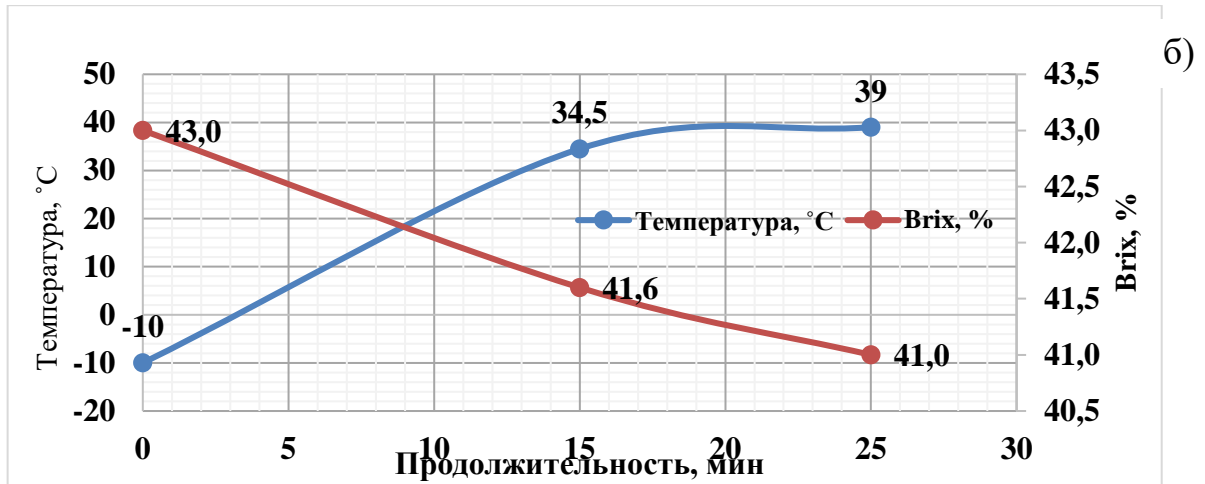


Рисунок 4.34 – Зависимость содержания иммуноглобулинов IgG в молозиве животных до и после дефростации и разогрева в ЭМП СВЧ перед выпойкой телят, % **Brix**: а) в коровьем молозиве черно-пестрой породы; б) в коровьем молозиве айрширской породы; в) в коровьем молозиве голштинской породы; г) в козьем молозиве

Итак, содержание иммуноглобулинов в молозиве животных после обработки ЭМПСВЧ в среднем снизилось всего на 2 % Brix (3,8 г/л IgG), следовательно, кормовая ценность молозива животных сохраняется.

Содержание иммуноглобулинов в молозиве коровьем черно-пестрой породы после размораживания и разогрева в ЭМПСВЧ составило 30 % по шкале Brix (рис. 4.34, а), что соответствует 57 г/л IgG (рис. 4.35); в молозиве коровьем

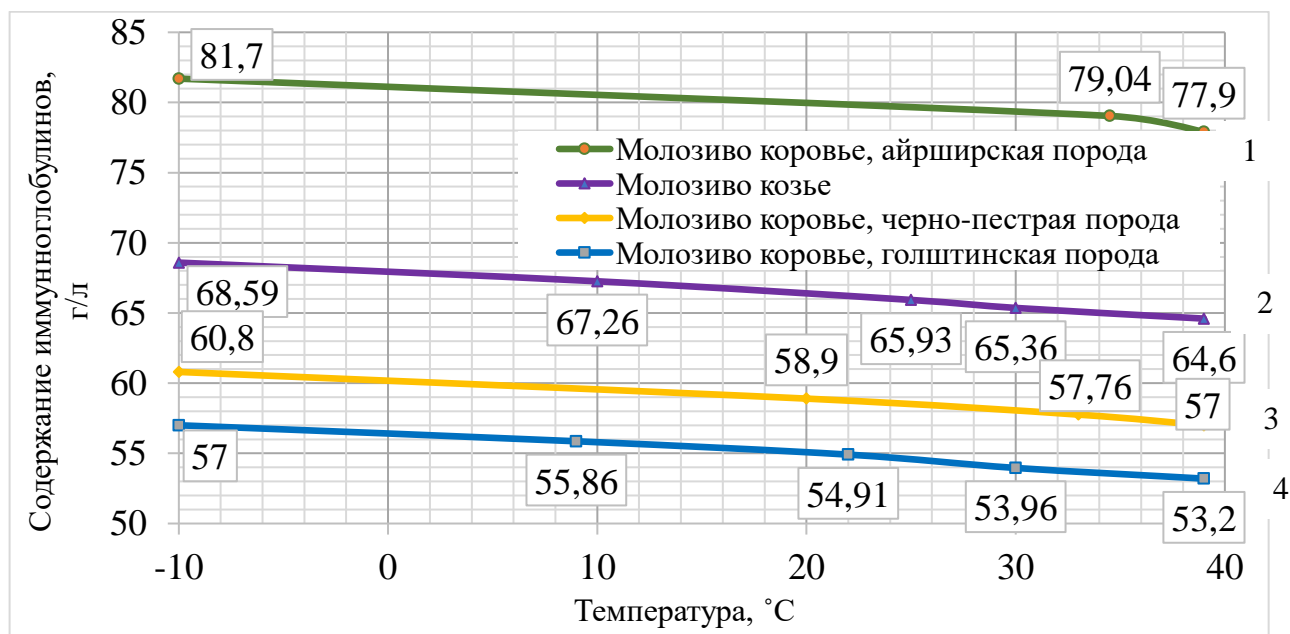


Рисунок 4.35 – Изменение содержания иммуноглобулинов (г/л) в молозиве при дефростации и разогреве в ЭМПСВЧ перед выпойкой телят: 1 – молозиво коровье айрширской породы, 2 – молозиво козье, 3 – молозиво коровье черно-пестрой породы, 4 – молозиво коровье голштинской породы

айрширской породы – 41 % Brix (рис. 4.34, б), что соответствует 77,9 г/л IgG (рис. 4.35); в молозиве коровьем голштинской породы – 28 % Brix (рис. 4.34, в), что соответствует 53,2 г/л IgG (рис. 4.35); в молозиве козьем – 34 % Brix (рис. 4.34, г), что соответствует 64,6 г/л IgG (рис. 4.35).

4.5 Выводы по разделу

Приведен хронометраж изготовления основных узлов образца установки для дефростации и разогрева молозива животных и представлен созданный СВЧ-размораживатель с технической характеристикой. Разработана принци-

альная электрическая схема управления технологическими процессами дефростации и разогрева молозива животных.

Приведены исследования процессов дефростации и разогрева коровьего молозива с помощью изготовленного образца СВЧ-размораживателя с коаксиальным резонатором, состыкованным с коническим резонатором, в том числе результаты исследования динамики эндогенного нагрева коровьего молозива при разных напряженностях электрического поля.

Получены регрессионные модели, описывающие взаимосвязь воздействующих факторов на критерии оптимизации, на основании которых выявлены эффективные режимы дефростации и разогрева молозива. Результаты анализа регрессионных моделей и испытание СВЧ-размораживателя в условиях фермерских хозяйств показали, что эффективные режимы *дефростации* молозива от -4 до 1 °С в ЭМПСВЧ: удельная мощность СВЧ генератора – $0,8$ Вт/г; продолжительность воздействия ЭМПСВЧ в коаксиальном резонаторе – $17,7$ мин.; мощность СВЧ генераторов – $2,4$ кВт; напряженность – ЭП $1,2$ кВ/см; эффективные режимы *разогрева* молозива от 1 до 39 °С в ЭМПСВЧ: удельная мощность СВЧ генератора – $0,8$ Вт/г; продолжительность воздействия ЭМПСВЧ в коническом резонаторе – 8 мин.; мощность СВЧ генераторов – $2,4$ кВт; напряженность ЭП – $3,8$ кВ/см; производительность СВЧ установки со сдвоенными резонаторами – 30 кг/ч, продолжительность воздействия ЭМПСВЧ – $25,7$ мин., энергетические затраты на дефростацию и разогрев – $0,176$ кВт·ч/кг.

Получены регрессионные модели для оценки электромагнитной безопасности коаксиального резонатора с перфорированным основанием. Результаты исследования регрессионных моделей показывают, что, если коаксиальный резонатор выполнен из алюминия, толщиной 3 мм, при удельной мощности $0,1$ Вт/см³ и живом сечении перфорации кольцевого основания коаксиального резонатора $0,22$, мощность потока излучений выше допустимого уровня, поэтому можно обслуживать СВЧ-размораживатель в сутки не более $3-4$ часов.

Проведена оценка органолептических показателей опытного и контрольного образцов молозива животных. Результаты исследования свидетельствуют,

что органолептические показатели опытного образца выше на 5 баллов от показателей контрольного образца.

Приведены результаты биохимической, физико-химической, микробиологической оценки коровьего и козьего молозива контрольного образца (дефростация и разогрев на водяной бане температурой 50 °С (опыт 1), дефростация и разогрев на воздухе температурой 23 °С (опыт 4)) и опытного образца после воздействия ЭМП СВЧ разной удельной мощности генератора (опыт 2,3).

Массовая доля жира *коровьего молозива* при проведении опыта 1 составляла 3,85 %, при проведении 2 опыта – 3,783 %; массовая доля белка контрольного образца составляет 4,983 %, опытного образца после обработки ЭМП СВЧ – 5,473 %; плотность контрольного образца – 51,23 %, опытного – 57,11 %; СОМО контрольного образца – 13,5 %, опытного – 14,82 %; СМО контрольного образца – 14,76 %, опытного – 15,60 %; массовая доля лактозы контрольного образца – 7,35 %, опытного образца – 8,08 %; температура замерзания контрольного образца составляет –0,402 °С, опытного – –0,477 °С; активная кислотность (рН) контрольного образца – 6,24, опытного – 6,23; кислотность контрольного образца – 25,63 °Т, опытного – 25,89 °Т, цвет в колострометре во всех образцах зеленый.

Патогенные микроорганизмы в контрольном и опытном образцах *коровьего молозива* не обнаружены. Показатели качества и безопасности коровьего молозива (КМАФАиМ) контрольного образца ($2,5 \times 10^4$ КОЕ/см³) и опытного образца после обработки ЭМП СВЧ ($1,7 \times 10^4$ КОЕ/см³) сохранены, не превышают уровень ПДУ (5×10^5 КОЕ/см³), соответствуют нормативным документам.

Массовая доля жира *козьего молозива* контрольного образца составляет 3,88 %, опытного образца – 3,85 %; массовая доля белка контрольного образца – 3,71 %, опытного образца 3,73 %; плотность контрольного образца – 31,27 %, опытного образца – 31,36 %; СОМО контрольного образца – 9,13%, опытного образца – 9,15 %; СМО контрольного образца – 13,07 %, опытного образца – 13,06 %; массовая доля лактозы контрольного и опытного образцов – 4,6 %; температура замерзания контрольного образца составляет –0,5517 °С, опытного

образца составляет $-0,5520$ °С; активная кислотность контрольного образца – 6,70, опытного образца – 6,71; кислотность контрольного образца – 16,59 °Т, опытного образца – 16,34 °Т, цвет в колострометре во всех образцах зеленый.

Патогенные микроорганизмы в образцах *козьего молозива* не обнаружены. Показатели качества и безопасности козьего молозива (КМАФАиМ) контрольного образца ($1,1 \times 10^4$ КОЕ/см³) и опытного образца после обработки ЭМПСВЧ ($1,2 \times 10^4$ КОЕ/см³) сохранены, не превышают уровень ПДУ (5×10^5 КОЕ/см³), соответствуют нормативным документам.

Проведенные исследования микробиологических показателей коровьего и козьего молозива в лицензированном испытательном лабораторном центре ФГБОУ ВО «Чувашский ГАУ» показывают, что КМАФАиМ ниже ПДУ, патогенные микроорганизмы не обнаружены.

Подтверждены теоретические исследования о снижении количества иммуноглобулинов от продолжительности дефростации и разогрева. Подтверждены теоретические исследования о сохранении кормовой ценности, в том числе содержание иммуноглобулинов IgG. Содержание иммуноглобулинов в молозиве коровьем черно-пестрой породы после размораживания и разогрева в ЭМПСВЧ составило 30 % по шкале Brix, что соответствует 57 г/л IgG; в молозиве коровьем айрширской породы – 41 % Brix, что соответствует 77,9 г/л IgG; в молозиве коровьем голштинской породы – 28 % Brix, что соответствует 53,2 г/л IgG; в молозиве козьем – 34 % Brix, что соответствует 64,6 г/л IgG; качество молозива животных хорошее, содержание иммуноглобулинов IgG в молозиве животных после обработки ЭМПСВЧ в среднем снизилось на 2 % Brix (3,8 г/л).

Проведенные исследования органолептических, биохимических, физико-химических, микробиологических показателей коровьего и козьего молозива в лицензированных испытательном лабораторном центре и научно-исследовательской лаборатории по технологии молока и молочных продуктов ФГБОУ ВО «Чувашский ГАУ» показывают, что показатели качества молозива животных контрольного и проектного образцов до замораживания и после размораживания сохранены и соответствуют нормативным документам.

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ СВЧ-РАЗМОРАЖИВАТЕЛЯ МОЛОЗИВА ДЛЯ АГРОПРЕДПРИЯТИЯ

5.1 Экономическая эффективность применения СВЧ-размораживателя молозива непрерывно-поточного действия с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами

Экономическое обоснование эффективности применения разработанного СВЧ-размораживателя для агропредприятий представлено ниже [209].

Проведено сравнение эксплуатационных затрат на дефростацию и разогрев молозива животных проектной и базовой установок [85, 87].

1. Эксплуатационные расходы на дефростацию и разогрев молозива животных в СВЧ-размораживателе с двумя резонаторами и шестью генераторами за 1 месяц по проектному варианту



Рисунок 5.1 – СВЧ-размораживатель с состыкованными коаксиальным и коническим резонаторами

СВЧ-размораживатель (рис. 5.1) содержит:

- коаксиальный резонатор прямоугольного сечения без нижнего основания;
- по три магнетрона с волноводами и вентиляторами воздушного охлаждения на каждом резонаторе;
- конический резонатор с перфорированным основанием;
- 28 диэлектрических контейнеров для размещения пластиковых бутылок;
- шаровой кран на вершине конического резонатора;
- электропривод для передвижения отсеков.

Технические характеристики СВЧ-размораживателя представлены в табл. 5.1.

Преимущества СВЧ-размораживателя: удобная загрузка и выгрузка пластиковых бутылок; не требует фиксации тары; визуальный контроль работы через смотровое окно; равномерная дефростация (в электромагнитном поле бегущей волны) и разогрев молозива; плавное перемещение пластиковых бутылок с замороженным сырьем в кольцевом объеме коаксиального резонатора; исключение перегрева молозива; контроль температуры датчиком. Оптимальный объем порции молозива в пластиковых бутылках 1,0-1,5 л, это достаточный объем

для одного кормления телят. Температура разогретого молозива соответствует температуре свежесвыдоенного молозива 39 °С. *Примечание – повторное замораживание молозива не допускается.*

Таблица 5.1 – Технические характеристики СВЧ размораживателя для дефростации и разогрева коровьего молозива

Производительность, кг/ч	25-30
Потребляемая мощность СВЧ размораживателя, кВт	5,3
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,32
Мощность привода диэлектрического контейнера, кВт	0,18
Потребляемая мощность шести СВЧ генераторов, кВт	4,8
Удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев коровьего молозива, кВт·ч/кг	0,176

Технико-экономические расчеты проводили в соответствии с методикой, предусматривающей оценку эффективности СВЧ-размораживателя молозива путем определения разности приведенных затрат между базовым и проектным вариантами. Капитальные вложения исчисляли на основании балансовой стоимости размораживателей с учетом нормативной и фактической загрузки каждый из них. Месячную загрузку размораживателей базового и проектного вариантов определяли с учетом их производительности. Эксплуатационные издержки включали отчисления на: капитальный и текущий ремонты; заработную плату обслуживающему персоналу; расходы пароводяной смеси (базовый вариант) и электроэнергии; вспомогательные материалы и т.п. Приведенные расходы рассчитывали при равном объеме переработки сырья, как сумма произведения всех эксплуатационных издержек на нормативный коэффициент капитального вложения и себестоимости расходов на дефростацию и разогрев молозива животных. С учетом всех комплектующих изделий, их количества и цен вычислена балансовая стоимость образца СВЧ- размораживателя непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных с шестью магнетронами и двумя резонаторами. Она составляет **120000 руб.** (табл. 5.2).

Производительность СВЧ-размораживателя составляет 25 кг/ч.

Таблица 5.2 – Балансовая стоимость СВЧ-размораживателя

Наименование комплектующих изделий	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Стоимость, всего, руб.
Лист нержавеющей 2*1000*2000 мм	1	23112	23112
Поплавок Wornix	2	50	100
Шатун квадрат 46 зуба	1	600	600
Труба из нержавеющей стали 1 мм	2	730	1460
Мотор-редуктор серии МЭО-6,3/12,5-0,25М-99УЗ.1	1	20000	20000
Магнетроны	6	500	3000
Трансформаторы Daewoo R1S590	6	500	3000
Волноводы	6	200	1200
Вентиляторы осевые канальные CV-150 TEVIN ЭРА	6	1015	6090
Шаровой кран	1	300	300
Выключатель автоматический дифференциального тока типа FL12/14	1	650	650
Электромагнитные пускатели 25А	3	500	1500
Корпус металлический ЦРН-54-540x440x120-IP31-УХЛЗ-КЭАЗ и элементы управления с пускозащитным оборудованием и электронными блоками генераторов (устройство защитного отключения УЗО – дифференциальный автоматический выключатель двухполюсный АД12 2Р 40А 30мА TDM, трансформатор силовой Samsung SHV-EURO1-1, выключатель автоматический трехполюсный ВА47-60М 3Р 32А 6кА С, выключатель автоматический однополюсный IEK ВА47-29 С10, электромагнитный пускатель марки ПМЕ 111 380В	1	24612	24612
Труба ПП наружная SN d110	1	295	295
Труба стальная	1	895	895
Заглушка наружной канализации	1	39	39
Электроды Арсенал ЦЛ-11 А	1	625	625
Пилки для лобзика А-85737 Makita	6	70	420
Подшипники 6205 RS SEB	3	86	258
Профиль 20x20x1,5	2	612	1224
Профиль 20x20x1,5	1	620	620
Сборочные работы	1	30000	30000
Итого			120000

Кормление телят за сутки после рождения проводят 5-6 раз в сутки по 1-1,5 л. Итого для одного теленка в сутки надо размораживать молозиво 6-9

л (в среднем 7,5 л). Для расчетов возьмем средние показатели, 5-ти разовое кормление в сутки по 1,5 л (т.е. 7,5 л).

Этот объем достаточен **для 16 телят** ($25 / 1,5 \text{ л} = 16,7$):

– за сутки надо поить 5 раз, следовательно, $25 \cdot 5 = 125 \text{ л/сутки}$;

– за месяц (30 рабочих дней) $125 \cdot 30 = 3750 \text{ л/месяц}$;

– за год (265 рабочих дней) $125 \cdot 265 = 33125 \text{ л/год}$.

1.1 Затраты на оплату труда:

Затраты на оплату труда обслуживающего персонала:

$12792 \cdot 1,09 \cdot 1,5 \cdot 1,97 = 41202,4 \text{ руб./месяц при 8 часовой работе}$.

Минимальная оплата труда оператора 1 разряда составляет 12792 руб. (МРОТ, 2021 г.);

1,09 – тарифный коэффициент работника;

1,97 – общий коэффициент всех доплат и начислений к тарифной ставке;

1,5 – отраслевой коэффициент за условие труда.

1.2 Затраты на электроэнергию (по Нижегородской области для агропредприятий в полупиковое время)

$0,176 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг} \cdot 3750 \text{ кг/месяц} \cdot 3,84 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч} = 2534,4 \text{ руб./месяц}$;

1.3 Амортизационные отчисления на 1 месяц от балансовой стоимости конструкции: норма амортизации – 20% в год.

$A \cdot 0,2 \cdot 1 / 12_{\text{месяцев}} = 120000 \cdot 0,2 \cdot 1 / 12 = 2000 \text{ руб./месяц}$,

где A – балансовая стоимость конструкции, руб.

1.4 Текущий ремонт (норма 24% в год):

$T_p = 120000 \cdot 0,24 \cdot 1 / 12 = 2400 \text{ руб./месяц}$.

1.5 Прочие расходы:

$P_p = (41202,4 + 2534,4 + 2000 + 2400) \cdot 0,05 = 2406,84 \text{ руб./месяц}$.

1.6 Общехозяйственные и общепроизводственные расходы:

$P_{ox} = (41202,4 + 2534,4 + 2000 + 2400 + 2406,84) \cdot 0,15 = 7581,55 \text{ руб./месяц}$.

1.7 Общая сумма эксплуатационных расходов:

$41202,4 + 2534,4 + 2000 + 2400 + 2406,84 + 7581,55 = 58125,19 \text{ руб./месяц}$.

1.8 Себестоимость дефростации и разогрева коровьего молозива по проектному варианту: $58125,19 / 3750 = 15,5 \text{ руб./л}$.

С учетом общей суммы расходов определена **себестоимость эксплуатационных затрат на дефростацию и разогрев коровьего молозива** с помощью многорезонаторного СВЧ-размораживателя с нестандартными резонаторами. Она равна $15,5 \text{ руб./л}$. Цена молозива в среднем составляет 150 руб./л .

2. Эксплуатационные расходы по базовому варианту 1

За базовый вариант 1 принимаем размораживатель молозива «Солнышко», производства ООО «Агропромтехника», г. Ижевск (рис. 5.2).

Цена 90000 руб. [<https://nn.tiu.ru/p430745565-razmorazhivatel-moloziva-proizvodstva.html>].



Рисунок 5.2 – СВЧ-размораживатель «Солнышко», производство ООО «Агропромтехника»

Размораживатель молозива «Солнышко», выполнен в виде емкости и оснащена пультом управления, вращающимся от электродвигателя барабаном, электрическими нагревательными элементами для нагрева воды до 60 °С. Технические характеристики размораживателя молозива представлены в табл. 5.3.

Таблица 5.3 – Технические характеристики размораживателя молозива «Солнышко» [agropromteh.com/g35507335-razmorazhivatel-moloziva]

Параметры	Значения
Температура подогрева, °С	от 5 до 60
Скорость вращения, об./мин.	12
Масса установки без жидкости, кг	30
Рабочая жидкость, объем в рубашке, л	50
Напряжение, В	220
Потребляемая мощность, кВт	3,0
Вместимость, шт.	7 шт. по 2 л бутылки
Производительность, кг/ч	31,1
Продолжительность дефростации от исходной температуры –18 °С, мин.	45-50
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,273
Габаритные размеры, мм (ДШВ)	430x840x880

Производительность размораживателя «Солнышко» составляет
 $(1,0 \dots 2) \text{ л} \cdot 7 \text{ бутылок} = (7 \dots 14) \text{ л}$ за 50 мин.

Производительность размораживателя $(7 \dots 14) \text{ л} / 0,88 \text{ ч.} = (8 \dots 15,9) \text{ кг/ч.}$
 Примем 15,9 кг/ч. Размораживатель «Солнышко» позволяет подготовить молозиво к выпойке:

– за сутки $15,9 \text{ кг/ч.} \cdot 6 \text{ раз} = 95,4 \text{ л /сутки}$; такой объем в сутки достаточен для **12 телят** ($95,4/7,5=12,7$).

– за месяц (30 рабочих дней) $= 95,4 \cdot 30 = 2862 \text{ л/месяц}$;

– за год (265 рабочих дней) $= 95,4 \cdot 265 = 25281 \text{ л/год}$.

1.1 Затраты на оплату труда:

Затраты на оплату труда обслуживающего персонала:

$12792 \cdot 1,09 \cdot 1,5 \cdot 1,97 = 41202,4 \text{ руб./месяц}$ при 8 часовой работе.

1.2 Затраты на электроэнергию (по Нижегородской области для агропредприятий в полупиковое время)

$0,273 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг} \cdot 2862 \text{ кг/месяц} \cdot 3,84 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч} = 3000,3 \text{ руб./месяц}$;

1.3 Амортизационные отчисления на 1 месяц от балансовой стоимости конструкции: норма амортизации – 20% в год [63].

$A \cdot 0,2 \cdot 1 / 12_{\text{месяцев}} = 90000 \cdot 0,2 \cdot 1 / 12 = 1500 \text{ руб./месяц}$,

1.4 Текущий ремонт (норма 24% в год):

$$T_p = 90000 \cdot 0,24 \cdot 1 / 12 = 1800 \text{ руб./месяц.}$$

1.5 Прочие расходы:

$$P_p = (41202,4 + 3000,3 + 1500 + 1800) \cdot 0,05 = 2375,14 \text{ руб./месяц.}$$

1.6 Общехозяйственные и общепроизводственные расходы:

$$P_{ox} = (41202,4 + 3000,3 + 1500 + 1800 + 2375,14) \cdot 0,15 = 7481,7 \text{ руб./месяц.}$$

1.7 Общая сумма эксплуатационных расходов:

$$41202,4 + 3000,3 + 1500 + 1800 + 2375,14 + 7481,7 = 57359,5 \text{ руб./месяц.}$$

1.8 Себестоимость дефростации и разогрева коровьего молозива по проектному варианту: $57359,5 / 2862 = 20,04 \text{ руб./л.}$

Экономические показатели внедрения СВЧ-размораживателя приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4 – Экономические показатели внедрения СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия

№	Показатели	Проектная	Базовая 1
1	Балансовая стоимость размораживателя молозива, руб.	120000	90000
2	Производительность установки, кг/ч	30	16
3	Потребляемая мощность установки, кВт	5,3	3,0
4	Потребляемая электроэнергия, кВт·ч/кг	0,176	0,273
5	Эксплуатационные расходы на дефростацию и разогрев молозива животных, руб./месяц	58125,19	57359,5
6	Себестоимость расходов на дефростацию и разогрев молозива животных, руб./л	15,5	20,04
7	Цена коровьего молозива, руб./л	150	150
8	Себестоимость размороженного и разогретого молозива, руб./л	165,5	170,04
9	Цена реализации размороженного и разогретого коровьего молозива, руб./л	200	200
10	Прибыль, руб./л (чистый доход)	34,5	29,96
11	Объем размороженного молозива, л/месяц	3750	2862
12	Капитальные затраты на технологический процесс, руб./(л/месяц) (балансовая стоимость /объем размороженного сырья)	32	31,45
13	Рентабельность, %	20,85	17,62
14	Срок окупаемости, месяц (балансовая стоимость / экономический эффект)	7,2 месяц	
15	Экономический эффект от применения СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных, руб./месяц $[(20,04+0,2 \cdot 31,45)-(15,5+0,2 \cdot 32)] \cdot 3750 = 16612,31$		

Экономический эффект от СВЧ-размораживателя молозива животных составляет 16,6 тыс. руб./месяц или 199,35 тыс. руб./год за счет снижения эксплу-

атационных расходов. Рентабельность повышается на 3,2 %. Срок окупаемости составляет 7,2 месяца (рис. 5.3).

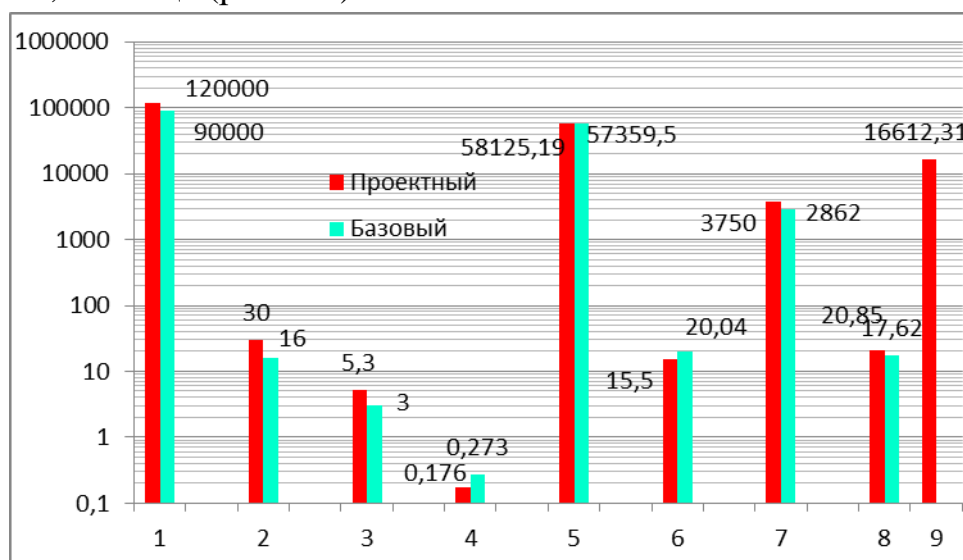


Рисунок 5.3 – Экономические показатели применения СВЧ-размораживателя МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ: 1 – стоимость размораживателя, руб.; 2 – производительность размораживателя, кг/ч.; 3 – потребляемая мощность, кВт; 4 – удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молока, кВт·ч /л; 5 – эксплуатационные затраты, руб./ (л/месяц); 6 – себестоимость расходов на дефростацию молока, руб./л; 7 – объем выработанной продукции, л/месяц; 8 – рентабельность, %; 9 – экономический эффект от применения СВЧ-размораживателя молока животных, руб./месяц

(Экономический эффект от СВЧ-размораживателя молока животных по сравнению с **первым базовым вариантом «Солнышко»**)

3. Эксплуатационные расходы по базовому варианту 2



Рисунок 5.4 – Установка для дефростации коровьего молока «Эконом БМА-50П», производства ООО «Альфапанель»

За базовый вариант 2 принимаем размораживатель молока «Эконом БМА-50П», производства ООО «Альфапанель», Республика Беларусь, г. Минск (рис. 5.4)

[<https://afp.by/index.php/katalog/oboredovanie-ferm/31-oborudovanie-dlya-molochno-tovarnykh-ferm/bani-dlya-razmorozki-moloziva/89-50>]. Цена 95000 руб.

Установка представляет собой водяную баню, выполнена в виде емкости и оснащена пультом управления, вращающимся от электродвигателя барабаном, электрическими нагревательными элементами для нагрева воды до 42 °С. Технические характеристики размораживателя молока представлены в табл. 5.5.

Таблица 5.5 – Технические характеристики размораживателя молозива
«Эконом БМА-50П»
(<https://flagma.by/banya-dlya-razmorozki-moloziva-bma-50-o1939401.html>)

Параметры	Значения
Температура подогрева, °С	от 5 до 60
Скорость вращения, об./мин.	12
Масса установки без жидкости, кг	30
Рабочая жидкость, объем в рубашке, л	50
Напряжение, В	220
Потребляемая мощность, кВт	6,0
Объем молозива, л	12
Продолжительность дефростации от исходной температуры –18 °С, мин.	50
Производительность, кг/ч	14,46
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,415
Габаритные размеры, мм (ДШВ)	550x400x710

Производительность «Эконом БМА-50П» размораживателя составляет 12 л за 50 мин. Производительность размораживателя $12 \text{ л} / 0,83 \text{ ч} = 14,46 \text{ кг/ч}$.

Размораживатель «Эконом БМА-50П» позволяет подготовить молозиво к выпойке:

- за сутки $14,46 \text{ л} \cdot (5 \dots 6) = 72,3 \dots 86,76 \text{ л/сутки}$; примем 86,76 л/сутки, такой объем в сутки достаточен для **11 телят**.
- за месяц (30 рабочих дней) $86,76 \cdot 30 = 2602,8 \text{ л/месяц}$;
- за год (265 рабочих дней) $86,76 \cdot 265 = 22991,4 \text{ л/год}$.

1.1 Затраты на оплату труда:

Затраты на оплату труда обслуживающего персонала:

$$12792 \cdot 1,09 \cdot 1,5 \cdot 1,97 = 41202,4 \text{ руб./месяц при 8 часовой работе.}$$

1.2 Затраты на электроэнергию (по Нижегородской области для агропредприятий в полупиковое время)

$$0,415 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг} \cdot 2602,8 \text{ л/месяц} \cdot 3,84 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч} = 4147,82 \text{ руб./месяц};$$

1.3 Амортизационные отчисления на 1 месяц от балансовой стоимости конструкции: норма амортизации – 20% в год [65].

$$A \cdot 0,2 \cdot 1 / 12_{\text{месяцев}} = 95000 \cdot 0,2 \cdot 1 / 12 = 1558,3 \text{ руб./месяц},$$

1.4 Текущий ремонт (норма 24% в год):

$$T_p = 95000 \cdot 0,24 \cdot 1 / 12 = 1900 \text{ руб./месяц.}$$

1.5 Прочие расходы:

$$P_p = (41202,4 + 4147,82 + 1558,3 + 1900) \cdot 0,05 = 2441,68 \text{ руб./месяц.}$$

1.6 Общехозяйственные и общепроизводственные расходы:

$$P_{ox} = (41202,4 + 4147,82 + 1666,7 + 1900 + 2441,68) \cdot 0,15 = 7691,28 \text{ руб./месяц.}$$

1.7 Общая сумма эксплуатационных расходов:

$41202,4 + 4147,82 + 1558,3 + 1900 + 2441,68 + 7691,28 = 58966,52$ руб./месяц.

1.8 Себестоимость дефростации и разогрева коровьего молозива по проектному варианту: $58966,52 / 2602,8 = 22,66$ руб./л.

Экономические показатели внедрения СВЧ-размораживателя молозива представлены в табл. 5.6.

Таблица 5.6 – Экономические показатели внедрения СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия

№	Показатели	Проектная	Базовая 2
1	Балансовая стоимость размораживателя молозива, руб.	120000	95000
2	Производительность размораживателя, кг/ч	30	14,5
3	Потребляемая мощность установки, кВт	5,3	6,0
4	Потребляемая электроэнергия, кВт·ч/кг	0,176	0,415
5	Эксплуатационные расходы на дефростацию и разогрев молозива животных, руб./месяц	58125,19	58966,5
6	Себестоимость расходов на дефростацию и разогрев молозива животных, руб./л	15,5	22,66
7	Цена коровьего молозива, руб./л	150	150
8	Себестоимость размороженного и разогретого молозива, руб./л	165,5	172,65
9	Цена реализации размороженного и разогретого коровьего молозива, руб./л	200	200
10	Прибыль, руб./л	34,5	27,34
11	Объем размороженного молозива, л/месяц	3750	2602,8
12	Капитальные затраты на технологический процесс, руб./(л/месяц)	32	36,5
13	Рентабельность, %	20,85	15,8
14	Срок окупаемости, месяц	3	
15	Экономический эффект от применения СВЧ установки для дефростации и разогрева молозива животных, руб./месяц $[(22,66+0,2 \cdot 36,5)-(15,5+0,2 \cdot 32)] \cdot 3750 = 30225$		

Экономический эффект от применения СВЧ-размораживателя молозива животных составляет 30,2 тыс. руб./месяц или 362,7 тыс. руб./год за счет снижения эксплуатационных расходов. Рентабельность повышается на 5 %. Срок окупаемости составляет 3,14 месяца (рис. 5.5).

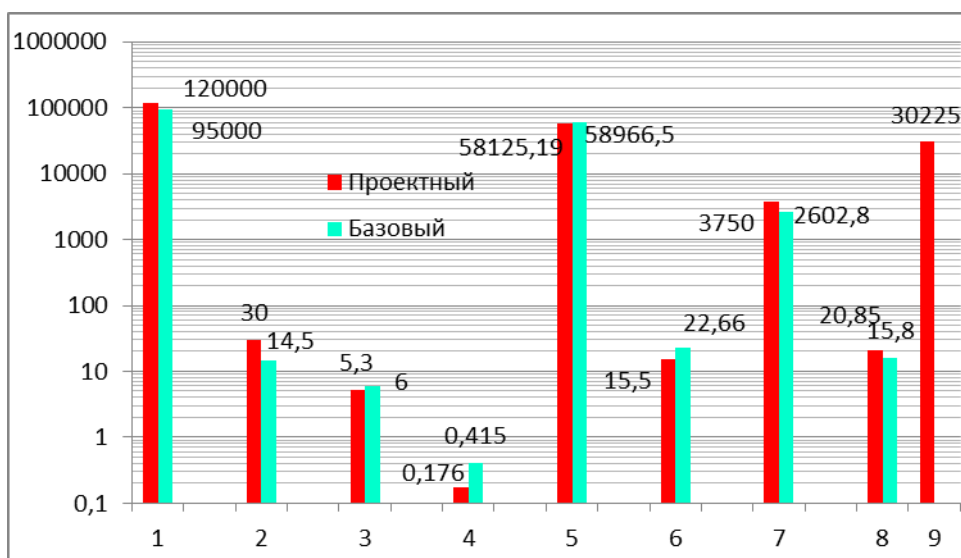


Рисунок 5.5 – Экономические показатели применения СВЧ-размораживателя:
 1 – стоимость размораживателя, руб.; 2 – производительность размораживателя, кг/ч.;
 3 – потребляемая мощность, кВт; 4 – удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молозива, кВт·ч /л; 5 – эксплуатационные затраты, руб./ (л/месяц);
 6 – себестоимость расходов на дефростацию и разогрев молозива, руб./л; 7 – объем выработанной продукции, л/месяц; 8 – рентабельность, %; 9 – экономический эффект от применения СВЧ-размораживателя, руб./месяц

(Экономический эффект от СВЧ-размораживателя молозива животных по сравнению со **вторым базовым вариантом «Эконом БМА-50П»**)

4. Эксплуатационные расходы по базовому варианту 3 (ПримаЛакт)



Рисунок 5.6 – Установка для дефростации коровьего молозива «ПримаЛакт», производства НПО «ПетроЛазер», цена 60000 руб.

За базовый вариант 3 принимаем размораживатель молозива «ПримаЛакт», производства НПО «ПетроЛазер», Россия (рис. 5.6) [https://www.piterlab.ru/goods/149611108-primalakt_razmorazhivatel_moloziva].

Установка представляет собой водяную баню, выполненная в виде емкости и оснащенная пультом управления, электрическими нагревательными элементами для нагрева воды до 40 °С, электромеханическим приводом. Молозиво в пластиковых бутылках перемешивается за счет качения платформы. Технические характеристики размораживателя молозива представлены в табл. 5.7. Производительность размораживателя «ПримаЛакт» составляет 9 л за 45 мин. (12 кг/ч). Размораживатель «ПримаЛакт» позволяет подготовить молозиво к выпойке:

– за сутки 72 л. ($12 \text{ л} \cdot (5 \dots 6) = 60 \dots 72 \text{ л/сутки}$); Такой объем в сутки достаточен для **7 телят**;

– за месяц: ($30 \text{ рабочих дней} \cdot 72 \cdot 30 = 2160 \text{ л/месяц}$);

– за год: ($265 \text{ рабочих дней} \cdot 72 \cdot 265 = 19080 \text{ л/год}$).

Таблица 5.7 – Технические характеристики размораживателя молозива «ПримаЛакт» (https://propribory.ru/static/upl/27-03-2020/OskN_OmiJnaKfXpX/РпЭ_Прималакт__ред_11_07_19.pdf)

Параметры	Значения
Температура подогрева, °С	от 5 до 99
Масса установки без жидкости, кг	15
Рабочая жидкость	дистиллированная вода
Напряжение, В	220
Потребляемая мощность, кВт	2,0
Объем молозива, л	6-9
Продолжительность дефростации от исходной температуры -18 °С , мин.	45
Производительность, кг/ч	8
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,25
Габаритные размеры, мм (ДШВ)	670x620x270

1.1 Затраты на оплату труда:

Затраты на оплату труда обслуживающего персонала:

$12792 \cdot 1,09 \cdot 1,5 \cdot 1,97 = 41202,4 \text{ руб./месяц при 8 часовой работе.}$

1.2 Затраты на электроэнергию (по Нижегородской области для агропредприятий в полупиковое время)

$0,25 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг} \cdot 1440 \text{ л/месяц} \cdot 3,84 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч} = 2073,6 \text{ руб./месяц};$

1.3 Амортизационные отчисления на 1 месяц от балансовой стоимости конструкции: норма амортизации – 20% в год.

$A \cdot 0,2 \cdot 1 / 12_{\text{месяцев}} = 60000 \cdot 0,2 \cdot 1 / 12 = 1000 \text{ руб./месяц,}$

1.4 Текущий ремонт (норма 24% в год):

$T_p = 60000 \cdot 0,24 \cdot 1 / 12 = 1200 \text{ руб./месяц.}$

1.5 Прочие расходы:

$P_p = (41202,4 + 2073,6 + 1000 + 1200) \cdot 0,05 = 2273,8 \text{ руб./месяц.}$

1.6 Общехозяйственные и общепроизводственные расходы:

$P_{ox} = (41202,4 + 2073,6 + 1000 + 1200 + 2273,8) \cdot 0,15 = 7162,47 \text{ руб./месяц.}$

1.7 Общая сумма эксплуатационных расходов:

$41202,4 + 2073,6 + 1000 + 1200 + 2273,8 + 7162,47 = 54912,27 \text{ руб./месяц.}$

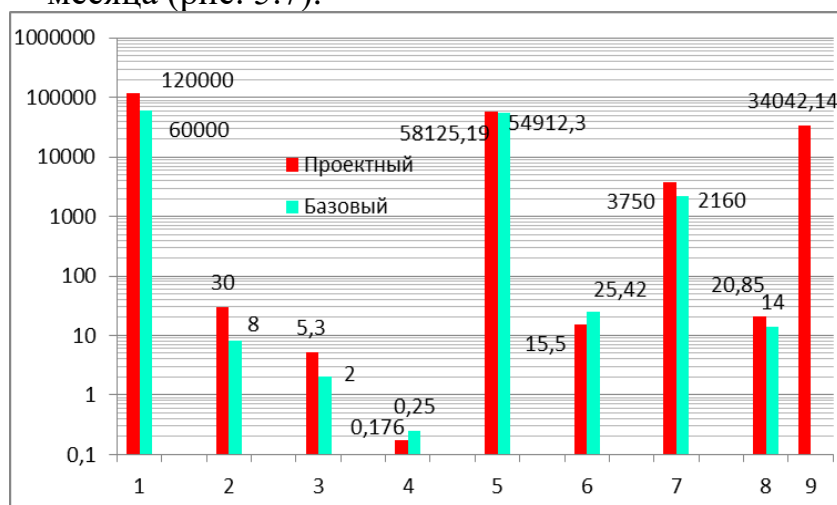
1.8 Себестоимость дефростации и разогрева коровьего молозива по проектному варианту: $54912,27 / 2160 = 25,42 \text{ руб./л.}$

Экономические показатели внедрения СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия приведены в табл. 5.8.

Таблица 5.8 – Экономические показатели внедрения СВЧ-размораживателя
молозива непрерывно-поточного действия

№	Показатели	Проектная	Базовая 3
1	Балансовая стоимость размораживателя молозива, руб.	120000	60000
2	Производительность размораживателя, кг/ч	30	8
3	Потребляемая мощность размораживателя, кВт	5,3	2,0
4	Потребляемая электроэнергия, кВт·ч/кг	0,176	0,25
5	Эксплуатационные расходы на дефростацию и разогрев молозива животных, руб./месяц	58125,19	54912,3
6	Себестоимость расходов на дефростацию и разо- грев молозива животных, руб./л	15,5	25,42
7	Цена коровьего молозива, руб./л	150	150
8	Себестоимость размороженного и разогретого молозива, руб./л	165,5	175,4
9	Цена реализации размороженного и разогретого коровьего молозива, руб./л	200	200
10	Прибыль, руб./л	34,5	24,6
11	Объем размороженного молозива, л/месяц	3750	2160
12	Капитальные затраты на технологический про- цесс, руб./л/месяц)	32	27,8
13	Рентабельность, %	20,85	14
14	Срок окупаемости, месяц	2 месяц	
15	Экономический эффект от применения СВЧ-размораживателя, руб./месяц [(25,42+0,2·27,8) - (15,5+0,2·32)]·3750 = 34042,14		

Экономический эффект от СВЧ-размораживателя молозива животных составляет 34 тыс./месяц или 408 тыс./год за счет снижения эксплуатационных расходов. Рентабельность повышается на 6,8 %. Срок окупаемости составляет 2 месяца (рис. 5.7).



1 – стоимость размораживателя, руб.; 2 – производительность размораживателя, кг/ч.; 3 – потребляемая мощность, кВт; 4 – удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев молозива, кВт·ч /л; 5 – эксплуатационные затраты, руб./л/месяц); 6 – себестоимость расходов на дефростацию и разогрев молозива, руб./л; 7 – объем выработанной продукции, /месяц; 8 – рентабельность, %; 9 – экономический эффект от применения СВЧ-размораживателя, руб./месяц

Рисунок 5.7 – Экономические показатели применения СВЧ-размораживателя
(по сравнению с третьим базовым вариантом «ПримаЛакт»)

Сводные экономические показатели внедрения двухрезонаторного СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных по сравнению с тремя базовыми вариантами представлены в табл. 5.9.

Таблица 5.9 – Сводные экономические показатели внедрения СВЧ-размораживателя молозива непрерывно-поточного действия

№	Показатели	Проектный размораживатель	Базовый 1, «Солнышко»	Базовый 2, «Эконом БМА-50П»	Базовый 3, «ПримаЛакт»
1	Балансовая стоимость размораживателя молозива, руб.	120000	90000	95000	60000
2	Производительность установки, кг/ч	30	16	14,5	8
3	Потребляемая мощность установки, кВт	5,3	3,0	6,0	2,0
4	Потребляемая электроэнергия, кВт·ч/кг	0,176	0,273	0,415	0,25
5	Эксплуатационные расходы на дефростацию и разогрев молозива животных, руб./месяц	58125,2	57359,5	58966,5	54912,3
6	Себестоимость расходов на дефростацию и разогрев молозива животных, руб./л	15,5	20,04	22,66	25,42
7	Цена коровьего молозива, руб./л	150	150	150	150
8	Себестоимость размороженного и разогретого молозива, руб./л	165,5	170,04	172,65	175,4
9	Цена реализации размороженного и разогретого коровьего молозива, руб./л	200	200	200	200
10	Прибыль, руб./л	34,5	29,96	27,34	24,6
11	Объем размороженного молозива, л/месяц	3750	2862	2602,8	2160
12	Капитальные затраты на технологический процесс, руб./(л/месяц)	32	31,45	36,5	27,8
13	Рентабельность, %	20,85	17,62	15,8	14
14	Рентабельность, средняя, %	17,1			
15	Повышение рентабельности, %	-	3,2	5	6,8
16	Повышение рентабельности, средне, %	5			
17	Срок окупаемости, месяц		7,2	3,1	2
18	Срок окупаемости, среднее, месяц	4,1			
19	Годовой экономический эффект от применения СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрев молозива животных, тыс. руб.		199,35	362,7	408
20	Средний годовой экономический эффект от применения СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрев молозива животных, тыс. руб.	323,35			

Ожидаемый годовой экономический эффект от применения СВЧ-размораживателя по сравнению с размораживателями разного конструктивного исполнения, балансовой стоимостью от 60 тыс. до 95 тыс. руб., работающими на принципе пароводяной смеси, составляет **323,35** тыс. руб., за счет снижения эксплуатационных расходов. Рентабельность в среднем составляет 17,1 %, в

среднем она повышается на 5 % по сравнению с базовыми размораживателями. Средний срок окупаемости составляет 4 месяца.

Рекомендации производству: с целью обеспечения электромагнитной безопасности рекомендуется эксплуатировать СВЧ-размораживатель в соответствии СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности для человека» (Постановление от 28.01.2021, № 2).

Для сохранения кормовой ценности молозива животных при дефростации и разогреве необходимо уменьшить продолжительность этих процессов. Для этого процессы следуют реализовать в двух резонаторах при разных дозах воздействия ЭМП СВЧ. В разработанных двухрезонаторных СВЧ-размораживателях появляется возможность разделять замороженное и жидкое сырье при температуре, равной температуре фазового превращения, с сохранением кормовой ценности молозива животных.

5.2 Выводы по разделу

Кормление телят за сутки после рождения проводят 5-6 раз в сутки по 1-1,5 л. Итого, для одного теленка в сутки надо размораживать молозиво объемом 6-9 л (в среднем 7,5 л).

Балансовая стоимость разработанного и изготовленного СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных с шестью магнетронами и двумя резонаторами составляет 120000 руб. Производительность СВЧ-размораживателя составляет 25 кг/ч, этот объем (25 л) достаточен для 16 телят, при этом за сутки, за месяц, за год соответственно 125 л; 3750 л; 33125 л. Потребляемая мощность составляет 5,3 кВт; мощность электродвигателя вентилятора – 0,32 кВт; мощность привода диэлектрического контейнера – 0,18 кВт; потребляемая мощность шести СВЧ генераторов – 4,8 кВт; удельные энергетические затраты на дефростацию и разогрев коровьего молозива – 0,176 кВт·ч/кг.

За первый базовый вариант принимали размораживатель молозива «Солнышко», производства ООО «Агропромтехника», г. Ижевск. Цена 90000 руб. Производительность размораживателя «Солнышко» составляет 15,9 кг/ч, или 95,4 л в сутки; 2862 л в месяц. Такой объем в сутки достаточен для 12 телят. Экономический эффект от СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных составляет 16,6 тыс. руб./месяц или 199,35 тыс. руб./год за счет снижения эксплуатационных расходов. Рентабельность повышается на 3,2 %. Срок окупаемости разработанного СВЧ-размораживателя составляет 7,2 месяца.

За второй базовый вариант принимали размораживатель молозива «Эконом БМА-50П», производства ООО «Альфапанель», г. Минск. Цена 95000 руб.

Производительность размораживателя составляет 14,46 кг/ч, или 86,76 л в сутки; 2602,8 л в месяц. Такой объем молозиво в сутки достаточен для 11 телят. Экономический эффект от СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных составляет 30,2 тыс. руб./месяц или 362,7 тыс. руб./год за счет снижения эксплуатационных расходов. Рентабельность повышается на 5 %. Срок окупаемости СВЧ-размораживателя составляет 3,1 месяц.

За третий базовый вариант принимали размораживатель молозива «ПримаЛакт», производства НПО «ПетроЛазер», Россия. Цена 60000 руб. Производительность размораживателя составляет 12 кг/ч или 72 л в сутки; 2160 л в месяц. Такой объем в сутки достаточен для 7 телят. Экономический эффект от СВЧ-размораживателя для дефростации и разогрева молозива животных составляет 34 тыс./месяц или 408 тыс./год за счет снижения эксплуатационных расходов. Рентабельность повышается на 6,8 %. Срок окупаемости разработанной СВЧ-размораживателя составляет 2 месяца.

С целью обеспечения электромагнитной безопасности рекомендуется эксплуатировать СВЧ-размораживатель в соответствии СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности для человека» (Постановление от 28.01.2021, № 2).

Перспективы дальнейшей разработки сводится к созданию радиогерметичного многогенераторного СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия резонаторами с системой автоматического управления процессом дефростации и разогрева молозива животных для ферм с поголовьем дойных коров свыше 500 голов, позволяющего ускорить технологический процесс, обеззараживать и сохранить кормовую ценность сырья при сниженных эксплуатационных затратах. С точки зрения конструктивного исполнения размораживателя для тепловой обработки сырья перспективным является металлодиэлектрические резонаторы, обеспечивающие равномерное распределение электромагнитного поля и снижение диэлектрических потерь.

Перспективным направлением развития является реализация СВЧ установки, обеспечивающей дефростацию сырья АПК широкого ассортимента с автоматизированной системой управления процессом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны методологические основы конструктивно-технологического проектирования и создания радиогерметичного СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия с резонаторами, разделяющими процессы дефростации и разогрева сырья при изменении агрегатного состояния для сохранения его кормовой ценности.

2. Предложена усовершенствованная технология дефростации и разогрева сырья воздействием ЭМП СВЧ с учетом фазового перехода в двухрезонаторных СВЧ-размораживателях с рациональными конструктивно-технологическими параметрами. Результаты анализа диэлектрических параметров молозива коровьего в зависимости от температуры свидетельствуют, что процессы его дефростации и разогрева должны происходить в разных объемных резонаторах при разных дозах воздействия ЭМП СВЧ. При этом глубина проникновения волны в замороженное сырье с увеличением температуры от -12 до 0 °С растет с $0,14$ см до $0,93$ см, а при разогреве молозива с 0 до 39 °С – растет с $1,01$ см до $2,17$ см. Сырье равномерно нагревается, если его размеры не превышают глубины проникновения волны.

3. Получены аналитические зависимости, описывающие распределение температурного поля в сырье при разных агрегатных состояниях и распределение волн на границе раздела между замороженным и жидким сырьем для определения продолжительности его дефростации и разогрева. Предложенная модель процесса взаимодействия электромагнитных волн с сырьем при разных агрегатных состояниях, описывающая электромагнитные и тепловые процессы в тороидальных резонаторах с общим перфорированным основанием, учитывает зависимость электрофизических параметров сырья от температуры. Определение температурного поля через систему уравнений теплопроводности с учетом температуры фазового перехода и скорости движения границы фазового перехода показывает, что распределение температурного поля в сырье происходит в соответствии с функцией плотности мощности тепловых потерь. Исследования

распределения волн на границе раздела между замороженным и жидким сырьем показывают, что скорость нагрева в процессе дефростации сырья увеличивается, а для разогрева сырья с 0 до 39 °С с учетом уменьшения скорости нагрева, следует обеспечить в резонаторе напряженность ЭП не менее 1,2 кВ/см.

Коэффициент отражения волн, позволяющий оценить отношение потока отраженной энергии к падающему потоку энергии на границе раздела сред при уменьшении диэлектрической проницаемости с 53 до 44, уменьшается в пределах 10 раз, с 0,47 до 0,047. Следовательно, при температуре фазового превращения в сырье генерируется мощность 1300 Вт, если мощность генератора 2400 Вт.

4. Разработаны конструктивно-технологические схемы размораживателей непрерывно-поточного действия со сдвоенными резонаторами для отдельной тепловой обработки молозива животных в разных дозах в зависимости от агрегатного состояния, и обоснованы конфигурации резонаторов путем исследования их электродинамических параметров по программе CST Studio Suite и оценки отклонения от среднего значения критериев проектирования. Напряженность ЭП в разработанных резонаторах колеблется в пределах 0,6-3,8 кВ/см, в том числе в конденсаторной зоне четвертьволнового тороидального резонатора и вдоль оси конического резонатора. Собственная добротность при равных объемах резонаторов составляет 4000-8000. Плотность энергии электромагнитных волн при напряженности ЭП в резонаторе 0,2 кВ/см составляет 10^6 Вт/м², если напряженность ЭП 0,6 кВ/см – то $9 \cdot 10^6$ Вт/м². Пороговая мощность с учетом коэффициента затухания волны в сырье при изменении диэлектрических параметров жидкого молозива в процессе нагрева, позволяющая оценить эффективность обеззараживания сырья, равна 6,85 кВт при напряженности ЭП 0,6 кВ/см и собственной добротности резонатора не менее 3100. При увеличении собственной добротности в два раза можно при мощности 3 кВт и напряженности ЭП 0,6 кВ/см получить такой же эффект обеззараживания сырья.

Для ускорения дефростации и размораживания молозива животных предусмотрены в процессе воздействия ЭМП СВЧ: дробление замороженных брикетов с помощью центробежного диска в полусферическом резонаторе, обладающем максимальной собственной добротностью 9000; перекачивание измельченного сырья с помощью насоса вязкой жидкости по молокопроводу в коаксиальном резонаторе; дробление брикетов с помощью молотковой дробилки в цилиндрическом резонаторе, соосно расположенном в коаксиальном резонаторе с собственной добротностью 6500 и напряженностью ЭП до 3 кВ/см.

Для достижения высокой скорости нагрева сырья в области положительных температур в коническом резонаторе обеспечена напряженность ЭП (1,2-2 кВ/см) и условие нагрева жидкости тонким слоем, не более двух глубин проникновения волны с помощью соосно расположенных радиопрозрачных тарелок.

Для резкого увеличения собственной добротности разработан *металло-диэлектрический* резонатор с керамическим сплошным цилиндром с криволинейной поверхностью, и оценена возможность обеззараживания жидкого сырья в резонаторе с собственной добротностью 7000 при напряженности ЭП 0,6 кВ/см и мощности генератора 3 кВт.

Оценка отклонения от значения критериев, характеризующих *продолжительность процесса и энергетические затраты*, показывает, что наименьшее отклонение (0,052-0,092) от оптимального значения имеют размораживатели: с состыкованными коаксиальным и цилиндрическим резонаторами; со сдвоенными коаксиальными резонаторами и насосом; с полусферическими резонаторами и диском.

5. Обоснованы параметры и режимы работы двухрезонаторного СВЧ-размораживателя с учетом регрессионных моделей и результатов исследований органолептических, биохимических, физико-химических, микробиологических показателей молозива животных, характеризующих кормовую ценность. Содержание иммуноглобулинов IgG в молозиве животных после дефростации и разогрева в ЭМП СВЧ составило 28-41 % по шкале Вrix, в среднем снизилось на

2 % Brix (3,8 г/л). Показатели качества молозива животных проектного образца сохранены (ОМЧ менее 500 тыс. КОЕ/г) и соответствуют нормативным документам.

Эффективные режимы *дефростации* молозива от -4 до 1 °С в ЭМПСВЧ: удельная мощность СВЧ генератора – 0,8 Вт/г; продолжительность воздействия ЭМПСВЧ в коаксиальном резонаторе – 17,7 мин.; мощность СВЧ генераторов – 2,4 кВт; напряженность – ЭП 1,2 кВ/см.

Эффективные режимы *разогрева* молозива от 1 до 39 °С в ЭМПСВЧ: удельная мощность СВЧ генератора – 0,8 Вт/г; продолжительность воздействия ЭМПСВЧ в коническом резонаторе – 8 мин.; мощность СВЧ генераторов – 2,4 кВт; напряженность ЭП – 3,8 кВ/см.

Производительность СВЧ установки со сдвоенными резонаторами 30 кг/ч, продолжительность воздействия – 25,7 мин., энергетические затраты на дефростацию и разогрев – 0,176 кВт·ч/кг.

6. Разработан, создан и апробирован в производственных условиях многогенераторный СВЧ-размораживатель непрерывно-поточного действия, содержащий коаксиальный резонатор с передвижными диэлектрическими контейнерами, состыкованный с коническим резонатором, и запредельные волноводы.

Ожидаемый годовой экономический эффект от применения СВЧ-размораживателя балансовой стоимостью 120 тыс. руб. по отношению с размораживателями базовых вариантов разного конструктивного исполнения балансовой стоимостью 60-95 тыс. руб., работающими на принципе пароводяной смеси, составляет 323,35 тыс. руб., за счет снижения эксплуатационных расходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Antioxidant micronutrient profile of Vitamin E, C, A, copper, zinc, iron of colostrum : association with mother characteristics / L. Ahmed [et al.] // *J. Trop. Pediatr.* – 2004. – Vol. 50. – Pp. 357-358 (Антиоксидантный профиль микроэлементов витаминов E, C, A, меди, цинка, железа молозива: связь с характеристиками матери).
2. Argüello, A. Passive transfer of immunity in kid goats fed refrigerated and frozen goat colostrum and commercial sheep colostrum / A. Argüello, N. Castro, M. Zamorano, A. Castroalonso, J. Capote. *Small Ruminant Research.* – 2004. – 54(3). – Pp. – 237-241 (Пассивный перенос иммунитета у козлят, которых кормят охлажденным и замороженным козьим молозивом и молозивом овец).
3. Bactericidal effect of bovine normal and immune serum colostrums and milk against *Helicobacter pylori* / H. Korhonen // *J. Applied Bacter.* – 1995. – Vol. 78. – Pp. 655-662 (Бактерицидное действие молозива и молока из нормальной и иммунной сыворотки крупного рогатого скота против *Helicobacter pylori*).
4. Belova, M. V. Innovations in technologies of agricultural raw materials processing / M. V. Belova, G. V. Novikova, I. G. Ershova, M. A. Ershov, O. V. Mikhailova // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences.* – 2016. – Т. 11. – № 6. – С. 1269-1277 (Инновации в технологиях сельскохозяйственной обработки сырья).
5. Biological components in a standardized derivative of bovine colostrum / P. Sacerdote // *J. Dairy Science.* – Vol. 96, № 3. – 2013. – Pp. 1745-1754 (Биологические компоненты при стандартном производстве молозива КРС).
6. Budnikov, D.A. The Use of Microwave Energy at Thermal Treatment of Grain Crops [Text] / D.A. Budnikov, A.N. Vasiliev // *Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development* / ed. by V. Kharchenko, P. Vasant. – USA, PA, Hershey: IGI Global. – 2018. – Pp. 475-499 (Использование микроволновой энергии при термической обработке зерновых культур).
7. Budnikov, D. A. Propagation of Microwave Fields in Grain Material of Various Densities [Text] / D. A. Budnikov, A. N. Vasilyev, D. A. Tikhomirov, A. A. Vasilyev // *Springer Innovations in Communication and Computing.* – 2019. – Pp. 69-70. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03898-4> (Распространение микроволновых полей в зернистом материале различной плотности).
8. Budnikov, D. A. The application of electrophysical effects in the processing of agricultural materials / D. A. Budnikov, A. N. Vasiliev, A. A. Vasilyev [et al.] // *Advanced agro-engineering technologies for rural business development.* – Hershey, P. A., USA : IGI Global. – 2019. – Pp. 1-27 (Применение электрофизических эффектов при переработке сельскохозяйственных материалов).
9. Budnikov, D. A. The Use of Microwave Energy at Thermal Treatment of Grain Crops / D. A. Budnikov, A. N. Vasiliev // *Handbook of research on renewable energy and electric resources for sustainable rural development.* – USA, PA, Hershey : IGI Global. – 2018. – Pp. 475-499 (Использование СВЧ-энергии при термической обработке зерновых культур).
10. Composition and properties of bovine colostrum : a review / B.A. Mcgrath [et al.] // *Dairy Science & Technology.* – 2015. – Vol. 96, № 2. – Pp. 133-158 (Состав и свойства молозива крупного рогатого скота: обзор).
11. Conte, F. A study on the quality of bovine colostrum : physical, chemical and safety assessment / F. Conte, S. Scarantino // *Int. Food Research J.* – 2013. – Vol. 20,

№ 2. – Pp. 925-931 (Исследование качества молозива КРС: физическая, химическая оценка и оценка безопасности).

12. Cummins, C. The effect of colostrum storage conditions on dairy heifer calf serum immunoglobulin G concentration and preweaning health and growth rate / C. Cummins, D. P. Berry, J. P. Murphy, I. Lorenz, E. Kennedy // *Journal of Dairy Science* Vol. 100. – No. 1. – 2017. – Pp. 525-535 (Влияние условий хранения молозива на концентрацию иммуноглобулина G в сыворотке крови телят молочной телки и на здоровье и скорость роста до отъема).

13. Drobakhin, O. O. Sensors based on biconic microwave resonators for monitoring the parameters of dielectrics / O. O. Drobakhin, P. I. Zabolotny, N. B. Goreyev, D. Y. Saltykov // 19-th Crimean Conf. Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), Sevastopol : Crimea. – 2009. – № 1418. – Pp. 775-776 (Датчики на основе биконических микроволновых резонаторов для контроля параметров диэлектриков).

14. Dzik, S. Properties of bovine colostrum and the possibilities of use / S. Dzik [et al.] // *Polish Annals of Medicine*. – 2017. – Vol. 24, № 2. – Pp. 295-299 (Свойства молозива крупного рогатого скота и возможности его применения).

15. Ershova, I. G. Effect of heating of frozen colostrum in two-resonator installation / I. G. Ershova, G. V. Novikova, O. V. Mikhailova, M. V. Prosviryakova, V. F. Storchevoy and others // *International AgroScience Conference. Перспективы развития аграрных наук (AgroScience-2021)*. IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. – 2021. – Cheboksary. – P. 66 (Обоснование эффекта объемного нагрева замороженного молозива животных в двухрезонаторной установке, Scopus).

16. Ershova, I. G. Electrotechnology of animal colostrum defrosting in two-resonator microwave installations / M. Prosviryakova, I. Ershova, O. Mikhailova, G. Novikova, D. Tarakanov and G. Samarin // *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science, Volume 857, International Conference : Sustainable Development in Rural Areas (Развитие сельских территорий)*. – 2021. – Knyaginino, Russian Federation. – P. 012007 (Электротехнология размораживания молозива животных в двухрезонаторных микроволновых установках).

17. Ershova, I. G. Heat treatment of fat-containing raw materials with energy of electromagnetic radiation / I. G. Ershova, M. V. Belova, D. V. Poruchikov, M. A. Ershov // *International research journal (Международный научный журнал)*. – 2016. – № 09 (51). – Pp. 38-40 (Термическая обработка жиросодержащего сырья энергией электромагнитного излучения).

18. Ershova, I. G. UHF Device Introduction for Animal Raw Material Processing / I. G. Ershova, V Poruchikov, G. Samarin, A. Vasilyev, Normova T. and others // *Helix*. – 2020. – 10 (3). – Pp. 64-68 (СВЧ установка для переработки сырья животного происхождения).

19. Ershova, I. G. Mathematical model of colostrum defrosting in super-high-frequency generator equipped / I. G. Ershova, M. V. Prosviryakova, O. V. Mikhailova, G. V. Novikova, D. Poruchikov and others // *International AgroScience Conference, «Перспективы развития аграрных наук», (AgroScience-2021) : сб. науч. тр. по матер. Междун. конф.* IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. – 2021. – Cheboksary. – P. 56 (Математическая модель дефростации молозива животных в СВЧ установке с квазистационарными тороидальными резонаторами, Scopus).

20. Gelsinger, S. L. Effect of colostrum heat treatment and bacterial population on immuno-globulin G absorption and health of neonatal calves / S. L. Gelsinger, C. M. Jones, A. J. Heinrichs // *J. Dairy Sci.* – 2015. – № 98. – Pp. 4640-4645 (Влияние

термической обработки молозива и бактериальной популяции на усвоение иммуноглобулина G и здоровье новорожденных телят).

21. Godden, S. M. Heat-treated colostrum and reduced morbidity in preweaned dairy calves : Results of a randomized trial and examination of mechanisms of effectiveness / S. M. Godden, D. J. Smolenski, M. Donahue, J. M. Oakes, R. Bey, S. Wells, S. Sreevatsan, J. Stabel, and J. Fetrow // *J. Dairy Sci.* – 2012. – № 95. – Pp. 4029-4040 (Термообработанное молозиво и снижение заболеваемости у телят до отъема молока: результаты рандомизированного исследования и изучение механизмов эффективности).

22. Grażyna, C. Natural antioxidants in milk and dairy products / C. Grażyna [et al.] // *International Journal of Dairy Technology.* – 2017. – Vol. 70, № 2. – Pp. 165-178 (Натуральные антиоксиданты в молоке и молочных продуктах).

23. Halavach, T. M. Native and fermented cow colostrum as a component of functional products / T. M. Halavach, O. G. Kozich, V. A. Asafov, N. L. Tankova, E. L. Iskakova, D. M. Myalenko, D. V. Kharitonov, V. P. Kurchenko // *Trudy BGU [Proceedings of BSU].* – 2014. – vol. 9. – № 2. – Pp. 224-235 (Нативное и ферментированное коровье молоко как компонент продуктов функционального назначения).

24. Jeppson, M. R. Techniques of continuous microwave food processing / M. R. Jeppson // *Cornele Hotel Restaurant Admin.* – 1964. – № 5. – Pp. 60-64 (Методы непрерывного микроволнового производства продуктов питания).

25. Kondratowicz, J. Technological properties of pork thawed in the atmospheric air or in the microwave oven as determined during a six-month deepfreeze storage / J. Kondratowicz, I. Chwastowska-Siwiecka, E. Burczyk // *Animal science papers and rep. / Polish acad. of sciences, Inst. of genetics and animal breeding.* – Jastrzebiec. – 2008. – V. 26. – № 3. – Pp. 175-181 (Технологические свойства свинины, размороженной в атмосферном воздухе в микроволновой печи, после шестимесячного хранения в глубокой заморозке).

26. Kisselmina, Y. Kone. Power density control in microwave assisted air drying to improve quality of food / Kisselmina Y. Kone, Cyril Druon, Etienne Z. Gnimpieba, Michel Delmotte, Albert Duquenoy, JeanClaude Laguerre // *Journal of Food Engineering.* – Vol. 119. – Issue 4. – 2013. – Pp. 750-757. (Регулирование мощности при сушке на воздухе с помощью микроволновой печи для улучшения качества продуктов питания).

27. Larson, B. L. Immunoglobulins of the mammary secretions. In P. F. Fox (ed.) *Advanced Dairy Chemistry Proteins* (Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science Publisher). – 1992. – Pp. 231-254 (Имуноглобулины секрета молочных желез).

28. McConnell, M. A. A comparison of IgG and IgG1 activity in an early milk concentrate from non-immunized cows and milk from hyperimmunized animals / M. A. McConnell // *Food Res. Int.* – 2001. – Vol. 34. – Pp. 255-261 (Сравнение активности IgG и IgG1 в концентрате раннего молока от не иммунизированных коров и молока от иммунизированных животных).

29. Meyer, H. [et. al.] Conservation of colostrum / H. Meyer [et. al.]. – *Monatsheft Vet. Med.* 37. – 1982. – Pp. 27-32 (Консервирование молозива).

30. Migalev, I. E. Technology of Electromagnetic Radiation Danger Presentation / I. E. Migalev, A. A. Soshnikov, E. V. Titov // *International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon).* – Chelyabinsk. – 2019. – Pp. 169-173. (Технология представления опасности электромагнитного излучения).

31. Millar, B. Understanding the normal neonatal foal / B. Millar // *Veterinary Nursing Journal USA.* – 2013. – 28(11). – Pp. 352-355 (Нормальный неонатальный жеребенок).

32. Nielsen, L. Dødelighed hos kalve af malke race / L. Nielsen, A. Glasius, A. Fogh, and F. Skjøth // Report № 102. Landbrugets Ra'dgivningscenter, Dansk Kvæg. – Aarhus, Denmark (in Danish). – 2002. – 172 p. (Смертность телят молочных пород).
33. Novikova, G. V. Installations for defrosting and warming colostrum in continuous mode / G. V. Novikova, O. V. Mikhailova, M. V. Prosviryakova, A. A. Tikhonov, D. A. Tarakanov // AgroScience-2020 : International Agro Science Conference, IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. – 2020. – P. 604 (Установки для размораживания и разогрева молозива в непрерывном режиме).
34. Novikova, G. V. Installations for complex of electrophysical factors of raw materials / G. V. Novikova, G. V. Zhdankin, M. V. Belova // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. – 2019. – Т. 6. – № 438. – С. 287 (Установки для комплексного электрофизического воздействия на сырье).
35. Ribeiro, A. C. A. Specialty products made from goat milk / A. C. Ribeiro, S. D. Ribeiro // Small Ruminant Res. – 2010. – 89 (2-3). – P. 225-233 (Специальные продукты из козьего молока).
36. Rona, Z. P. Bovine colostrums Emerges as Immunity Modulator / Z. P. Rona // Am. J. Natural Med. – 1998. – P. 9-23 (Молозиво КРС в качестве модулятора иммунитета).
37. Samarin, G. N. Energy efficiency increase of the initial milk processing / G. N. Samarin, A. N. Vasilyev, A. K. Mamahay [et al.] // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering : 4th International Scientific and Technical Conference on Energy Systems, ICES 2019. – Belgorod : Institute of Physics Publishing. – 2020. – P. 012072 (Повышение энергоэффективности первичной переработки молока).
38. Sacerdote P. Biological components in a standardized derivative of bovine colostrum / P. Sacerdote [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2013. – Vol. 96. – № 3. – Pp. 1745-1754 (Биологические компоненты в стандартизированном производном коровьего молозива).
39. Sánchez, A. Bioactive peptides : A review / A. Sánchez, A. Vázquez // Food Quality and Safety. – 2017. – Vol. 1. – № 1. – Pp. 29-46 (Биоактивные пептиды: обзор)
40. Shamin, E. Microwave technologies and devices separating fur from rabbit skin / E. Shamin, G. Novikova, O. Michailova, M. Belova, I. Ershova, D. Poruchikov, S. Zaycev // Amazonia Investiga. – 2018. – Vol. 7. – № 17. – Pp. 630-640 (Микроволновые технологии и устройства для отделения меха от кожи кролика).
41. Svensson, C. Mortality in Swedish calves and replacement heifers / C. Svensson, A. Linder, S.-O. Olsson // Journal of Dairy Science. – 2006. – № 89. – P. 47694777 (Смертность телят в Швеции).
42. Torres, F. Complete FDTD analysis of microwave heating process in frequency dependent and temperature dependent media / F. Torres, B. Jecko // IEEE Trans. – 1997. – v. MTT-45. – № 1. – Pp. 108-117 (Полный анализ КРВО процесса микроволнового нагрева в частотно-зависимых и температурно-зависимых средах).
43. Whitney, R. Proteins of Milk. Fundamentals of Dairy Chemistry / R. Whitney, N. P. Wong, R. Jenness, M. Keeney, E. H. Marth, eds. // N. Y. Van Nostrand Reinhold, – 1988. – 3rd Ed. – Pp. 81-149 (Белки молока).
44. Wiking, L. Effects of heating colostrum in a microwave oven on Immunoglobulin G concentration / L. Wiking & R. Pedersen // Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science. – 2009. – 59 (1). – Pp. 66-69 (Влияние нагревания молозива в микроволновой печи на концентрацию иммуноглобулина G).

45. Zaremba, W. Efficacy of a dried colostrums powder in the prevention of disease in neonatal Holstein calves / W. Zaremba, W. M. Guterbock, C. A. Holmber // *J. Dairy Sci.* – 1993. – Vol. 76. – Pp. 831-836 (Эффективность сухого порошка молозива в профилактике заболеваний новорожденных телят голштинской породы).

46. Абдуллаева, Л. В. Актуальные вопросы технического регулирования молочной отрасли : [производство молока и молочной продукции регулируются на территории Российской Федерации законодательством Таможенного союза] / Л. В. Абдуллаева // *Переработка молока : технология, оборудование, продукция.* – 2013. – № 8. – С. 20-21.

47. Абросимова, С. В. Новое в регламентировании показателей качества молока и молочной продукции / С. В. Абросимова // *Переработка молока : технология, оборудование, продукция.* – 2014. – № 1. – С. 14-16.

48. Арутюнян, Т. А. Аналитическое описание тороидального резонатора высокой добротности в терагерцовой области частот / Т. А. Арутюнян, А. Ю. Вартанян, А. А. Ахумян, Х. В. Неркарарян // *Известия НАН Армении, Физика.* – 2012. – т. 47. – N 6. – С. 433-441.

49. Алексеенко, Я. В. Методы шепчущей галереи конического резонатора / Я. В. Алексеенко, А. М. Монахов, И. В. Рожанский // *Журнал технической физики.* – 2009. – Т. 79. – № 11. – С. 72-76.

50. Алмаши, Э. Быстрое замораживание пищевых продуктов / Э. Алмаши, Л. Эрдели, Т. Шарой. – М. : Легкая и пищевая промышленность. – 1981. – 408 с.

51. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : Учебное пособие. 7-е изд., стер. – СПб. : Лань. – 2009. – 592 с.

52. 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.

53. Асафов, В. А. Некоторые аспекты регулирования микробиологического состава молозива / В. А. Асафов, Н. Л. Танькова, Е. Л. Искакова [и др.] // *Пищевая индустрия.* – 2019. – № 4(42). – С. 20-25.

54. Астапов, А. Ю. Обработка молока низкоинтенсивным инфракрасным излучением : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Астапов Андрей Юрьевич. – Мичуринск-научоград. – 2013. – 16 с.

55. Афанасьев, С. А. Введение в электродинамику СВЧ / С. А. Афанасьев, Д. Г. Санников. Ульяновск : Ульяновский ГУ. – 2012. – 60 с.

56. Ахмедов, М. Э. Использование СВЧ-энергии для интенсификации тепловой стерилизации компотов / М. Э. Ахмедов, А. Ф. Демирова, М. М. Ахмедова, Р. А. Ахмедов // *Хранение и переработка сельхозсырья.* – 2013. – № 5. – С. 27-29.

57. Баранов, С. А. Оптимизация работы установок мембранной фильтрации : [характеристика мембранных насосов, применяемых в молочной промышленности] / С. А. Баранов // *Переработка молока : технология, оборудование, продукция.* – 2013. – № 4. – С. 37.

58. Бартенева, О. Бизнес-форум : актуальные тенденции молочного рынка / О. Бартенева // *Переработка молока : технология, оборудование, продукция.* –

2014. – № 1. – С. 56-59.

59. Баскаков, С. И. Электродинамика и распространения волн / С. И. Баскаков. – М.: Наука. – 1992. – 207 с.

60. Башилов, А. М. Видеоцифровизация аграрных производств / А. М. Башилов // АгроФорум. – 2019. – № 1. – С. 22-23.

61. Башилов, А. М. Основные направления видеоцифровизации АПК / А. М. Башилов, В. А. Королев // Цифровизация агропромышленного комплекса : Сборник научных статей, Тамбов, 10.10.2018. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет. – 2018. – С. 92-95.

62. Белова, М. В. Определение продолжительности переработки сырья в ЭМП СВЧ / М. В. Белова, Г. В. Новикова, Д. В. Поручиков, Е. А. Светопольский, И. Г. Ершова, М. Г. Сорокина // Естественные и технические науки. – 2015. – № 6. – С. 521-524.

63. Белова, М. В. Оценка эффективности применения установки для термообработки крови сельскохозяйственных животных / М. В. Белова, И. Г. Ершова, Н. Т. Уездный // Известия Оренбургского ГАУ. – 2014. – №3 (47). – С. 74-75.

64. Белова, М. В. Разработка и обоснование параметров / М. В. Белова, Д. В. Тараканов, А. А. Тихонов // СВЧ установки для размораживания и разогрева коровьего молозива // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 2 (105). – С. 45-55.

65. Белова, М. В. Экономическая эффективность применения СВЧ установки для термообработки субпродуктов / М. В. Белова, И. Г. Ершова, Н. Т. Уездный // Вестник ЧГПУ им. И. Я. Яковлева. – Чебоксары : ЧГПУ. – 2013. – № 4 (80). – С. 30-33.

66. Белоцерковский, Г. Б. Основы радиотехники и антенны. Антенны / Г. Б. Белоцерковский. часть II. М. : Советское радио. – 1969. – 322 с.

67. Большаков, С. А. Влияние микроволнового размораживания на некоторые свойства творога / С. А. Большаков // Липатовские чтения : Тезисы докладов. – М. : Изд-во Рос. экон. акад. – 2005. – С. 5-6.

68. Большаков, С. А. Экспериментальные исследования режимов размораживания пищевых продуктов и кулинарных изделий в поле СВЧ / С. А. Большаков, Г. Н. Логинов / Оборудование предприятий общественного питания. – 1976. – выпуск 3. – С. 86-93.

69. Будников, Д. А. Диэлектрические свойства сельскохозяйственных материалов / Д. А. Будников, А. А. Цымбал // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – № 3(18). – С. 154-159.

70. Будников, Д. А. Экспериментальное исследование коэффициента равномерности распространения микроволнового поля шести источников СВЧ / Д. А. Будников // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68. – № 1(42). – С. 3-7.

71. Будников, Д. А. Научно-методические основы определения параметров и режимов работы установок СВЧ-конвективной сушки зерна : дис. ... докт. техн. наук : 05.20.02 / Будников Дмитрий Александрович. – М. – 2020. – 405 с.

72. Буянова, И. В. Новые технологии замораживания молочных продуктов / И. В. Буянова // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 1. –

С. 22-26.

73. Гаврилов, Р. И. Некоторые аспекты распространения электромагнитного поля в токопроводящих материалах индукционных нагревателей / Р. И. Гаврилов, П. Л. Лекомцев, А. М. Ниязов, М. Л. Шавкунов // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 2(70). – С. 63-69.

74. Гаврюшенко, Б. С. [и др.] Обработка молока ультрафиолетовым излучением / Б. С. Гаврюшенко [и др.] // Переработка молока : технология, оборудование, продукция. – 2013. – № 7. – С. 26-32.

75. Ганина, В. И. Методы исследования свойств сырья и молочных продуктов. Лабораторный практикум / В. И. Ганина, З. В. Волокитина, И. И. Ионова. – М. : МГУПБ. – 2004. – 131 с.

76. Ганущенко, Л. Молозивный период : ошибки недопустимы / Л. Ганущенко // Животноводство России. – 2020. – № S2. – С. 19-23.

77. Герьетс, И. Дополнительная защита для молодняка : влияние глубокой заморозки на содержание антител в молозиве / И. Герьетс, Я. Флор // Новое сельское хозяйство. – 2008. № 1. – С. 86-87

78. Гинзбург, А. С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов / А. С. Гинзбург, М. А. Громов, Г. И. Красовская. – М. : Пищевая промышленность. – 1980. – 288 с.

79. Головань, В. Т. Рациональная система выращивания телят молочных пород скота / В. Т. Головань (и др.) // Молочное скотоводство. – 2008. – № 1. – С. 18-19.

80. Головач, Т. Н. Гидролиз белков молока ферментными препаратами и протеолитическими системами молочнокислых бактерий / Т. Н. Головач, В. П. Курченко // Труд. Белорусск. гос. ун-та. Сер.: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. – 2012. – Т. 7, Ч. 1-2. – С. 106-126.

81. Головач, Т. Н., Козич О. Г., Асафов В. А. и др. Нативное и ферментированное коровье молозиво как компонент продуктов функционального назначения / Т. Н. Головач, О. Г. Козич, В. А. Асафов [и др.] // Труды Белорусского государственного университета. Серия : Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. – 2014. – Т. 9. – № 2. – С. 224-235.

82. Гололобов, Д. В. [и др.]. Исследование объемного резонатора : метод. указ. к лаб. раб. № 4 по дисц. «Электродинамика и распространение радиоволн», «Электромагнитные поля и волны», «Основы проектирования СВЧ интегральных схем», «Теория колебания и волн», «Техника СВЧ и УВЧ в медицинских приборах» / сост. Д. В. Гололобов [и др.]. – Минск : БГУИР. – 2007. – 38 с.

83. Голубцов А. В. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на качество молока / А. В. Голубцов [и др.] // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2013. – № 4. – С. 77-78.

84. Горбатова, К. К. Химия и физика молока / К. К. Горбатова, П. И. Гунькова; под общ. ред. К. К. Горбатовой. – СПб.: ГИОРД. – 2012. – 336 с.

85. Гришина, Е. М. Многокритериальная технико-экономическая оптимизация в СВЧ электротермии / Е. М. Гришина, Ю. С. Архангельский // Вестник Саратовского государственного технического университета. Т. 1. № 1 (69). – 2013. – С. 21-27.

86. Гришина, Е. М. Расчет установки для СВЧ обработки материалов с различными диэлектрическими свойствами / Е. М. Гришина // Вестник Саратовского государственного технического университета. – Т. 2. – № 2с (66). – 2012. – С. 54-58.

87. Груздева, М. А. Гигиена молочного производства : как оптимизировать затраты : [высокий уровень гигиены на производстве способствует высокому качеству молочной продукции] / М. А. Груздева // Переработка молока : технология, оборудование, продукция. – 2013. – № 3. – С. 68.

88. Давыдова, Р. Ключевые вопросы технологии молочных продуктов : [способы обработки и обеззараживания молока в мировой практике] / Р. Давыдова // Переработка молока : технология, оборудование, продукция. – 2013. – № 12. – С. 54-55.

89. Девятков, Н. Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона длин волн на биологические объекты / Н. Д. Девятков // Успехи физических наук. – 1973. – Т. 110. – вып. 3. – С. 453-454.

90. Диденко, А. Н. СВЧ-энергетика : Теория и практика. – М.: Наука. – 2003. – 446 с.

91. Диэлектрические резонаторы. Под редакцией М. Е. Ильченко. – М.: Радио связь. – 1989. – 328 с.

92. Диэлектрический резонатор [электронный ресурс]. – Режим доступа : ru.other.wiki/wiki/Dielectric_resonator (дата обращения 21.05.2021).

93. Дробахин, О. О. Исследование возможности применения связанных биконических резонаторов для определения параметров диэлектрических материалов / О. О. Дробахин, Д. Ю. Салтыков // Прикладная радиоэлектроника. – 2014. – том 13. – № 1. – С. 63-69.

94. Ершова, И. Г. Модификации термообработки сельскохозяйственных продуктов с использованием сверхвысокочастотной энергии / И. Г. Ершова, М. В. Белова, Д. В. Поручиков // WORLD SCIENCE : International Scientific and Practical Conference (Scientific and Practical Results in 2015. Prospects for Their Development (Abu-Dhabi, UAE). – 2016. – 1(5), Vol. 1. – Pp. 44-45.

95. Ершова, И. Г. Сверхвысокочастотная установка для выделения жира при переработке мясосодержащего сырья и определение ее добротности / И. Г. Ершова, Д. В. Поручиков // Вестник ВИЭСХ. – 2018. – № 4 (33). – С. 40-45.

96. Ершова, И. Г. Обоснование параметров размораживателя молозива животных с СВЧ энергоподводом в коаксиальный резонатор / И. Г. Ершова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3 (101). – С. 179-194.

97. Ершова, И. Г. Исследование эндогенного нагрева жиросодержащего сырья / И. Г. Ершова, М. Г. Сорокина // Достижения современной науки в области энергосбережения (по матер. исследований молодых ученых) : сб. науч. тр.

по матер. межд. науч.-прак. конф. – Чебоксары : Печатня. – 2013. – С. 246-248.

98. Ершова, И. Г. Методика модификации процессов тепловой обработки продуктов воздействием энергией электромагнитных излучений / И. Г. Ершова, Г. В. Новикова, М. В. Белова, Д. В. Поручиков // Достижения науки агропромышленному комплексу развития : сб. науч. тр. по матер. межд. науч.-прак. конф. – Самара : Самарская ГСХА. – 2016. – С. 288-291.

99. Ершова, И. Г. Методологические основы разработки СВЧ установок для дефростации молозива животных в фермерских хозяйствах / И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова. – Княгинино : ГБОУ ВО НГИЭУ. – 2021. – 250 с.

100. Ершова, И. Г. Микроволновые технологии и установки для дефростации молозива животных / И. Г. Ершова, Г. В. Новикова, М. В. Просвирякова, О. В. Михайлова // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. Мосоловские чтения : сб. науч. тр. по матер. XXIII межд. науч.-прак. конф. – Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т. – 2021. – С. 650-655.

101. Ершова, И. Г. Постановка проблемы повышения эффективности функционирования установок для переработки сельхозсырья / И. Г. Ершова, Г. В. Новикова, Д. В. Поручиков, М. А. Ершов // Современные тенденции развития науки и технологий : сб. науч. тр. по матер. XVIII Межд. науч.-прак. конф. – Белгород : Агентство перспективных научных исследований. – 2016. – С. 14-16.

102. Ершова, И. Г. Разработка процесса термообработки жиросодержащего сырья / И. Г. Ершова, М. Г. Сорокина, М. В. Белова // сб. науч. тр. по матер. межд. науч.-прак. конф. Института механизации и технического сервиса. – Казань : Казанский ГАУ. – 2014. – С. 123-127.

103. Ершова, И. Г. Разработка СВЧ размораживателя коровьего молозива / И. Г. Ершова, Д. А. Тараканов, М. В. Белова // Вестник всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – М. : ВНИИМЖ РАСХН. – № 1 (33). – 2019. – С. 178-182.

104. Ершова, И. Г. Разработка способа переработки сельхозпродукции с использованием энергии разных длин волн / И. Г. Ершова, Г. В. Новикова, Д. В. Поручиков, М. А. Ершов // Современные тенденции развития науки и технологий : сб. науч. тр. по матер. XVIII Межд. науч.-прак. конф. – Белгород : Агентство перспективных научных исследований. – 2016. – С. 16-18.

105. Ершова, И. Г. СВЧ установка для дефростации и разогрева молозива животных в эффективных режимах / И. Г. Ершова, Г. В. Новикова, М. В. Просвирякова, О. В. Михайлова // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 8 (123). – С. 57-69.

106. Ершова, И. Г. Термообработка жиросодержащего сырья / И. Г. Ершова, О. В. Науменко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сб. науч. тр. по матер. межд. заоч. науч.-прак. конф. – Воронеж : ВГЛТА. – 2015. – № 1 (12). – С. 204-207.

107. Ершова, И. Г. Термообработка жиросодержащего сырья / И. Г. Ершова, М. Г. Сорокина, М. В. Белова // сб. науч. тр. по матер. X всеросс. науч.-прак. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Чебоксары : ЧГСХА. – 2014. – С. 245-249.

108. Ершова, И. Г. Технологический процесс термообработки жиросодержащего сырья и устройство для его осуществления / И. Г. Ершова, О. В. Науменко // *Естественные и технические науки*. – 2014. – № 8 (76). – С. 124-125.

109. Ершова, И. Г. Технология переработки жиросодержащего сырья / О. В. Михайлова, И. Г. Ершова, М. Г. Сорокина // *Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева*. – Чебоксары : ЧГПУ. – 2013. – № 4 (80). – С. 34-37.

110. Ершова, И. Г. Методика модификации процессов тепловой обработки продуктов воздействием энергией электромагнитных излучений / И. Г. Ершова, М. В. Белова, Д. В. Поручиков // *Наука, образование, общество : тенденции и перспективы развития : сб. науч. тр. по матер. межд. науч.-прак. конф.* – Чебоксары : Интерактив плюс. – 2015. – С. 232-234.

111. 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.

112. Золотарев, В. М. Распределение стационарного электрического поля в цилиндрическом неидеальном диэлектрике / В. В. Золотарев, В. П. Карпушенко, В. М. Золотарев, А. А. Науменко // *Электротехника и электромеханика*. – 2008. – № 4. – С. 65-69.

113. Злобин, С. Качество молозива и сохранность телят / С. Злобин // *Животноводство России*. – 2008. – № 3. – С. 57-58.

114. Ивашов, В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности, Ч.1. М.: Колос. – 2001. – 552 с.

115. Роботизированная технология получения молока от отдельных коров и ее технико-экономическая оценка / Ю. Г. Иванов, Е. В. Машошина, Л. Н. Верликова [и др.] // *Техника и технологии в животноводстве*. – 2021. – № 2 (42). – С. 46-52.

116. Илюхин, В. В. Монтаж, наладка, диагностика, ремонт и сервис оборудования предприятий молочной промышленности : учеб. для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 260601 «Машины и аппараты пищевых производств» направления подготовки дипломированного специалиста 260600 «Пищевая инженерия» / В. В. Илюхин, И. М. Тамбовцев, М. Я. Бурлев. – Санкт-Петербург : ГИОРД. – 2008. – 499 с.

117. Искин, В. Д. Биологические эффекты миллиметровых волн и корреляционный метод их обнаружения / В. Д. Искин. – Харьков : Осова. – 1990. – 248 с.

118. Исмаилов, Э. Ш. Биофизическое действие СВЧ-излучений / Э. Ш. Исмаилов. – М. : Энергоатомиздат. – 1987. – 144 с.

119. Исмаилов, Э. Ш. Использование микроволн в пищевой промышленности / Э. Ш. Исмаилов, С. С. Шихалиев, Р. Г. Кулиева // *Известия вузов. Пищевая технология*. – 2010. – № 2 – 3. – С. 37-38.

120. Йулчиев А. Б., Норматов А. М. СВЧ-установка для влаготепловой обработки хлопковой мятки // *Universum : технические науки*. – 2020. – № 7-2 (76). – С. 51-57.

121. Казанский, М. М. Технология молока и молочных продуктов : учебное

пособие / М. М. Казанский, П. В. Твердохлебов. – М. : Пищепромиздат. – 1955. – 523 с.

122. Калинина, Л. В. Технология цельномолочных продуктов : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 655900 – Технология сырья и продуктов животного происхождения, по специальности 271100 – Технология молока и молочных продуктов / Л. В. Калинина, В. И. Ганина, Н. И. Дунченко. – Санкт-Петербург : ГИОРД. – 2008. – 227 с.

123. Калугин, К. С. Исследование распределения теплоты в фазопереходном тепловом аккумуляторе под воздействием ультразвука / К. С. Калугин, П. Л. Лекомцев // Научные инновации в развитии отраслей АПК : сб. науч. тр. по матер. Межд. науч.-практ. конф. В 3-х т. – Ижевск : Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. – 2020. – С. 114-117.

124. Качество молока : справочник для работников лабораторий, зоотехников молочнотоварных ферм и работников молокоперерабатывающих предприятий / В. Я. Лях [и др.]. - Санкт-Петербург : ГИОРД. –2008. – 206 с.

125. Килкаст, Д. Стабильность и срок годности. Молочные продукты / Д. Килкаст, П. Субраманиами (ред.-сост.). – Перев. с англ. под научн. ред. канд. техн. наук, доц. Ю. Г. Базарновой. – СПб. : Профессия. – 2013. – 376 с.

126. Кириллов, Н. К. Обеззараживание молока в электромагнитном поле сверхвысокой частоты : [монография] / Н. К. Кириллов, Г. В. Новикова, А. Н. Пономарев ; Чуваш. гос. с.-х. акад. ; [науч. ред. О. В. Михайлова]. – Чебоксары : ЧГСХА. – 2011. – 183 с.

127. Коломейцев, В. А. Расчет параметров базовых элементов рабочих камер СВЧ нагревательных установок на волноводах сложной формы / В. А. Коломейцев, В. В. Комаров // Современные проблемы применения СВЧ энергии. Саратов : СГТУ. – 1993. – С. 61-62.

128. Колызаев, С. Б. Микроволновые дефростеры – правда и вымыслы. / С. Б. Колызаев // Мясной ряд. – 2005. – № 4. – С. 74.

129. Корякина, Л. П. Особенности клеточного состава молозива коров в первые сутки лактации / Л. П. Корякина // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 2. – С. 54-55.

130. Краев, А. А. Допустимый уровень потока мощности электромагнитного поля при эксплуатации СВЧ-установок и методы его измерения [Электронный ресурс] : Секция "Техника и технология переработки гидробионтов и сельскохозяйственного сырья" / Научно-техническая конференция МГТУ. – Режим доступа: http://www.mstu.edu.ru/science/conferences/11ntk/materials/section17/section17_12.html. – Загл. с экрана. (дата обращения : 04.09.2014).

131. Крючин, П. В. Надёжность систем электроснабжения / П. В. Крючин, С. Н. Тарасов, С. В. Машков [и др.]. – Кинель : Редакционно-издательский отдел. – 2018. – 110 с.

132. Курочкин, А. А. Технологическое оборудование для переработки продукции животноводства : учеб. для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 110303 «Механизация переработки сельскохозяйственной продукции» / А. А. Курочкин. – М. : КолосС. – 2010. – 502 с.

133. Лефлер, Т. Ф. Массовая доля белка и жира в молоке коров в зависимости от их удоя / Т. Ф. Лефлер, А. А. Лесун. – Текст : непосредственный // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 8. – С. 175-179.

134. Лозовская, Д. С. Оценка технологических свойств молозива как сырья для производства пищевых продуктов / Д. С. Лозовская, О. В. Дымар // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. – 2016. – № 10. – С. 140-153.

135. Лыков, А. В. Теория тепло- и массопереноса : монография / А. В. Лыков, Ю. А. Михайлов. – М.-Ленинград : Государственное энергетическое издательство. – 1963. – 535 с.

136. Мазо, А. Б. Основы теории и методы расчета теплопередачи : учебное пособие / А. Б. Мазо. – Казань : Казан. ун-т. – 2013. – 144 с.

137. Научно-технические основы биотехнологии молочных продуктов нового поколения : учебное пособие / А. Г. Храмцов [и др.]. – Ставрополь : СевКавГТУ. – 2002. – 118 с.

138. Нетушил, А. В. Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников / А. В. Нетушил, Б.Я. Жуковицкий, В. Н. Кудрин, Е. П. Парини. – М. : Госэнергоиздат. – 1959. – 480 с.

139. Новикова, Г. В. Разработка микроволновой технологии и установки для размораживания и разогрева коровьего молозива / Г. В. Новикова, О. В. Михайлова, С. П. Зайцев // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3 (14). – С. 90-94.

140. Новикова, Г. В. СВЧ-установка непрерывного действия для размораживания и разогрева коровьего молозива / Г. В. Новикова, М. В. Белова, О. В. Михайлова, А. А. Тихонов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1(81). – С. 108-113.

141. Никольский, В. В. Электродинамика и распространение радиоволн / В. В. Никольский, Т. И. // Учеб. пособие для вузов. 3-е изд., М. : Наука. – 1989. – 544 с.

142. Новикова, Г. В. Исследование параметров двухрезонаторной СВЧ установки для дефростации и подогрева коровьего молозива / Г. В. Новикова, Б. Г. Зиганшин, О. В. Михайлова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, П. В. Зайцев, Н. К. Кириллов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. № 1 (61). – С. 77-83.

143. Новикова, Г. В. Математическое описание процесса плавления жира в СВЧ установке / Г. В. Новикова, М. В. Белова, А. А. Белов, О. В. Михайлова, Н. И. Махоткина // Естественные и технические науки. – 2015. – № 6 (84). – С. 524-526.

144. Новикова, Г. В. СВЧ установки для размораживания коровьего молозива / Г. В. Новикова, О. В. Михайлова, М. В. Просвирякова, И. Г. Ершова // Агротехника и энергообеспечение. – 2021. – № 1 (30). С. 24-32.

145. Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов / Д. Норри, де Фриз Ж. – М. : Мир. – 1981. – 304 с.

146. Новикова, Г. В. Установка для комплексного воздействия электрофизи-

ческих факторов на сырье / Г. В. Новикова, Г. В. Жданкин, О. В. Михайлова, М. В. Белова // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия химии и технологии. – 2019. – № 4 (436). – С. 54.

147. Носатюк, С. О., Пихтелев, Н. А. Возбуждение мод шепчущей галереи в экранированных квазиоптических диэлектрических резонаторах планарным волноводом : дис. ... Харьков. – 2016. – 146 с.

148. Новикова, Г. В. Установка для вытопки жира / Г. В. Новикова, И. М. Селиванов, М. В. Белова, И. Г. Ершова, А. Б. Оспанов // Естественные и технические науки. – 2015. – № 6. – С. 288-290.

149. Новикова, Г. В. Установка для термообработки жиросодержащего сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / Г. В. Новикова, М. В. Белова, О. В. Михайлова, И. Г. Ершова, М. Г. Сорокина // Естественные и технические науки. – 2015. – № 1 (79). – С. 129-130.

150. О техническом регламенте Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» (вместе с «ТР ТС 033/2013. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности молока и молочной продукции») [Электронный ресурс] : решение Совета Евразийской экономической комиссии от 9 окт. 2013 г. № 67 / Евразийская экономическая комиссия. – Режим доступа : <http://www.eurasiancommission.org/>. – Загл. с экрана. – (дата обращения : 04.09.2014).

151. О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» : Постановление Правительства РФ от 22 октября 2021 г. N 1814 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2022. – № 39. – Ст. 6710.

152. Оноприйко, В. А. Овечье молоко – один из потенциальных ресурсов обеспечения продовольственной безопасности страны / В. А. Оноприйко // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2009. – № 4. – С. 13-14.

153. Орлов, В. В. Перспективы применения микроволновой обработки жидких пищевых продуктов / В. В. Орлов, А. С. Алферев // Процессы и аппараты пищевых производств. – 2006. – № 2. – С. 52-54.

154. Основы технологии производства и первичной обработки продукции животноводства : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 111100 – «Зоотехния» / [Л. Ю. Киселев и др.] ; под ред. Л. Ю. Киселева. – Санкт-Петербург : Лань. – 2013. – 447 с.

155. Остапенков, А. М. Влияние электромагнитных полей малой интенсивности на микроорганизмы / А. М. Остапенков, В. А. Матисон, А. В. Беловолов и др. // Известия вузов. Пищевая технология. – 1976. – № 1. – С. 77-79.

156. Остапенков, А. М. Стерилизующие свойства электромагнитного поля СВЧ диапазона / А. М. Остапенков // Электронная обработка материалов. – 1981. – № 1. – С. 9.

157. Пасконов, В. М. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена : [учеб. пособие по спец. «Прикл. Математика», «Физика» и «Механика»] / В. М. Пасконов, В. И. Полежаев, Л. А. Чудов. – М. : Наука. – 1984. – 285 с.

158. Пономарев, К. К. Составление дифференциальных уравнений : учеб. по-

собие / К. К. Пономарев. – Минск : Высш. школа. – 1973. – 560 с.

159. Патент № 49-1178 (Япония). Нагревательное устройство с волноводом. Мки H05 в 9/06//б.и. 11.01.74 № 4-30. – 10 с.

160. Патент 2541694 РФ, МПК C11B 1/12 (2006.01). Установка для термообработки жиросодержащего сырья / М. Г. Сорокина, М. В. Белова, О. В. Михайлова, Г. В. Новикова, И. Г. Ершова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2013145358/13 (070117); заявл. 09.10.2013; опубл. 20.02.2015. – Бюл. № 5. – 10 с.

161. Патент 2581224 РФ, МПК A22C 17/00, C11B 1/12. Центробежная установка для термообработки жиросодержащего сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / Белова М. В., Белов А. А., Новикова Г. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г.; заявитель и патентообладатель МАДИ. – № 2014150840/13; заявл. 15.12.2014; опубл. 20.04.2016. – Бюл. № 11. – 10 с.

162. Патент № 138199 РФ, МПК A01K 1/02 (2006.01). Ультрафиолетовая сверхвысококачественная установка / М. С. Боровков, Г. В. Новикова, М. А. Ершов, И. Г. Ершова, заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2013125814; заявл. 04.06.2013; опубл. 10.09.2013. – Бюл. № 7. – 10 с.

163. Патент № 2526942 РФ МПК A21D 8/02. СВЧ установка для термообработки мучных изделий / Н. Т. Уездный, Н. К. Кириллов, Г. В. Новикова, М. В. Белова, И. Г. Ершова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2013105921; заявл. 12.02.2013; опубл. 27.08.2014. – Бюл. № 24. – 10 с.

164. Патент № 2537552 РФ МПК A23J 3/12, A22B 5/04. Установка для термообработки крови сельскохозяйственных животных / М. В. Белова, Н. Т. Уездный, Б. Г. Зиганшин, А. А. Белов, Г. В. Новикова, И. Г. Ершова; заявитель и патентообладатель – ЧГСХА. – № 2013137720/13; заявл. 12.08.2013; опубл. 10.01.2015. – Бюл. № 1. – 10 с.

165. Патент № 2541634 C1 РФ, МПК A23J 1/06 (2006.01), A23K 1/04 (2006.01). Способ термообработки крови сельскохозяйственных животных / М. В. Белова, А. А. Белов, Г. В. Новикова, Н. Т. Уездный, И. Г. Ершова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2013146767/13; заявл. 18.10.2013, опубл. 20.02.2015. – Бюл. № 5. – 10 с.

166. Патент № 2565227 РФ, МПК A23B 4/037. Сублиматор с сверхвысококачественным генератором для сушки замороженной продукции / М. В. Белова, А. А. Белов, Л. В. Семенов, И. А. Викторова, Г. В. Новикова, И. Г. Ершова и др.; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2014119061/13; заявл. 12.05.2014; опубл. 20.10.2015. – Бюл. № 29. – 10 с.

167. Патент № 2591126 РФ, МПК C11B 1/12 (2006.01). Установка для вытопки жира в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / И. Г. Ершова, М. В. Белова, А. А. Белов, Г. В. Новикова, О. В. Михайлова и др.; заявитель и патентообладатель АНО ВО «Академия технологии и управления». – № 2015116255/13; заявл. 28.04.2015; опубл. 10.07.2016. – Бюл. № 19. – 10 с.

168. Патент № 2592861 РФ, МПК H05B 6/64 (2006.01). Сверхвысококачественная установка для термообработки сырья в оболочке / И. Г. Ершова, М. В. Белова, А. А. Белов, Г. В. Новикова, О. В. Михайлова и др.; заявитель и патенто-

обладатель АНО ВО «Академия технологии и управления». – № 2015119313/07; заявл. 21.05.2015; опубл. 27.07.2016. – Бюл. № 21. – 10 с.

169. Патент № 2600697 РФ, МПК А23L 5/30 (2016.01). Сверхвысокочастотная установка для плавления жира / И. Г. Ершова, М. В. Белова, А. А. Белов, Г. В. Новикова, О. В. Михайлова и др. заявитель и патентообладатель АНО ВО «Академия технологии и управления». – № 2015117451/13; заявл. 07.05.2015; опубл. 27.10.2016. – Бюл. № 30. – 10 с.

170. Патент № 2605355 РФ, МПК С11В 1/12. Сверхвысокочастотная установка для выделения расплавленного жира из жиросодержащего сырья / И. Г. Ершова, М. В. Белова, А. А. Белов, Г. В. Новикова, О. В. Михайлова, И. М. Селиванов, Н. М. Иванова, Н. В. Петров; заявитель и патентообладатель АНО ВО «Академия технологии и управления». – № 2015138179/13; заявл. 07.09.2015; опубл. 20.12.2016. – Бюл. № 35. – 10 с.

171. Патент № 2626156 РФ, МПК А 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. – № 2016133572; заявл. 15.08.2016. – Бюл. № 2. – 10 с.

172. Патент № 2694944 РФ, МПК А47J39/00. Микроволновая установка для размораживания коровьего молозива / Д. В. Поручиков, А. Н. Васильев, И. Г. Ершова, Г. В. Новикова, М. В. Белова; заявитель и патентообладатель ВИМ. – № 2018143727; заявл. 11.12.2018, опубл. 18.07.2019. – Бюл. № 20. – 10 с.

173. Патент № 2721484 РФ. СВЧ установка с биконическим резонатором для размораживания коровьего молозива в непрерывном режиме / Д. А. Тараканов, М. В. Белова, О. В. Михайлова, Г. В. Новикова, А. А. Коннов; заявитель и патентообладатель НГИЭУ. – № 2019131642; заявл. 07.10.2019, опубл. 19.05.2020. – Бюл. № 14. – 10 с.

174. Патент № 2732722 РФ, МПК А47J.39/00. СВЧ установка с нетрадиционными резонаторами для размораживания и разогрева коровьего молозива в непрерывном режиме / А. А. Тихонов, А. В. Казаков, Г. В. Новикова, М. В. Белова, О. В. Михайлова, Д. А. Тараканов, заявитель и патентообладатель НГИЭУ. – № 2020107761; заявл. 26.11.2019, опубл. 22.09.2020. – Бюл. № 27. – 10 с.

175. Патент № 2752941 РФ, МПК А47J.39/00. Радиогерметичная многорезонаторная установка для размораживания и разогрева молозива животных / Г. В. Новикова, М. В. Просвирякова, О. В. Михайлова, И. Г. Ершова, Б. Г. Зиганшин, Д. А. Тараканов; заявитель и патентообладатель НГИЭУ. – № 2020104252; заявл. 30.01.2020, опубл. 20.10.2020. – Бюл. № 29. – 10 с.

176. Патент № 2734593 РФ, МПК А47J.39/00. СВЧ установка для размораживания и разогрева коровьего молозива с соосно расположенными резонаторами / Г. В. Новикова, М. В. Белова, О. В. Михайлова, Д. В. Тараканов, И. А. Сорокин, А. А. Тихонов, А. В. Казаков, заявитель и патентообладатель НГИЭУ. – № 2020104252; заявл. 30.01.2020, опубл. 20.10.2020. – Бюл. № 29. – 10 с.

177. Патент № 2734618 РФ, МПК А47J.39/00. СВЧ установка с кольцевым резонатором для размораживания и разогрева коровьего молозива / Г. В. Новикова, А. А. Тихонов, А. В. Казаков, М. В. Белова, О. В. Михайлова, Д. А. Тара-

канов, заявитель и патентообладатель НГИЭУ. – № 2020105315; заявл. 04.02.2020, опубл. 21.10.2020. – Бюл. № 3. – 10 с.

178. Патент № 2744423 РФ, МПК А47J.39/00. СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коническими резонаторами для размораживания и разогрева коровьего молозива / Г. В. Новикова, М. В. Просвирякова, О. В. Михайлова, И. М. Замятина, А. А. Тихонов, Д. В. Тараканов, заявитель и патентообладатель НГИЭУ. – № 2020131230; заявл. 10.09.2020, опубл. 09.03.2021. – Бюл. № 7. – 10 с.

179. Патент № 2752938 РФ, МПК А47J.39/00. Двухмодульная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для размораживания и разогрева коровьего молозива / Г. В. Новикова, М. В. Просвирякова, О. В. Михайлова, И. Г. Ершова, Д. А. Тараканов, А. А. Тихонов; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2020141711; заявл. 17.12.2020, опубл. 11.08.2021. – Бюл. № 23. – 10 с.

180. Патент № 3843860 (США). Витое сверхвысокочастотное устройство. МКИ4 Н05 В 9/06 // Б.И. 22.10.74, №4-927. – 10 с.

181. Патент № 753424 РФ, МПК А47J.39/00. СВЧ установка непрерывно-поточного действия с квазистационарными тороидальными резонаторами для размораживания и разогрева молозива животных / Г. В. Новикова, В. Ф. Сторчевой, М. В. Просвирякова, О. В. Михайлова, И. Г. Ершова, Д. А. Тараканов; заявитель и патентообладатель НГИЭУ. – № 2021104198; заявл. 19.02.2021, опубл. 16.08.2021. – Бюл. № 9. – 9 с.

182. Патент № 886878 СССР, МПК А23К 1/08(2006.01). Способ хранения молозива для выпойки телят / Я. И. Клаар, К. – Р. М. Курм, В. Э. Каарупун; заявитель и патентообладатель Эстонская сельскохозяйственная академия. – № 2970959; заявл. 1980.07.24, опубл. 1981.12.07. – Бюл. № 45. – 4 с.

183. Педенко, А. И. Действие электромагнитного поля сверхвысокочастотного диапазона на микроорганизмы / А. И. Педенко, Б. И. Белицкий, И. В. Лерина, Ю. В. Макеев, В. Н. Куташев // Известия вузов, Пищевая технология. – 1982. – № 5. – С. 54-56.

184. Перельмутер В. М. Медико-биологические аспекты взаимодействия электромагнитных волн с организмом : учебное пособие / В. М. Перельмутер, В. А. Ча, Е. М. Чуприкова. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета. – 2009. – 128 с.

185. Петров, С. В. Микроволновая дефростация – альтернативы нет / С. В. Петров // Мясные технологии. – 2009. – № 10. – С. 40-41.

186. Пихтелев, Н. А. Цилиндрические металлодиэлектрические резонаторы в аппаратуре для физических исследований : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.12.07 / Пихтелев Николай Александрович. – Нижний Новгород. – 2005. – 20 с.

187. Писаренко, Н. А. Молозиво, его состав, свойств и значение для новорожденных телят (методическое пособие) / Н. А. Писаренко. – Ставрополь. – 2004. – 19 с.

188. Полозюк, О. Н. Влияние иммуноглобулинов молозива на постнатальный период телят / О. Н. Полозюк, В. А. Кавалерист // Вестник Донского государ-

ственного аграрного университета. – 2015. – № 3 (17.1). Ч. 1. – С. 4-7.

189. Попкова, Н. А. Продуктивность и химический состав молочного сырья коров при использовании иммуномодуляторов / Н. А. Попкова. – Текст : непосредственный // Пути реализации федеральной научно-практической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы : сб. науч. тр. по матер. Межд. науч.-прак. конф., посвященной 75-летию Курганской области. – Лесниково. – 2018. – С. 632-637.

190. Предприятия пищевой и перерабатывающей промышленности (технологические процессы, сырье). Производство молока и молочных продуктов. Санитарные правила и нормы : СанПиН 2.3.4.551-96. 2.3.4 : утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора Российской Федерации от 4 окт. 1996 г. № 23. – М. : Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора РФ. – 1996. – 55 с.

191. Патент №2055447 РФ. Установка для СВЧ обработки диэлектрических материалов / И. В. Барышников и др. // Б. И. 1996. № 6. – 10 с.

192. Патент № 2392733 С1 РФ, МПК H03B9/10. Устройство для сложения мощностей двух СВЧ генераторов на магнетронах / В. И. Артамонов, Н. И. Алексеева, В. А. Вартанян, Ю. М. Егоров, В. А. Маевский, Ю. А. Собченко; заявитель и патентообладатель ММПШ Салют. – № 2009120126/09; заявл. 28.05.2009, опубл. 20.06.2010. – Бюл. № 17. – 10 с.

193. Патент № 2534728 С1 РФ МПК G01N 27/00 (2006.01). Устройство для определения параметров металлодиэлектрических структур / Д. А. Усанов, С. А. Никитов, А. В. Скрипаль, В. Е. Орлов, А. П. Фролов ; заявитель и патентообладатель Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского. – № 2013125177/28; заявл. 30.05.2013, опубл. 10.12.2014. – Бюл. № 34. – 10с.

194. Попов, В. М. Комбинированные электромагнитные воздействия как метод стимуляции семян сельскохозяйственных культур с твердой оболочкой / В.М. Попов, В.А. Афонькина, Е.И. Кривошеева, В.Н. Левинский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – №3 (89). – С. 143-146.

195. Пушкарев, И. А. Физико-химические показатели молозива коров после применения биогенного препарата / И. А. Пушкарев, Т. В. Куренинова, Т. Л. Силивирова [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 8(178). – С. 117-122.

196. Пчельников, Ю. Н. Электроника сверхвысоких частот / Ю. Н. Пчельников, В. Т. Свиридов. – М. : Радио и связь. – 1981. – 96 с.

197. Размораживатель молозива «ПримаЛакт» Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: [propribory.ru>static/upl/27-03-2020/OskNzivotnovodstvo.ru>molozivo-ego-sostav-svoystva...i...](http://propribory.ru/static/upl/27-03-2020/OskNzivotnovodstvo.ru/molozivo-ego-sostav-svoystva...i...) (дата обращения 13.03.2020).

198. Рогов, И. А. Физические методы обработки пищевых продуктов / И. А. Рогов, А.В. Горбатов. – М. : Пищевая промышленность. – 1974. – 583 с.

199. Рогов, И. А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов / И. А. Рогов. – М. : Агропромиздат. – 1988. – 272 с.

200. Рогов, И. А. Электрофизические, оптические и акустические характери-

стики пищевых продуктов / И. А. Рогов. – М. : Легкая и пищевая промышленность. – 1981. – 288 с.

201. Родионова, А. В. Технология обеззараживания молока комплексным воздействием электромагнитных излучений разных длин волн / А. В. Родионова // Технические науки – от теории к практике : сб. науч. тр. по матер. XXII межд. заоч. науч.-прак. конф. – Новосибирск : СибАК. – 2013. – С. 98.

202. Родионова, В. Н. Исследования в СВЧ-диапазоне: электродинамика резонансных систем, приборы и оборудование для решения научных и прикладных задач / В. Н. Родионова, В. А. Карпович, Г. Я. Слепян [электронный ресурс]. – С. 295-311. – Режим доступа : <https://elibr.bsu.by/bitstream/123456789/227754/4/295-311.pdf> (дата обращения 01.09.2020).

203. Родионов, Г. В. Влияние электромагнитного излучения на качество молочных продуктов / Г. В. Родионов, О. Г. Хоружева, С. Д. Бадуанова, Е. В. Прошина // Главный зоотехник. – 2016. – № 3. – С. 71-76.

204. Рущиц, А. А. Применение СВЧ-нагрева в пищевой промышленности и общественном питании / А. А. Рущиц, Е. И. Щербакова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия : Пищевые и биотехнологии. – Т. 2. – № 1. – 2014. – С. 9-15.

205. Самарин, Г. Н. Анализ нормативных документов, определяющих требования к молоку-сырью в различных экономических зонах / Г. Н. Самарин, А. К. Мамахай, В. А. Ружьев, Е. А. Евентьева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2019. – № 154. – С. 383-395.

206. Самарин, Г. Н. Анализ современных способов определения качества молока / Г. Н. Самарин, А. Н. Васильев, А. К. Мамахай, В. А. Ружьев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 5(79). – С. 158-162.

207. Самарин, Г. Н. Исследования по кислотности молока / Г. Н. Самарин, Т. И. Скопцова, Е. А. Евентьева, Д. Ю. Кривогузов // Проблемы инновационного развития АПК : сб. науч. тр. по матер. Междун. науч. конф., Великие Луки, 13-14 апреля 2017 г. Великие Луки : Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. – 2017. – С. 131-133.

208. Самарин, Г. Н. Лабораторные исследования по ультразвуковой обработке молока / Г. Н. Самарин, Е. А. Евентьева, Е. В. Шилин, Д. Ю. Кривогузов // Проблемы инновационного развития АПК : сб. науч. тр. по матер. Междун. науч. конф., 13-14 апреля 2017 г. – Великие Луки : Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. – 2017. – С. 128-130.

209. Самарин, Г. Н. Экономическое обоснование первичной обработки молока ультразвуком / Г. Н. Самарин, Е. А. Евентьева, Т. Е. Федорова-Семенова, Д. Ю. Кривогузов // Современные тенденции развития экономики и образования региона : сб. науч. тр. по матер. Междун. науч. конф., посвященная 850-летию со дня первого упоминания в летописи г. Великие Луки, 15-16 декабря 2016 г. – Филиал ФГБОУ ВО "Псковский государственный университет" в г. Великие Луки Псковской области. – Великие Луки : Мир науки. – 2016. – С. 102-105.

210. Самбуров, Н. В. Молозиво коров, его состав и биологические свойства / Н. В. Самбуров, И. Л. Палаус // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 4. – С. 59-61.

211. Самбуров, Н. В. Повышение биологических свойств молозива / Н. В. Самбуров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 2. – С. 28-29.

212. Самоделкин, А. Г. Анализ электрофизических параметров мясного сырья / А. Г. Самоделкин, И. Г. Ершова, Д. В. Поручиков, М. В. Белова, А. Н. Матвеева // Естественные и технические науки. – 2015. – № 6 (84). – С. 501-504.

213. Самоделкин, А. Г. Многорезонаторная установка для плавления жира / А. Г. Самоделкин, И. Г. Ершова, Г. В. Новикова, М. В. Белова, А. А. Белов // Естественные и технические науки. – 2015. – № 6 (84). – С. 507-509.

214. Сироткин, В. И. Выращивание телят. Нормирование кормления : системы содержания / В. И. Сироткин. – М.: Россельхозиздат. – 1987. – 126 с.

215. Сошников, А. А. Электромагнитная безопасность технологических процессов АПК / А. А. Сошников, О. К. Никольский, Н. П. Воробьев, Е. В. Титов, И. Е. Мигалев, Е. В. Титов. Барнаул : Изд-во АлтГТУ. – 2012. – 108 с.

216. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т. 10 : Ферменты молока / [сост. В. П. Шидловская]. – Санкт-Петербург : ГИОРД. – 2006. – 292 с.

217. Степанова, Л. И. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. В 3 т. Т. 1 Цельномолочные продукты. Производство молока и молочных продуктов (СанПиН 2.3.4.551-96) / Л. И. Степанова. – Санкт-Петербург : ГИОРД. – 1999. – 384 с.

218. Стрекалов, А. В. Электромагнитные поля и волны / А. В. Стрекалов, Ю. В. Стрекалов. – М. : РИОР : ИНФРА-М. – 2014. – 375 с.

219. Табакс, К. К. Некоторые вопросы нагрева неоднородных сред в электрическом поле высокой частоты : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Табакс Карлис Кристьянович. – М. : Моск. ордена Ленина энергет. ин-т им. В. М. Молотова. – 1952. – 11 с.

220. Тахаув, А. А. Математическое моделирование СВЧ нагрева диэлектрика с учетом фазовых переходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / Тахаув Айдар Асгатович. – Казань: КГТУ им. Туполева. – 2011. – 20 с.

221. Тараканов Д. А. Разработка СВЧ установки для дефростации коровьего молозива / Д. А. Тараканов, И. Г. Ершова, М. В. Белова, О. В. Михайлова // Наука, производство, образование : состояние и направления развития [Текст] : сб. науч. тр. по матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Чебоксары : ЧГПУ им. И. Я. Яковлева. – 2019. – С.84-89.

222. Твердохлеб, Г. В. Химия и физика молока и молочных продуктов / Г. В. Твердохлеб, Р. И. Раманаскас. – М.: ДеЛи Принт. – 2006. – 360 с.

223. Тепел, А. Химия и физика молока / А. Тепел. – Санкт-Петербург : Профессия. – 2012. – 832 с.

224. Технический регламент на масложировую продукцию : федеральный закон от 24 июня 2008 г. № 90-ФЗ // Собрание законодательства Российской Фе-

дерации. – 2008. – № 26. – Ст. 3009.

225. Технологические требования по выращиванию телят : рекомендации / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск : Белорусское сельское хозяйство. – 2014. – 32 с.

226. Технология молока и молочных продуктов : учеб. для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Технология молока и молочных продуктов» направления подготовки дипломированных специалистов «Технология сырья и продуктов животного происхождения» / Г. Н. Крусь [и др.] ; под ред. А. М. Шалыгиной. – М. : КолосС. – 2007. – 454 с.

227. Тимофеев, В. А. Электродинамика и электромагнитные волны. Ч. 2: задачник / В. А. Тимофеев, Т. К. Артемова, О. В. Караван. Ярослав. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ. – 2010. – 36 с.

228. Титов, Е. В. Оценка влияния температуры окружающего пространства на электромагнитную обстановку / Е. В. Титов, С. Г. Казакеев, П. И. Петренко // АлтГТУ им. И. И. Ползунова. – 2020. – № 8. – С. 35-37.

229. Титов, Е. В. Принципы формирования объемных картин опасности электромагнитных излучений для производственных условий / Е. В. Титов, А. С. Катаева. – 2020. – № 194. – С. 131-138.

230. Титов, Е. В. Визуализация электромагнитной обстановки с возможностью одновременной оценки допустимого времени пребывания / Е. В. Титов, Е. Б. Осьмушкина. – 2020. – № 193. – С. 126-130.

231. Титов, Е. В. Выявление принципов развития технологии контроля и визуализации электромагнитных излучений / Е. В. Титов, А. В. Пинчук // АлтГТУ им. И. И. Ползунова. – 2020. – № 8. – С. 50-52.

232. Тихомирова, Н. А. Технология и организация производства молока и молочных продуктов [Текст] : учебник / Н. А. Тихомирова. – М. : ДеЛиПринт. – 2007. – 560 с.

233. Ушакова, Н. Ф. Опыт применения СВЧ-энергии при производстве пищевых продуктов / Н. Ф. Ушакова, Т. С. Копысова, В. В. Касаткин, А. Г. Кудряшова // Пищевая промышленность. – 2013. – № 10. – С. 30-32.

234. Федоренко, И. Я. Ресурсосберегающие технологии и оборудование в животноводстве : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Агроинженерия» / И. Я. Федоренко, В. В. Садов. – Санкт-Петербург : Лань. – 2012. – 296 с.

235. Федоров, А. В. Установки СВЧ диэлектрического нагрева с перестраиваемой частотой / А. В. Федоров // Вестник Самарского государственного технического университета. – Серия : Технические науки. – 2017. – № 4 (56). – С. 106-113.

236. Федоров, Ю. Н. Молозиво и пассивный иммунитет у новорожденных телят : обзор / Ю. Н. Федоров, В. И. Ключкина, О. А. Богомоллова, М. Н. Романенко. – Текст : непосредственный // Российский ветеринарный журнал. – 2018. – № 6. – С. 20-24.

237. Фриденберг, Г. В. Совершенствование технологии холодильного резервирования творога / Г. В. Фриденберг, Т. А. Лукашова // Молочная промыш-

ленность. – 2014. – № 6. – С. 59-62.

238. Хазанов, Е. Е. Технология и механизация молочного животноводства : учебное пособие [для студентов сельскохозяйственных образовательных учреждений] / Е. Е. Хазанов, В. В. Гордеев, В. Е. Хазанов ; под общ. ред. Е. Е. Хазанова. – Санкт-Петербург : Лань. – 2010. – 350 с.

239. Харитоновна, Д. Глоток жизни // Агропрофи. – 2021. – № 2 (105) [электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.agroprofi.ru/2014/09/11/glotok-zhizni/>(дата обращения: 06.05.2019).

240. Химическая экспертиза молока и молочных продуктов : учебно-методический комплекс по дисциплине : специальность 050101 – Химия со специализацией «Химическая экспертиза пищевых продуктов» / М-во образования и науки Рос. Федерации, Чуваш. гос. пед. ун-т им. И. Я. Яковлева ; [сост. Н. Г. Парамонова]. – Чебоксары : ЧГПУ. – 2010. – 20 с.

241. Химическая экспертиза сельскохозяйственного сырья и продуктов переработки : лабораторный практикум [по дисциплине «Химическая экспертиза сельскохозяйственного сырья и продуктов переработки»] / М-во образования и науки Рос. Федерации, Чуваш. гос. пед. ун-т им. И. Я. Яковлева ; [сост. О. В. Кольцова, Ю. Ю. Пыльчикова]. – Чебоксары : ЧГПУ. – 2012. – 59 с.

242. Хоерр, Р. А. Продукты на основе молозива / Р. А. Хоерр, Е. Ф. Боствик // Молочная промышленность. – 2006. – № 8. – С. 53-54.

243. Храмцов, А. Г. Безотходная переработка молочного сырья : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Технология сырья и продуктов животного происхождения», специальности «Технология молока и молочных продуктов» и направлению «Биотехнология», специальности «Пищевая биотехнология» / А. Г. Храмцов, П. Г. Нестеренко. – М. : КолосС. – 2008. – 199 с.

244. Храмцов, А. Г. Феномен молочной сыворотки : [монография] / А. Г. Храмцов. – Санкт-Петербург : Профессия. – 2011. – 802 с.

245. Цугленок, Н. В. Динамическая модель взаимодействия энергетических и продуктивных потоков в рабочих машинах технологических комплексов / Н. В. Цугленок // Chronos. – 2019. – № 8(35). – С. 28-34.

246. Цугленок, Г. И. Термическое воздействие СВЧ-поля на продовольственное зерно пшеницы / Г. И. Цугленок, Г. Г. Юсупова, Т. А. Головина. – Министерство сельского хозяйства РФ. – Красноярск. – КГАУ. – 2005. – 125 с.

247. Цугленок, Н. В. Инновационные технологии производства, переработки и логистики сельскохозяйственной продукции в АПК Восточной Сибири / Н. В. Цугленок // Вестник КрасГАУ. Красноярск. – 2011. – Вып. 7. – С. 266-271.

248. Цугленок, Н. В. Энерготехнологическое прогнозирование агротехнологических приемов / Н. В. Цугленок // Chronos. – 2019. – № 8(35). – С. 34-39.

249. Цугленок, Н. В. Перспективы применения поля сверхвысокой частоты для борьбы с фитопатогенами – возбудителями заболеваний семян рапса / Н. В. Цугленок [и др.] // Энергетика и энергоснабжение. – Красноярск : КрасГАУ. – 2004. – Вып. 2. – С. 5-9.

250. Чечин, В. Инновации в розливе свежего молока в бутылку : [особенности автоматизированного розлива пастеризованного молока] / В. Чечин // Переработка молока : технология, оборудование, продукция. – 2014. – № 3. – С. 68.

251. Чижов, Г. Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов / Г. Б. Чижов. – М.: Пищевая промышленность. – 1979. 272 с.

252. Чуев, А. С. Об использовании принципа суперпозиции и иллюстрирующих его моделей в преподавании раздела физики – электромагнетизм / А. С. Чуев // Инженерный вестник. – 2015. – № 12. – С. 11.

253. Шевченко, Т. В. Влияние микроволнового воздействия на кисломолочные микроорганизмы / Т. В. Шевченко, Л. М. Захарова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6. – Ч. 2. – С. 271-274.

254. Штайнхфельд, И. Первые дни решают все : качество выращивания телочек и плодовитость в молочном скотоводстве / И. Штайнхфельд, О. Штайнхфельд // Новое сельское хозяйство. – 2007. – № 2. – С. 76-78.

255. Шульга, Н. Н. Законы формирования иммуноглобулиновой составляющей молозива / Н. Н. Шульга, И. С. Шульга, Л. П. Плавшак, С. С. Дикунина. – Текст : непосредственный // Национальная ассоциация ученых (НАУ). – 2016. – № 3 (19). – С. 59-62.

256. Экспертиза молока и молочных продуктов : качество и безопасность : учебное пособие / Н. И. Дунченко [и др.] ; под общ. ред. В. М. Позняковского. – Новосибирск : Сибирское университетское изд-во. – 2007. – 474 с.

257. Юдаев, И. В. Исследование эффективности влияния однородного электрического поля на качество семян огурцов / И. В. Юдаев, А. С. Казакова, Г. В. Степанчук [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 2(47). – С. 25-30.

258. Юдаев, И. В. Электроактивация сред в технологиях сельского хозяйства как способ интенсификации производственных процессов / Н. В. Ксенз, Б. П. Чеба, И. В. Юдаев. – Москва : Научно-издательский центр ИНФРА-М. – 2021. – 306 с.

259. Юдаев, И. В. Электроимпульсная обработка – основа энергоэффективных технологий в АПК и перерабатывающей промышленности / И. В. Юдаев, В. С. Шкрабак, Р. Г. Кокурин // Качественный рост российского агропромышленного комплекса : возможности, проблемы и перспективы : Материалы деловой программы XXVII международной агропромышленной выставки, Санкт-Петербург. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный аграр-

ный университет. – 2018. – С. 292-296.

260. Юсупова, Г. Г. Влияние электромагнитного поля СВЧ на микроскопические грибы и их метаболиты / Г. Г. Юсупова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – № 12. – С. 67-69.

261. Юсупова, Г. Г. Применение энергии СВЧ-поля для обеспечения безопасности и улучшения качества продуктов растительного происхождения / Г. Г. Юсупова, Ю. И. Зданович, Э. И. Черкасова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2005. – № 7. – С. 27-29.

262. Каталог оборудования для ферм Salutem [электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://salutem.by/colostrums> (дата обращения 21.07.2014).

263. Размораживатель молозива РМ-3 [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://eltemiks-vet.ru/product/razmorazhivatel-moloziva-rm-2> (дата обращения 21.07.2014).

264. Размораживатель молозива «ПримаЛакт» [электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.optimum-lab.ru/product/razmorazhivatel-moloziva-primalakt/> (дата обращения 10.08.2014).

265. Агропромтехника. Размораживатель молозива. электронный ресурс]. – Режим доступа : agropromteh.com/g35507335-razmorazhivatel-moloziva (дата обращения 10.03.2015).

266. Агросервер. Размораживатель молозива Солнышко [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://agroservers.ru/b/razmorazhivatel-moloziva-solnyshko-1059657.htm> (дата обращения 10.02.2015).

267. Размораживатель молозива КолоКвик [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.agrofavorit.by/index.php/katalog-produktsii/47-razmorazhivatel-moloziva/227-razmorazhivatel-moloziva-kolokvik-coloquick> (дата обращения 02.02.2015).

268. Патент 2730060 [электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet (дата обращения 20.02.2015).

269. Патент 2751023 [электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet (дата обращения 12.03.2016).

270. Система заготовки и оттаивания молозива своими руками SIZAM [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://soft-agro.com/telyata-2/sistema-zagotovki-i-ottaivaniya-moloziva-svoimi-rukami-sizam.html> (дата обращения 03.04.2016).

271. Диэлектрический резонатор [электронный ресурс]. – Режим доступа : ru.other.wiki/wiki/Dielectric_resonator (дата обращения 02.05.2017).

272. ГОСТ ИЕС 61307-2016 Промышленные установки нагрева токами СВЧ. Методы испытаний для определения выходной мощности [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://internet-law.ru/gosts/gost/64175/> (дата обращения

07.06.2017).

273. ГОСТ 20271.1-91 Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://internet-law.ru/gosts/gost/10521/> (дата обращения 09.07.2017).

274. ГОСТ 22261-94 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://internet-law.ru/gosts/gost/767> (дата обращения 19.03.2018).

275. Сидоренко, С. В. Физико-химические свойства и состав молозива коров в зависимости от их возраста и уровня продуктивности, Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-himicheskie-svoystva-i-sostav-moloziva-korov-v-zavisimosti-ot-ih-vozrasta-i-urovnya-produktivnosti/viewer> (дата обращения 24.08.2018).

276. Размораживатель молозива Эконом Юликом плюс [электронный ресурс]. – Режим доступа : [tps://ulicom.by/index.pl?act=PRODUCT&id=467](https://ulicom.by/index.pl?act=PRODUCT&id=467) (дата обращения 25.08.2018).

277. CST Studio Suite [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://lorentz.ru/cst-studio-suite/?yclid=7063004186007886553> (дата обращения 1.09.2019).

278. Карамаев С. В., Карамаева А. С., Бакаева Л. Н., Соболева Н. В. Содержание иммуноглобулинов в молозиве коров в зависимости от температуры воздуха окружающей среды [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.yandex.ru/docs/view?url=yamail%3A%2F%2F178173660258083954%2F1.2&name=soderzhanie-immunoglobulinov-v-molozive-korov-v-zavisimosti-ot-temperaturey-vozduha-okruzhayushey-sredy.pdf&uid=185898534&nosw=1> (дата обращения 03.09.2020).

279. Бакаева Л. Н., Карамаева А. С., Карамаев С. В. Зависимость содержания иммуноглобулинов в молозиве коров от режима его хранения и подготовки к скармливанию [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.yandex.ru/docs/view?url=yamail%3a%2f%2f178173660258083956%2f1.2&name=зависимость%20содержания%20иммуноглобулинов%20в%20молозиве%20коров%20от%20режима%20его%20хранения%20и%20подготовки%20к%20скармливанию.pdf&uid=185898534&nosw=1> (дата обращения 03.02.2020).

280. Puppel K., Gołębiewski M., Grodkowski G., Slószarz J., Kunowska-Slószarz и др. Состав и факторы, влияющие на качество молозива крупного рогатого скота: обзор. Животные. – 2019. – 9. – 1070 с. [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.mdpi.com/2076-2615/9/12/1070#cite> (дата обращения 15.02.2020).

281. Васильев Н. И. Методические рекомендации по выращиванию ремонтного молодняка крупного рогатого скота / Н. И. Васильев, Ю. Г. Егоров, Л. Н. Семенов : Методическое пособие для руководителей, специалистов сельскохозяйственного производства, отделов сельского хозяйства муниципальных обра-

зований. – 2017. – 38 с. [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fermer.ru/files/v2/forum/305041/vyrashchivaniyumolodnyaka.pdf> (дата обращения 23.02.2011).

282. Скопичев, В. Г. Частная физиология. Книга 1. Физиология продуктивности / В. Г. Скопичев ; под редакцией Т. С. Молочаевой. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : Квадро. – 2021. – 312 с. [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://profspo.ru/books/103153> (дата обращения 04.03.2022).

283. Lonappan, A., Rajasekharan, C., Thomas, V., Bindu, G., & Mathew, K. T. (2006). Dielectric Properties of Human Colostrum at Microwave Frequencies. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. – 41(2). – Pp. 30-35. doi:10.1080/08327823.2006.11688558. [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sci-hub.ru/10.1080/08327823.2006.11688558> (дата обращения 24.05.2022) (Диэлектрические свойства молозива человека на микроволновых частотах. Журнал по СВЧ-энергетике и электромагнитной энергии).

284. Волноводный метод измерений электромагнитных параметров материалов в СВЧ диапазоне и оценка погрешности измерений / М. П. Пархоменко, Д. С. Каленов, И. С. Еремин [и др.] // Журнал радиоэлектроники. – 2018. – № 9. – С. 9. – DOI 10.30898/1684-1719.2018.9.6 [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sci-hub.ru/10.1080/08327823.2006.11688558> (дата обращения 24.05.2019).

285. Nicolson A. M., Ross G. F. Measurements of the Intrinsic Properties of Materials by Time-Domain Techniques, *IEEE Trans.* – 1970. – Vol. IM-19. – No 4. – 1970. – P. 377 [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.semanticscholar.org/paper/M Measurement-of-the-Intrinsic-Properties-of-by-Nicolson-Ross/fb6f133ba20c4af524fb09e5b6c24707fb0552b6> (дата обращения 24.05.2019) (Измерения внутренних свойств материалов методами временной области).

286. Воскобойник, М. Ф. Техника и приборы СВЧ [Текст] : учебник / М. Ф. Воскобойник, А. И. Черников. – М. : Радио и связь. – 1982. – 208 с. [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.elec.ru/viewer?url=files/2021/10/04/Voskobojnik-MF-CHernikov-AI-Tekhnika-i-pribory.pdf> (дата обращения 16.10.2019).

287. Пархоменко М. П., Савельев С. В., Фон Гратовски С. В. Исследование диэлектрических свойств крови и разработка резонаторного метода для неинвазивного измерения содержания глюкозы в крови. // Радиотехника и электроника. – 2017. – т. 62. – № 3. – С. 276-291 [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=28918064> (дата обращения 02.11.2019).

288. Chen L. F., Ong C. K., Neo C. P., Varadan V. V., and Varadan V. K. *Microwave Electronics: Measurement and Materials Characterization*. John Wiley & Sons, Ltd. – 2004. – P. 552 [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.wiley.com/en->

us/Microwave+Electronics:+Measurement+and+Materials+Characterization-p-9780470020463 (дата обращения 13.11.2019).

289. Parkhomenko M. P., Kalenov D. S., Fedoseev N. A., Eremin I. S., Ralchenko V. G., Bolshakov A. P., Ashkinazi E. E., Popovich A. F., Balla V. K., and Mallik A. K. Measurement of the Complex Permittivity of Polycrystalline Diamond by the Resonator Method in the Millimeter Range. *Phys. Wave Phenom.* – 2015. – No. 23(3). – Pp. 202-208 [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=24939229> (дата обращения 22.11.2019).

290. Weir W.B. Automatic Measurement of Complex Dielectric Constant and Permeability at Microwave Frequencies. *Proceedings of the IEEE.* – 1974. – Vol. 62. – No. 1. – P. 33 [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ieeexplore.ieee.org/document/1451312> (дата обращения 23.11.2019).

291. Сыроватка, В. И. Применение энергии сверхвысоких частот (СВЧ) в производстве ингредиентов комбикормов / В. И. Сыроватка, Н. В. Жданова, А. Д. Обухов // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства.* – 2019. – № 2 (34). – С. 4-15 [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38470663> (дата обращения 24.11.2019).

292. Котов, И. О. СВЧ-метод и устройство определения электрофизических параметров ферромагнитных жидкостей на базе критического волновода / И. О. Котов, В. Н. Чернышов // *Вестник Тамбовского государственного технического университета.* – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 303-313 [электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=14672316> (дата обращения 24.11.2019).

ПРИЛОЖЕНИЯ
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

АКТЫ МИНИСТЕРСТВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Справка Министерства сельского хозяйства Чувашской Республики



ЧӐВАШ РЕСПУБЛИККИ
ЯЛ ХУСАЛАХ МИНИСТЕРСТВИ

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

(МИНСЕЛЬХОЗ ЧУВАШИИ)

Президентский б-р, д. 17, г. Чебоксары
Чувашская Республика, 428004,
тел. (8352) 62-08-45, факс (8352) 62-31-84,
e-mail agro@car.ru, ОКПО 00086208,
ОГРН 1022101151005,
ИНН/КПП 2128016248/213001001

15.11.2021 № 01/29-7692

На № _____ от _____

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационного исследования

Ершовой Ирины Георгиевны на тему «СВЧ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ДЛЯ
ДЕФРОСТАЦИИ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ»

Настоящей справкой подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Ершовой Ирины Георгиевны на тему «СВЧ технология и техника для дефростации молозива животных» имеют практическую значимость и могут быть использованы для повышения рентабельности переработки продукции животноводства в фермерских хозяйствах путем внедрения инновационных технологий и установок для дефростации молозива животных.

Практическую значимость представляют:

– разработанные микроволновые установки, обеспечивающие дефростацию и разогрев молозива животных эндогенным нагревом, с резонаторами, позволяющими разделить процессы дефростации и разогрева замороженного сырья; освобожденного от пластиковых бутылок;

– методика согласования конструкционно-технологических параметров с режимами работы установки и выявленные режимы воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМПСВЧ) на молозиво животных, при реализации которых происходит дефростация молозива животных;

– конструкционная документация на микроволновую установку непрерывно-поточного действия с состыкованными вершинами конических резонаторов для дефростации и разогрева молозива животных, позволяющую обеспечить разделение сырья при температуре фазового превращения и равномерное воздействия ЭМПСВЧ за счет пространственного перемещения замороженного сырья в одном резонаторе и постепенного стекания жидкого сырья тонким слоем в соответствии с глубиной проникновения во втором резонаторе. Наличие в коническом резонаторе областей с резко выраженным экспоненциальным законом изменения поля позволяет усечь

вершину на уровне критического сечения, в области которых, за счет интерференции волн возбуждается электрическое поле высокой напряженности, достаточной для снижения бактериальной микрофлоры в сырье;

– материалы экспериментальных исследований, позволяющие выработать рекомендации по разработке и эксплуатации микроволновой техники, в том числе сверхвысокочастотных установок непрерывно-поточного действия с нетрадиционными резонаторами, обеспечивающими дефростацию коровьего молока и электромагнитную безопасность.

Техническая новизна конструкторского исполнения установки защищена патентами РФ № 2694944 от 18.07.2019 г., № 2752938 от 11.08.2021 г., № 2752941 от 11.08.2021 г., № 2753424 от 16.08.2021.

Изготовленный лабораторный образец – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с кольцевым и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молока животных – прошел испытания в хозяйствах Чувашской Республики. Результаты исследований доведены до стадии практического применения.

Заместитель Председателя
Кабинета Министров Чувашской
Республики – министр сельского
хозяйства Чувашской Республики

Подлинник электронного документа, подписанного ЭП, хранится в системе электронного документооборота органов власти Чувашской Республики.	
СВЕДЕНИЯ О СЕРТИФИКАТЕ ЭП	
Сертификат	05689EC5290CE5C37A36AA539A56B5089F207116
Владелец	Артамонов Сергей Ганнодьевич
Действителен с 24.05.2021 по 24.08.2022	



С.Г. Артамонов

Справка Министерства сельского хозяйства и продовольственных ресурсов
Нижегородской области



**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: minark@minark.nnov.ru

01.12.2021 № Исх-302-565211/21

на № _____ от _____

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационного исследования
Ершовой Ирины Георгиевны на тему «СВЧ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ДЛЯ
ДЕФРОСТАЦИИ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ»

Настоящей справкой подтверждаем, в целях формирования иммунитета молодняка сельскохозяйственных животных и формирования здорового стада, результаты диссертационного исследования Ершовой Ирины Георгиевны на тему «СВЧ технология и техника для дефростации молозива животных» имеют практическую значимость и могут быть использованы фермерских хозяйствах.

Практическую значимость представляют:

- разработанные микроволновые установки, обеспечивающие дефростацию и разогрев молозива животных эндогенным нагревом, с резонаторами, позволяющими разделить процессы дефростации и разогрева замороженного сырья, освобожденного от пластиковых бутылок;
- методика согласования конструкционно-технологических параметров с режимами работы установки и выявленные режимы воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) на молозиво животных, при реализации которых происходит дефростация молозива животных;
- конструкционная документация на микроволновую установку непрерывно-поточного действия с состыкованными вершинами конических резонаторов для дефростации и разогрева молозива животных, позволяющую обеспечить разделение сырья при температуре фазового превращения и равномерное воздействия ЭМП СВЧ за счет пространственного перемещения замороженного сырья в одном резонаторе и постепенного стекания жидкого сырья тонким слоем в соответствии с глубиной проникновения во втором резонаторе. Наличие в коническом резонаторе областей с резко выраженным экспоненциальным законом изменения поля позволяет усечь вершину на уровне критического сечения, в

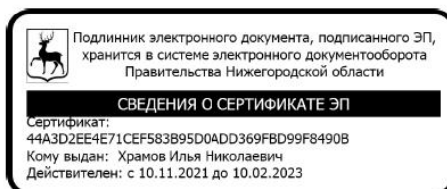
области которых, за счет интерференции волн возбуждается электрическое поле высокой напряженности, достаточной для снижения бактериальной микрофлоры в сырье;

– материалы экспериментальных исследований, позволяющие выработать рекомендации по разработке и эксплуатации микроволновой техники, в том числе сверхвысокочастотных установок непрерывно-поточного действия с нетрадиционными резонаторами, обеспечивающими дефростацию и разогрев коровьего молока и электромагнитную безопасность.

Техническая новизна конструкторского исполнения установки защищена патентами РФ № 2694944 от 18.07.2019 г., № 2752938 от 11.08.2021 г., № 2752941 от 11.08.2021 г., № 2753424 от 16.08.2021.

Изготовленный лабораторный образец – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с кольцевым и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молока животных – прошел испытания в хозяйствах Нижегородской области. Результаты исследований доведены до стадии практического применения.

И.Н. Храмов



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

АКТ АПРОБАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И СВЧ- РАЗМОРАЖИВАТЕЛЯ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ

УТВЕРЖДАЮ:
Генеральный директор
ООО «АП Княгининское»
Перепелкин Сергей Александрович
« 23 » ноября 2021 г.



АКТ АПРОБИРОВАНИЯ результатов научно-исследовательской работы в производственных усло- виях

1. Наименование апробируемого объекта.

1.1 Технология дефростации и разогрева молозива животных с использованием электромагнитного поля сверхвысокой частоты.

1.2 Сверхвысокочастотная (СВЧ) техника для дефростации молозива животных, а именно – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных.

2. Разработчик

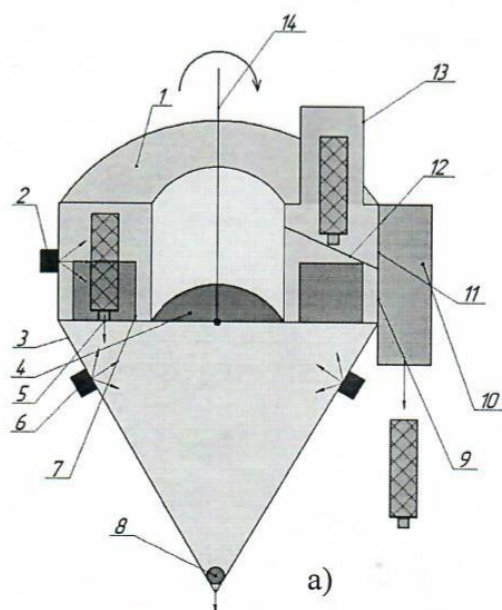
Руководитель научной школы, док-р техн. наук, профессор Новикова Галина Владимировна; научный консультант, док-р техн. наук Просвирякова Марьяна Валентиновна; соискатель, канд. техн. наук, Ершова Ирина Георгиевна.

3. *Место апробирования:* ООО «АП Княгининское», (606340, Нижегородская обл., Княгининский район, г. Княгинино, ул. Свободы, д. 7).

4. Описание научной работы.

Апробирована СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных. Производительность установки достигает до 30 кг/ч. Новизна конструкторского исполнения установки защищена патентами РФ № 2694944 от 18.07.2019 г., 2752938 от 11.08.2021 г., 2752941 от 11.08.2021 г., 2753424 от 16.08.2021.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ установке происходит следующим образом. Включить электропривод 14 для перемещения контейнеров в коаксиальном объеме резонатора 1 (рисунок 1). Загрузить диэлектрические бутылки без крышки с замороженным сырьем в загрузочный патрубок 13, предварительно закрыв шаровой кран 8. Включить генераторы. В процессе перемещения контейнеров загрузить через запердельный волновод очередные бутылки с замороженным сырьем. В коаксиальном резонаторе возбуждается электромагнитное поле бегущей волны, и, в соответствии с глубиной проникновения электромагнитного поля, замороженное сырье размораживается послойно, стекает через отверстия 5 перфорации основания 4 в конический резонатор 3. Включить магнетроны 6, излучатели которых направлены в конический резонатор.



б)

Рисунок 1 – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных: а) схематическое изображение, б) контейнеры в коаксиальном резонаторе: 1 – коаксиальный резонатор прямоугольного сечения без нижнего основания; 2 – магнетроны на поверхности коаксиального резонатора; 3, 4, 5 – конический резонатор; 6 – магнетроны на поверхности конического резонатора; 7 – диэлектрические контейнеры; 8 – шаровой кран на вершине конического резонатора; 9 – открытое окно на наружной боковой поверхности кольцевого резонатора; 10, 11 – неферромагнитный выгрузной патрубок без основания; 12 – направляющая диэлектрическая планка; 13 – загрузочный патрубок; 14 – электропривод для передвижения контейнеров

Опытный образец СВЧ установки представлен на рисунке 2.

5. Экономические показатели.

Балансовая стоимость опытного образца СВЧ установки непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных с шестью магнетронами и двумя резонаторами (рисунок 2) составляет 100 тыс. руб. Годовой экономический эффект от применения СВЧ установки для дефростации и разогрева молозива животных составляет 994,78 тыс. руб. за счет снижения эксплуатационных расходов. Рентабельность повышается на 21,8 %.

6. *Заключение.* В процессе апробации произведены технологические операции, описанные выше. Загружали диэлектрические бутылки без крышек с замороженным сырьем в диэлектрические контейнеры, в процессе их перемещения в кольцевом пространстве коаксиального резонатора, где возбуждено электромагнитное поле сверхвысокой частоты. В конце полного оборота контейнеров, замороженное сырье размораживается за счет эндогенного нагрева и стекает в конический резонатор, а пустые бутылки выталкиваются за пределы установки. Размороженное сырье накапливается в коническом резонаторе, подвергается воздействию эндогенного нагрева, разогревается до 38-39 °С и через шаровой кран дозированно сливается в приемную емкость. Температура сырья контролируется с помощью датчика температуры. В обоих резонаторах возбуждается электрическое поле высокой напряженности, достаточной для снижения бактериальной обсемененности продукта.

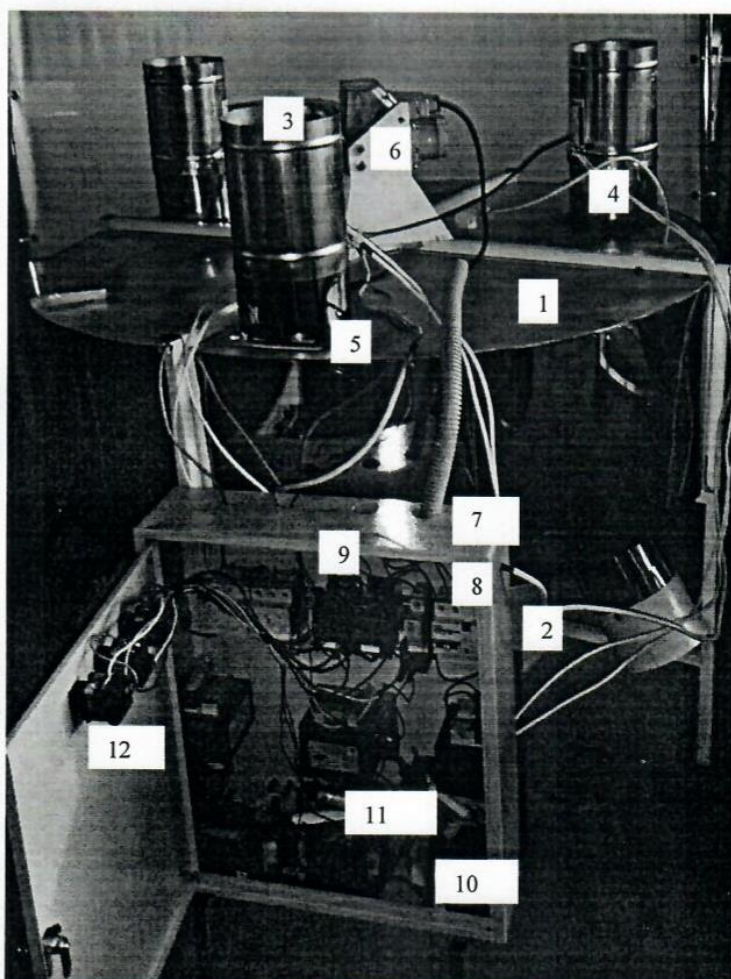


Рисунок 2 – Изготовленная СВЧ установка для дефростации и разогрева молозива животных:

- 1 – коаксиальный резонатор; 2 – конический резонатор;
 3 – вентиляторы;
 4 – магнетроны;
 5 – волноводы;
 6 – мотор-редуктор;
 7 – шкаф управления;
 8 – автоматические выключатели;
 9 – магнитные пускатели;
 10 – высоковольтные трансформаторы;
 11 – конденсаторы;
 12 – кнопки «Пуск» и «Стоп»


Апробированная технология дефростации и разогрева молозива животных с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты в СВЧ установке непрерывно-поточного действия позволила удостовериться, что рабочие узлы установки достаточно надежные, сырье размораживается и разогревается до 39 °С. Потребляемая мощность СВЧ установки составила 5,3 кВт.

Представители предприятия ООО «АП Княгининское»

Главный зоотехник

 С. Д. Мутин

Технолог / Ветеринарный врач

 И. А. Пачина

Исполнители:

Соискатель, канд. техн. наук



Ершова Ирина Георгиевна

Руководитель научной школы,
 док-р техн. наук, профессор



Новикова Галина Владимировна

Научный консультант,
 док-р техн. наук



Просвирякова Марьяна Валентиновна

УТВЕРЖДАЮ:

Председатель правления СХПК СОЮЗ

Столяров Петр Юрьевич



« 24 » 11 2021 г.

**АКТ внедрения научной разработки
в производственных условиях**

1. Наименование объекта.

1.1 Технология дефростации и разогрева молозива животных с использованием электромагнитного поля сверхвысокой частоты

1.2 Сверхвысокочастотная (СВЧ) техника для дефростации молозива животных, а именно – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных.

2. Разработчик

соискатель, канд. техн. наук Ершова Ирина Георгиевна; научный консультант, док-р техн. наук Просвирякова Марьяна Валентиновна.

3. Место апробирования:

СХПК «СОЮЗ» Чувашская Республика, Ядринский район, д.Якимкино, ул. Светлая, д.6

4. Описание научной работы

СВЧ установка (рисунок) непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации молозива животных. Производительность установки составляет 30 кг/ч. Новизна конструкторского исполнения установки защищена патентами РФ № 2694944 от 18.07.2019 г., 2752938 от 11.08.2021 г., 2752941 от 11.08.2021 г., 2753424 от 16.08.2021 г.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ установке происходит следующим образом. Включить электропривод 14 для перемещения контейнеров в коаксиальном объеме резонатора 1. Загрузить диэлектрические бутылки без крышки с замороженным сырьем в загрузочный патрубок 13, предварительно закрыв шаровой кран 8. Включить магнетроны 2, излучатели которых направлены в коаксиальный резонатор 1. В процессе перемещения контейнеров, загрузить через запредельный волновод очередные бутылки с замороженным сырьем. В коаксиальном резонаторе возбуждается электромагнитное поле бегущей волны, и в соответствии с глубиной проникновения электромагнитного поля, замороженное сырье размораживается послойно, стекает через отверстия 5 перфорации основания 4, в конический резонатор 3. Включить магнетроны 6, излучатели которых направлены в конический резонатор.

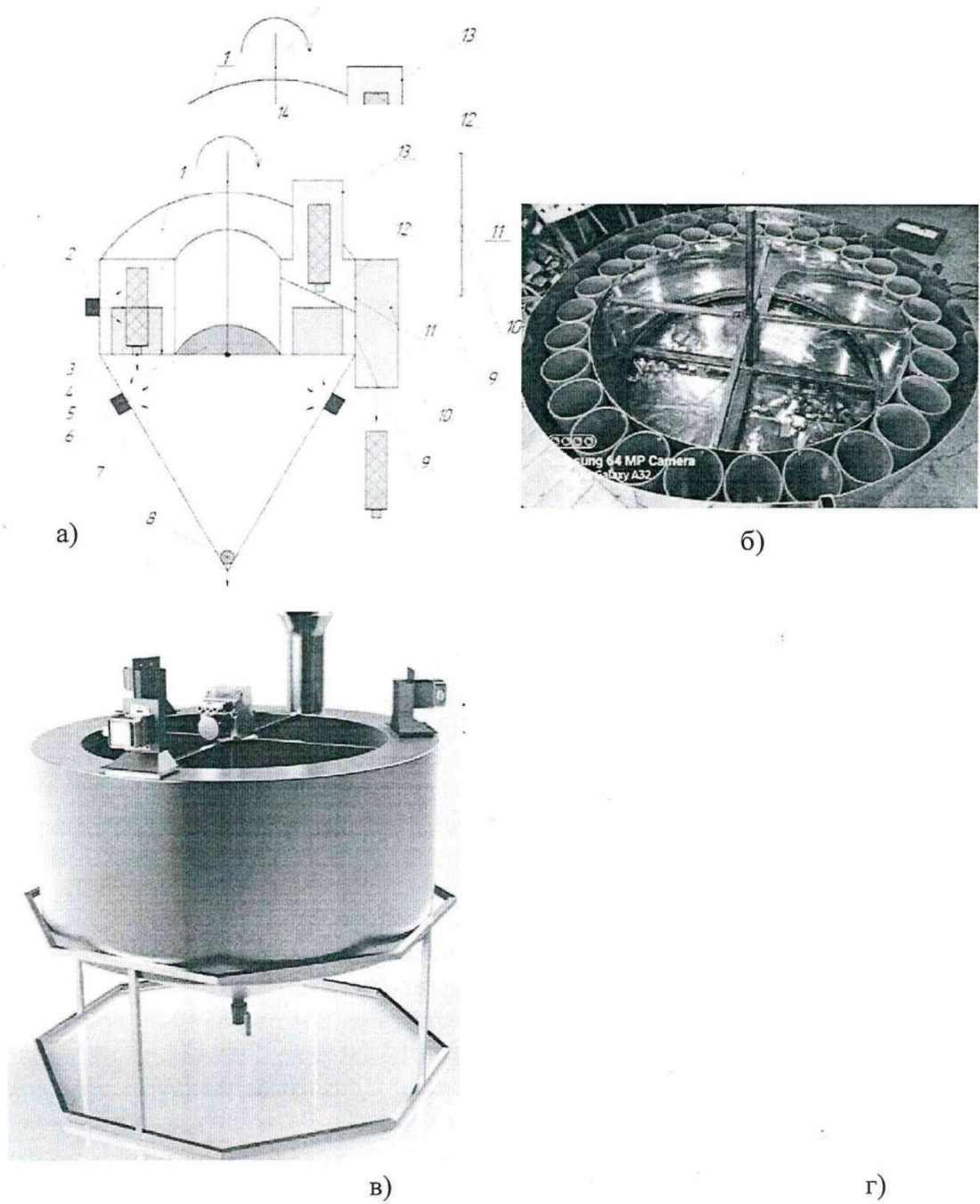


Рисунок – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных: а) схематическое изображение, б) расположение контейнеров в коаксиальном резонаторе, в) пространственное изображение, г) опытный образец установки со шкафом управления: 1 – коаксиальный резонатор прямоугольного сечения без нижнего основания; 2 – магнетроны на поверхности коаксиального резонатора; 3, 4, 5 – конический резонатор с перфорированным основанием; 6 – магнетроны на поверхности конического резонатора; 7 – диэлектрические контейнеры; 8 – шаровой кран на вершине конического резонатора; 9 – открытое окно на наружной боковой поверхности кольцевого резонатора; 10, 11 – неферромагнитный выгрузной патрубок без основания; 12 – направляющая диэлектрическая планка; 13 – загрузочный патрубок; 14 – электропривод для передвижения контейнеров

5. Экономические показатели

Балансовая стоимость СВЧ установки непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных с шестью магнетронами и двумя резонаторами составляет 100 тыс. руб. Годовой экономический эффект от применения СВЧ установки для дефростации и разогрева молозива животных составляет 994,78 тыс. руб. за счет снижения эксплуатационных расходов. Рентабельность повышается на 21,8 %.

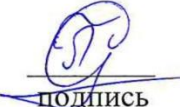

6. Заключение

В процессе апробации произведены технологические операции, описанные выше. Загружали диэлектрические бутылки без крышек с замороженным сырьем в диэлектрические контейнеры, в процессе их перемещения в кольцевом пространстве коаксиального резонатора, где возбуждено электромагнитное поле сверхвысокой частоты. В конце полного оборота контейнеров замороженное сырье размораживается за счет эндогенного нагрева и стекает в конический резонатор, а пустые бутылки выталкиваются за пределы установки.


Размороженное сырье накапливается в коническом резонаторе, подвергается воздействию эндогенного нагрева, разогревается до 38-39 °С и через шаровой кран дозированно сливается в приемную емкость. Температура сырья контролируется с помощью датчика температуры. В обоих резонаторах возбуждается электрическое поле высокой напряженности, достаточной для снижения бактериальной обсемененности продукта.

Апробированная технология дефростации и разогрева молозива животных с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты в СВЧ установке непрерывно-поточного действия позволила удостовериться, что рабочие узлы установки достаточно надежные, молозиво размораживается и разогревается до 39 °С в течение 25 мин. Потребляемая мощность СВЧ установки составила 5,3 кВт.

Представители предприятия:

<u>Председатель правления</u> должность	 подпись	<u>Столяров П.Ю.</u> ФИО
<u>Секретарь</u> должность	 подпись	<u>Столярова О.А.</u> ФИО
<u>Бухгалтер</u> должность	 подпись	<u>Макарова Т.Ю.</u> ФИО

Исполнители:

Соискатель, канд. техн. наук  Ершова Ирина Георгиевна

Научный консультант,
док-р техн. наук

 Просвирыкова Марьяна Валентиновна

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор

Солдатова Эльвира Юрьевна (ФИО)Солдат (подпись)« 25 » ноября 2021 г.

печать

АКТ внедрения научной разработки в производственных условиях

1. Наименование объекта.

1.1 Технология дефростации и разогрева молозива животных с использованием электромагнитного поля сверхвысокой частоты

1.2 Сверхвысококачественная (СВЧ) техника для дефростации молозива животных, а именно – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных.

2. Разработчик

соискатель, канд. техн. наук Ершова Ирина Георгиевна; научный консультант, док-р техн. наук Просвирякова Марьяна Валентиновна.

3. Место апробирования: ИП ГКФХ Солдатова Эльвира Юрьевна.

Батыревский район, д.Татмыш-Югелево, ул.Карла Маркса, 14

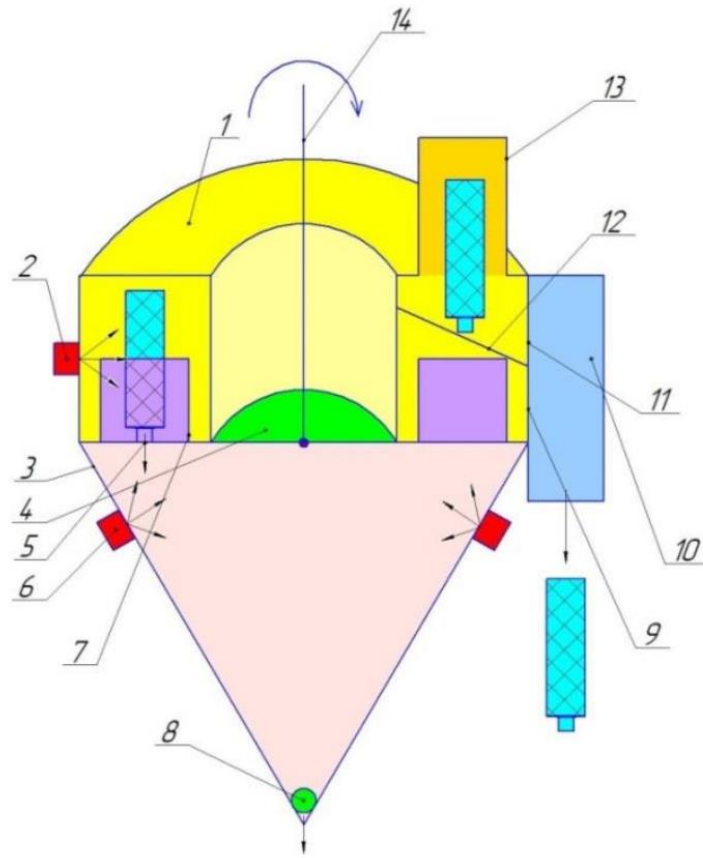
название предприятия, адрес

4. Описание научной работы

СВЧ установка (рисунок) непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации молозива животных. Производительность установки составляет 30 кг/ч. Новизна конструкторского исполнения установки защищена патентами РФ № 2694944 от 18.07.2019 г., 2752938 от 11.08.2021 г., 2752941 от 11.08.2021 г., 2753424 от 16.08.2021.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ установке происходит следующим образом. Включить электропривод 14 для перемещения контейнеров в коаксиальном объеме резонатора 1. Загрузить диэлектрические бутылки без крышки с замороженным сырьем в загрузочный патрубок 13, предварительно закрыв шаровой кран 8. Включить магнетроны 2, излучатели которых направлены в коаксиальный резонатор 1. В процессе перемещения контейнеров, загрузить через запредельный волновод очередные бутылки с замороженным сырьем. В коаксиальном резонаторе возбуждается электромагнитное поле бегущей волны, и в соответствии с глубиной проникновения электромагнитного поля, замороженное сырье размораживается послойно, стекает через отверстия 5 перфорации основания 4, в конический резонатор 3. Включить магнетроны 6, излучатели которых направлены в конический резонатор.

a)



б)



в)



г)

Рисунок – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных:

а) схематическое изображение, б) расположение контейнеров в коаксиальном резонаторе,

в) пространственное изображение, г) опытный образец установки со шкафом управления: 1 – коаксиальный резонатор прямоугольного сечения без нижнего основания; 2 – магнетроны на поверхности коаксиального резонатора; 3, 4, 5 – конический резонатор с перфорированным основанием; 6 – магнетроны на поверхности конического резонатора; 7 – диэлектрические контейнеры; 8 – шаровой кран на вершине конического резонатора; 9 – открытое окно на наружной боковой поверхности кольцевого резонатора; 10, 11 – неферромагнитный выгрузный патрубок без основания; 12 – направляющая диэлектрическая планка; 13 – загрузочный патрубок; 14 – электропривод для передвижения контейнеров

5. Экономические показатели

Балансовая стоимость СВЧ установки непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных с шестью магнетронами и двумя резонаторами составляет 100 тыс. руб. Годовой экономический эффект от применения СВЧ установки для дефростации и разогрева молозива животных составляет 994,78 тыс. руб. за счет снижения эксплуатационных расходов. Рентабельность повышается на 21,8 %.

6. Заключение

В процессе апробации произведены технологические операции, описанные выше. Загружали диэлектрические бутылки без крышек с замороженным сырьем в диэлектрические контейнеры, в процессе их перемещения в кольцевом пространстве коаксиального резонатора, где возбуждено электромагнитное поле сверхвысокой частоты. В конце полного оборота контейнеров замороженное сырье размораживается за счет эндогенного нагрева и стекает в конический резонатор, а пустые бутылки выталкиваются за пределы установки.

Размороженное сырье накапливается в коническом резонаторе, подвергается воздействию эндогенного нагрева, разогревается до 38-39 °С и через шаровой кран дозированно сливается в приемную емкость. Температура сырья контролируется с помощью датчика температуры. В обоих резонаторах возбуждается электрическое поле высокой напряженности, достаточной для снижения бактериальной обсемененности продукта.

Апробированная технология дефростации и разогрева молозива животных с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты в СВЧ установке непрерывно-поточного действия позволила удостовериться, что рабочие узлы установки достаточно надежные, молозиво размораживается и разогревается до 39 °С в течение 25 мин. Потребляемая мощность СВЧ установки составила 5,3 кВт.

Представители предприятия:

Иванов П.К.
должность

Солн
подпись

Сосратова Э.Ю.
ФИО

ветеринарный врач
должность

АМ
подпись

Алексеев С.А.
ФИО

технолог
должность

Табри
подпись

Табринова Н.А.
ФИО

Исполнители:

Соискатель, канд. техн. наук

И. Ершова

Ершова Ирина Георгиевна

Научный консультант,
док-р техн. наук

М. Просвирякова

Просвирякова Марьяна Валентиновна

УТВЕРЖДАЮ:
Глава крестьянского фермерского хозяйства
Ершова Людмила Сергеевна



(подпись)

26 ноября 2021 г.

АКТ внедрения научной разработки в производственных условиях

1. Наименование объекта.

- 1.1 Технология дефростации и разогрева молозива животных с использованием электромагнитного поля сверхвысокой частоты
1.2 Сверхвысокочастотная (СВЧ) техника для дефростации молозива животных, а именно – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных.

2. Разработчик

соискатель, канд. техн. наук Ершова Ирина Георгиевна; научный консультант, док-р техн. наук Просвирякова Марьяна Валентиновна.

3. Место апробирования:

Крестьянское фермерское хозяйство Ершовой Людмилы Сергеевны
Чувашская Республика, Ядринский район, д. Орабакасы, ул. Молодежная д. 86

4. Описание научной работы

СВЧ установка (рисунок) непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации молозива животных. Производительность установки составляет 30 кг/ч. Новизна конструкторского исполнения установки защищена патентами РФ № 2694944 от 18.07.2019 г., 2752938 от 11.08.2021 г., 2752941 от 11.08.2021 г., 2753424 от 16.08.2021.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ установке происходит следующим образом. Включить электропривод 14 для перемещения контейнеров в коаксиальном объеме резонатора 1. Загрузить диэлектрические бутылки без крышки с замороженным сырьем в загрузочный патрубок 13, предварительно закрыв шаровой кран 8. Включить магнетроны 2, излучатели которых направлены в коаксиальный резонатор 1. В процессе перемещения контейнеров, загрузить через запредельный волновод очередные бутылки с замороженным сырьем. В коаксиальном резонаторе возбуждается электромагнитное поле бегущей волны, и в соответствии с глубиной проникновения электромагнитного поля, замороженное сырье размораживается послойно, стекает через отверстия 5 перфорации основания 4, в конический резонатор 3. Включить магнетроны 6, излучатели которых направлены в конический резонатор.

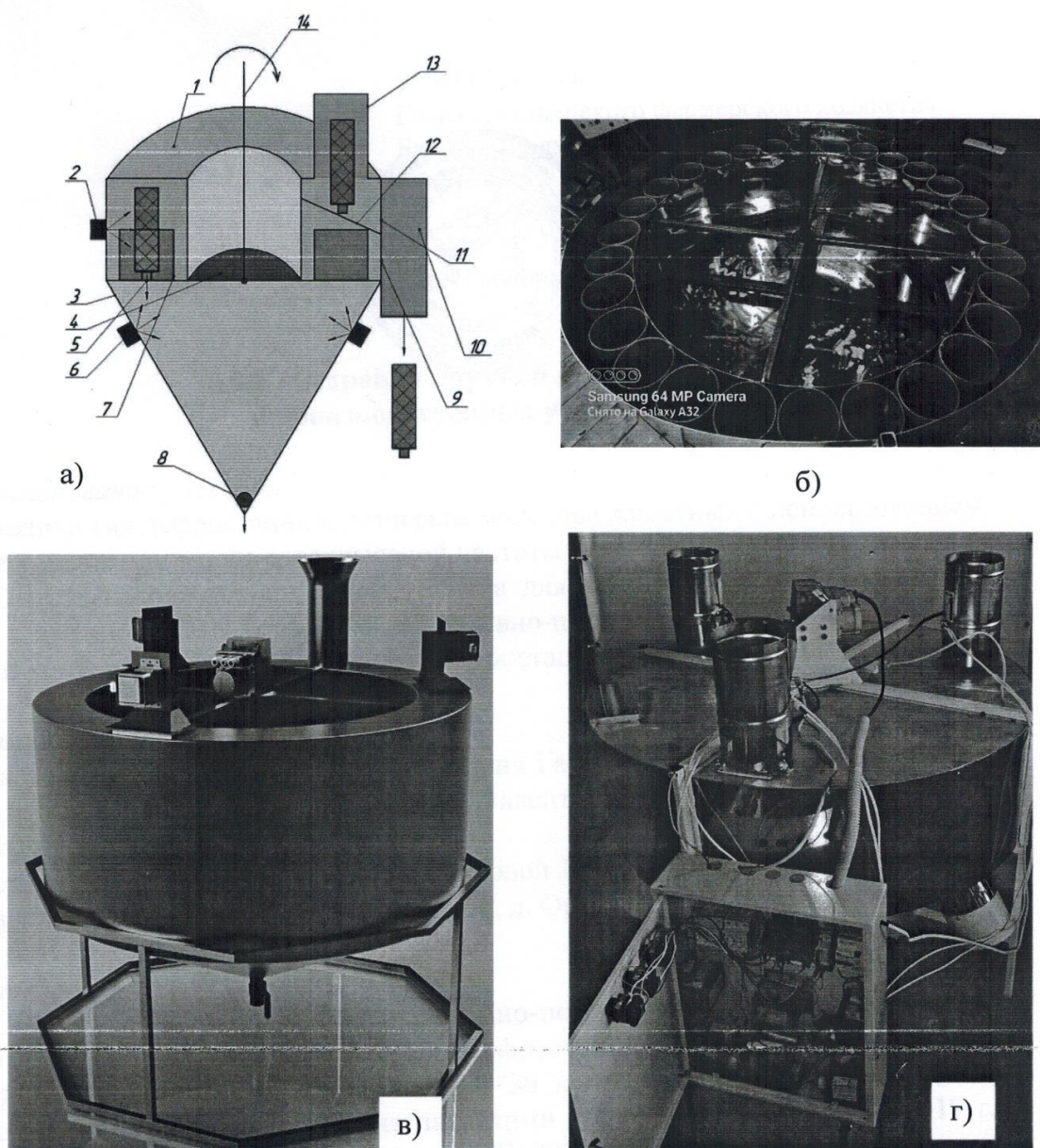


Рисунок – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных: а) схематическое изображение, б) расположение контейнеров в коаксиальном резонаторе, в) пространственное изображение, г) опытный образец установки со шкафом управления: 1 – коаксиальный резонатор прямоугольного сечения без нижнего основания; 2 – магнетроны на поверхности коаксиального резонатора; 3, 4, 5 – конический резонатор с перфорированным основанием; 6 – магнетроны на поверхности конического резонатора; 7 – диэлектрические контейнеры; 8 – шаровой кран на вершине конического резонатора; 9 – открытое окно на наружной боковой поверхности кольцевого резонатора; 10, 11 – неферромагнитный выгрузной патрубок без основания; 12 – направляющая диэлектрическая планка; 13 – загрузочный патрубок; 14 – электропривод для передвижения контейнеров

5. Экономические показатели

Балансовая стоимость СВЧ установки непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных с шестью магнетронами и двумя резонаторами составляет 100 тыс. руб. Годовой экономический эффект

от применения СВЧ установки для дефростации и разогрева молозива животных составляет 994,78 тыс. руб. за счет снижения эксплуатационных расходов. Рентабельность повышается на 21,8 %.

6. Заключение

В процессе апробации произведены технологические операции, описанные выше. Загружали диэлектрические бутылки без крышек с замороженным сырьем в диэлектрические контейнеры, в процессе их перемещения в кольцевом пространстве коаксиального резонатора, где возбуждено электромагнитное поле сверхвысокой частоты. В конце полного оборота контейнеров замороженное сырье размораживается за счет эндогенного нагрева и стекает в конический резонатор, а пустые бутылки выталкиваются за пределы установки.

Размороженное сырье накапливается в коническом резонаторе, подвергается воздействию эндогенного нагрева, разогревается до 38-39 °С и через шаровой кран дозированно сливается в приемную емкость. Температура сырья контролируется с помощью датчика температуры. В обоих резонаторах возбуждается электрическое поле высокой напряженности, достаточной для снижения бактериальной обсемененности продукта.

Апробированная технология дефростации и разогрева молозива животных с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты в СВЧ установке непрерывно-поточного действия позволила удостовериться, что рабочие узлы установки достаточно надежные, молозиво размораживается и разогревается до 39 °С в течение 25 мин. Потребляемая мощность СВЧ установки составила 5,3 кВт.

Представители предприятия:

Глава Крестьянского фермерского хозяйства
должность


подпись

Ершова Л. С.
ФИО

должность

подпись

ФИО

должность

подпись

ФИО

Исполнители:

Соискатель, канд. техн. наук



Ершова Ирина Георгиевна

Научный консультант,
док-р техн. наук



Просвирякова Марьяна Валентиновна

УТВЕРЖДАЮ:
 Директор СХПК «НИВА»
 Мурайкин Владимир Иванович

(подпись)

«15» октября 2021 г.

печать

АКТ внедрения научной разработки в производственных условиях

1. Наименование объекта.

1.1 Технология дефростации и разогрева молозива животных с использованием электромагнитного поля сверхвысокой частоты

1.2 Сверхвысокочастотная (СВЧ) техника для дефростации молозива животных, а именно – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных.

2. Разработчик

соискатель, канд. техн. наук Ершова Ирина Георгиевна; научный консультант, докт-р техн. наук Просвирякова Марьяна Валентиновна.

3. Место апробирования:

Сельскохозяйственный производственный кооператив «НИВА» (СХПК «НИВА»), 429043, Республика Чувашия, Красночетайский район, д. Мочей, ул. Новая, д. 2

4. Описание научной работы

СВЧ установка (рисунок) непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации молозива животных. Производительность установки составляет 30 кг/ч. Новизна конструкторского исполнения установки защищена патентами РФ № 2761810 от 11.05.2021 г., 2762645 от 16.06.2021, 2694944 от 18.07.2019 г., 2752938 от 11.08.2021 г., 2752941 от 11.08.2021 г., 2753424 от 16.08.2021 г.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ установке происходит следующим образом. Включить электропривод 14 для перемещения контейнеров в коаксиальном объеме резонатора 1. Загрузить диэлектрические бутылки без крышки с замороженным сырьем в загрузочный патрубок 13, предварительно закрыв шаровой кран 8. Включить магнетроны 2, излучатели которых направлены в коаксиальный резонатор 1. В процессе перемещения контейнеров, загрузить через запредельный волновод очередные бутылки с замороженным сырьем. В коаксиальном резонаторе возбуждается электромагнитное поле бегущей волны, и в соответствии с глубиной проникновения электромагнитного поля, замороженное сырье размораживается послойно, стекает через отверстия 5 перфорации основания 4, в конический резонатор 3. Включить магнетроны 6, излучатели которых направлены в конический резонатор.

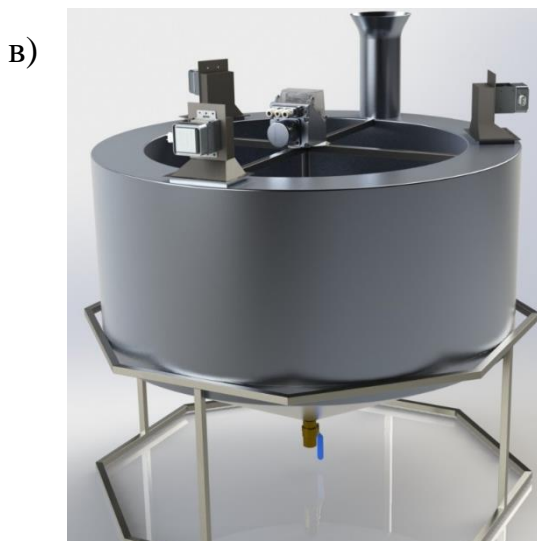
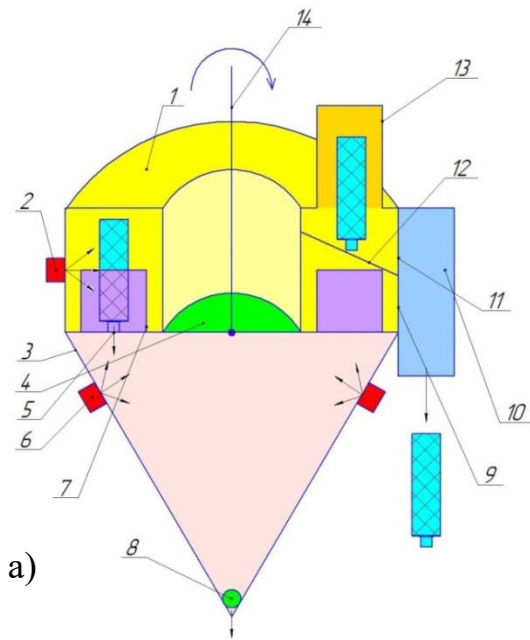


Рисунок – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных: а) схематическое изображение, б) расположение контейнеров в коаксиальном резонаторе, в) пространственное изображение, г) опытный образец установки со шкафом управления: 1 – коаксиальный резонатор прямоугольного сечения без нижнего основания; 2 – магнетроны на поверхности коаксиального резонатора; 3, 4, 5 – конический резонатор с перфорированным основанием; 6 – магнетроны на поверхности конического резонатора; 7 – диэлектрические контейнеры; 8 – шаровой кран на вершине конического резонатора; 9 – открытое окно на наружной боковой поверхности кольцевого резонатора; 10, 11 – неферромагнитный выгрузной патрубок без основания; 12 – направляющая диэлектрическая планка; 13 – загрузочный патрубок; 14 – электропривод для передвижения контейнеров

5. Экономические показатели

Годовой экономический эффект от применения СВЧ установки для дефростации и разогрева молозива животных составляет 323 тыс. руб. за счет снижения эксплуатационных расходов. Рентабельность повышается на 5 %.

6. Заключение

В процессе апробации произведены технологические операции, описанные выше. Загружали диэлектрические бутылки без крышек с замороженным сырьем в диэлектрические контейнеры, в процессе их перемещения в кольцевом пространстве коаксиального резонатора, где возбуждено электромагнитное поле сверхвысокой частоты. В конце полного оборота контейнеров замороженное сырье размораживается за счет эндогенного нагрева и стекает в конический резонатор, а пустые бутылки выталкиваются за пределы установки.

Размороженное сырье накапливается в коническом резонаторе, подвергается воздействию эндогенного нагрева, разогревается до 39-40°C и через шаровой край сливается в приемную емкость. Температура сырья контролируется с помощью датчиков температуры. В обоих резонаторах возбуждается электромагнитное поле высокой напряженности, достаточной для снижения бактериальной обсемененности продукта.

Разработанный технологический процесс размораживания и разогрева молозива животных с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты СВЧ в установке непрерывно-поточного действия позволила удостовериться, что рабочие узлы установки достаточно надежные, молозиво размораживается и разогревается до 39°C в течение 26 мин. Потребляемая мощность СВЧ установки составляет 5,3 кВт.

Генеральный директор предприятия:



Должность

Должность

Должность

[Handwritten signature]

подпись

ФИО

М. Есир

подпись

ФИО

Тросвиринова

подпись

ФИО

УТВЕРЖДАЮ

Председатель колхоза
ОПХ «Ленинская искра»
Ядринского района
Чувашской Республики
В.Г. Герасимов
«12» апреля 2015 г.

**АКТ**

внедрения результатов научно-исследовательской работы по теме «Обоснование параметров и режимов работы сверхвысокочастотной установки для термообработки жиросодержащего сырья» в колхоз опытно-производственное хозяйство «Ленинская искра» Ядринского района Чувашской Республики

Мы, председатель колхоза опытно-производственное хозяйство «Ленинская искра» Ядринского района Чувашской Республики **Герасимов Валерий Геннадьевич**,

заведующий кафедрой «Электрооборудование и механизация переработки сельскохозяйственной продукции», доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия» (ФГБОУ ВПО «ЧГСХА») **Новикова Галина Владимировна**,

докторант ФГБОУ ВПО «Казанский государственный аграрный университет», кандидат технических наук **Белова Марьяна Валентиновна**,

докторант ФГБОУ ВПО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», кандидат технических наук **Белов Александр Анатольевич**,

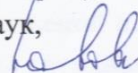
старший преподаватель кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции биотехнологического факультета ФГБОУ ВПО «ЧГСХА», кандидат технических наук **Ершова Ирина Георгиевна**,

улучшить их энергетическую ценность. При использовании установки в колхозе ОПХ «Ленинская искра» Ядринского района Чувашской Республики энергетические затраты на термообработку жиросодержащего сырья снизились до 0,125 кВт·ч/кг.

Технология термообработки жиросодержащего сырья и установка для ее реализации рекомендуется к внедрению на сельскохозяйственные предприятия и фермерские хозяйства.

Представитель колхоза ОПХ «Ленинская искра»
Ядринского района Чувашской Республики:

Заведующий кафедрой «Электрооборудование и
механизация переработки сельскохозяйственной продукции»
ФГБОУ ВПО «ЧГСХА», доктор технических наук,
профессор



Г.В. Новикова

Докторант ФГБОУ ВПО «Казанский
государственный аграрный университет»,
кандидат технических наук



М.В. Белова

Докторант ФГБОУ ВПО
«РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»,
кандидат технических наук



А.А. Белов

Старший преподаватель ФГБОУ ВПО «ЧГСХА»,
кандидат технических наук



И.Г. Ершова

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

АКТЫ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В
УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

УТВЕРЖДАЮ

Врио ректора
ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА
Н. Ю. Бармин

25 01 2022 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе материалов научной работы
Ершовой Ирины Георгиевны на тему:
«СВЧ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ДЛЯ ДЕФРОСТАЦИИ МОЛОЗИВА
ЖИВОТНЫХ»

Комиссия в составе:

председатель комиссии:

Басонов Орест Антипович – врио проректора по научной и инновационной работе, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

члены комиссии:

Пасин Александр Валентинович – декан инженерного факультета, доктор технических наук, профессор;

Филимонов Илья Викторович – заведующий кафедрой «Механизация животноводства и электрификация сельского хозяйства», кандидат технических наук, доцент;

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «СВЧ технология и техника для дефростации молозива животных»,

выполненной кандидатом технических наук Ершовой Ириной Георгиевной, и представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве, и научным консультантом, доктором технических наук, Просвиряковой Марьяной Валентиновной,

использованы в учебном процессе при чтении лекций, проведении лабораторно-практических занятий у студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» (бакалавриат) по дисциплинам «Эксплуатация электрооборудования и средств автоматики», «Электротехнологии», «Механизация технологических процессов в АПК» в 2020-2021 учебном году.

Комиссия рассмотрела результаты исследований, представленные к использованию в учебном процессе:

- изготовленный образец установки непрерывно-поточного действия содержит два состыкованных резонатора – коаксиальный и конический (рис. 1); в коаксиальном резонаторе, по периметру внутреннего цилиндра имеется прорезь для электропривода, обеспечивающего перемещение контейнеров; перфорированное основание конического резонатора, диаметром менее четверти длины волны, а магнетроны со сдвигом на 120 градусов установлены на каждом резонаторе; на верхнем основании коаксиального резонатора, со средним периметром, кратным половине длины волны, имеется загрузочный пагрубок, выполняющий функцию запердельного волновода.



Рисунок 1 – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с коаксиальным и коническим резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных

Комиссия установила:

- цель исследований заключается в сохранении кормовой ценности размороженного и разогретого молозива животных путем развития теоретических и методологических основ проектирования и создания двухрезонаторной сверхвысоко-частотной установки непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения, позволяющей при изменении агрегатного состояния молозива провести отдельные процессы дефростации и разогрева, с соблюдением электромагнитной безопасности при сниженных энергетических затратах;

- новизна исследований состоит в том, что для снижения продолжительности дефростации и разогрева молозива животных, позволяющей сохранить кормовую ценность, эти процессы реализованы в двух резонаторах при разных дозах воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты в зависимости от агрегатного состояния молозива, с разделением при температуре, равной температуре фазового превращения;

- использование результатов исследований позволит обучающимся освоить инновационные технологии в области применения электромагнитных излучений в процессах производства продукции животноводства.

Председатель комиссии:

врио проректора по научной и инновационной работе,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
(prorekt-nauch@nnsaa.ru)

Басонов Орест Антипович

Члены комиссии:

Декан инженерного факультета,
доктор технических наук, профессор
(ing-fac-nnsaa@yandex.ru)

Пасин Александр Валентинович

Заведующий кафедрой «Механизация животноводства и электрификация сельского хозяйства», кандидат технических наук, доцент
(mg_ngsha@ro.ru)

Филимонов Илья Викторович

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЧУВАШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.Я. ЯКОВЛЕВА»



УТВЕРЖДАЮ:
 Проректор по учебной работе

С.В. Ильина

«12» октября 2021 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе материалов диссертационной работы
Ершовой Ирины Георгиевны на тему
«СВЧ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА
ДЛЯ ДЕФРОСТАЦИИ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ»

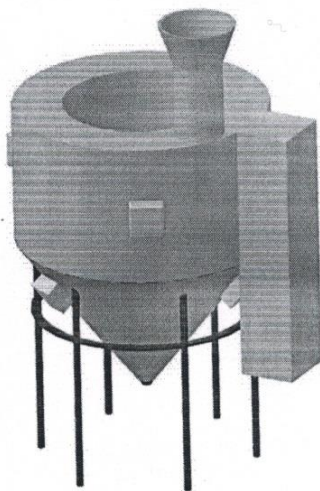
Комиссия в составе:

председатель Кириллов А. А. – начальник управления научной и инновационной работы;

члены комиссии: Федорова И. А. – декан технологического факультета, канд. пед. наук, доцент; **Фадеев И. В.** – зав. кафедрой машиноведения, д-р техн. наук, доцент,

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «СВЧ технология и техника для дефростации молозива животных», выполненной под научным руководством доктора технических наук, профессора Новиковой Галины Владимировны и доктора технических наук Беловой Марьяны Валентиновны, и 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 по дисциплинам «Общая электротехника и электроника», «Электротехника».

Соискателем разработана микроволновая установка (рисунок) непрерывно-поточного действия с кольцевым и коническим резонаторами для дефростации молозива животных.



а) Рисунок – Микроволновая установка: а) пространственное изображение, б) реальное исполнение

В библиотеке университета размещены *патенты*, подтверждающие новизну конструкционных исполнений разработанных и изготовленных микроволновых установок для дефростации молозива животных:

1. Патент № 2694944 РФ, МПК А47J39/00. Микроволновая установка для размораживания коровьего молозива / Поручиков Д. В., Васильев А. Н., Ершова И. Г., Новикова Г. В., Белова М. В.; заявитель и патентообладатель ВИМ. – № 2018143727; заявл. 11.12.2018, опубл. 18.07.2019. – Бюл. № 20. – 10 с;

2. Патент № 2752938 РФ, МПК А47J.39/00. Двухмодульная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для размораживания и разогрева коровьего молозива / Новикова Г. В., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Тараканов Д. А., Тихонов А. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU) . – № 2020141711; заявл. 17.12.2020; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23 – 10 с.;

3. Патент № 2752941 РФ, МПК А47J.39/00. Радиогерметичная многорезонаторная установка для размораживания молозива животных / Новикова Г. В., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Зиганшин Б. Г., Тараканов Д. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2020141715; заявл. 10.09.2020; заявл. 17.12.2020; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23 – 10 с.;

4. Патент № РФ, МПК А47J.39/00. СВЧ установка непрерывно-поточного действия с квазистационарными тороидальными резонаторами для размораживания и разогрева молозива животных / Новикова Г. В., Сторчевой В. Ф., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Тараканов Д. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2021104198; заявл. 19.02.2021, опубл. . – Бюл. № . – 10 с. полож. решение от 26.06.2021.

Использование представленных результатов научных исследований, патентов на изобретения по теме «СВЧ технология и техника для дефростации молозива животных» позволит освоить инновационные технологии для переработки сырья.

Председатель комиссии:

Начальник управления научной
и инновационной работы (8(8352)22-34-95)



Александр Алексеевич Кириллов

Члены комиссии:

Декан технолого-экономического факультета,
канд. пед наук, доцент (8(8352)22-23-70)



Ираида Алексеевна Федорова

Заведующий кафедрой машиноведения,
д-р. техн., доцент (8(8352)22-23-70)




Иван Васильевич Фадеев

Чебоксарский кооперативный институт (филиал)
 автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования
 Центросоюза Российской Федерации «Российский университет кооперации»

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по учебной работе и
 стратегическому развитию
 Чебоксарского кооперативного института
 (филиала) автономной некоммерческой
 образовательной организации
 высшего образования Центросоюза РФ
 "Российский университет кооперации",
 кандидат юридических наук, доцент
 Антонова Елена Ивановна

 15 ноября 2021 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор Чебоксарского кооперативного
 института (филиала)
 автономной некоммерческой
 образовательной организации
 высшего образования Центросоюза РФ
 "Российский университет кооперации",
 доктор исторических наук, профессор
 Андрей Валерий Витальевич

 15 ноября 2021 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе материалов
 докторской диссертационной работы
Ершовой Ирины Георгиевны на тему
 «СВЧ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА
 ДЛЯ ДЕФРОСТАЦИИ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ»

Комиссия в составе:

председателя – Евграфовой Татьяны Николаевны, начальника учебного отдела,
 кандидата философских наук, доцента;

членов комиссии:

Городновой Ольги Николаевны, начальника отдела по научной работе, кандидата
 философских наук, кандидата юридических наук, доцента;

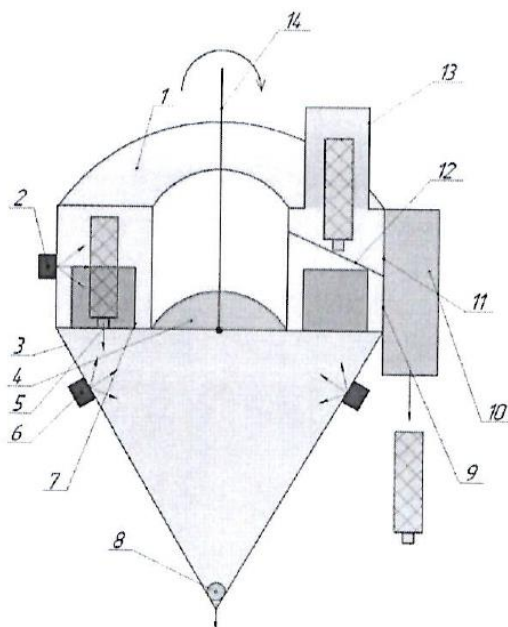
Алексеева Виктора Васильевича, профессора кафедры экономики и
 информационных технологий, доктора технических наук, доцента;

Михайловой Ларисы Владиславовны, доцента кафедры менеджмента и маркетинга,
 кандидата технических наук, доцента.

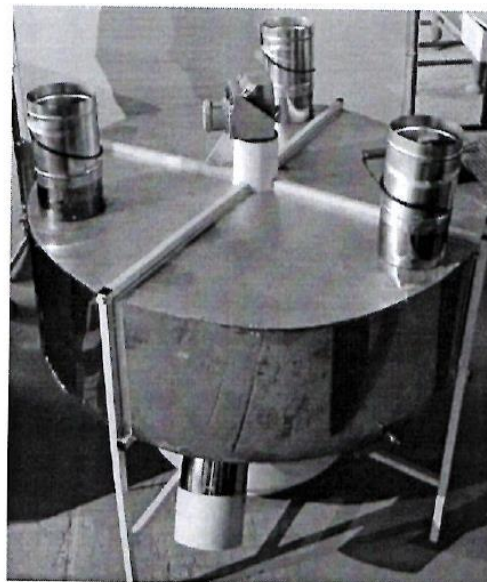
составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «СВЧ
 технология и техника для дефростации молозива животных» кандидата технических наук
Ершовой Ирины Георгиевны, выполненной под научным руководством доктора
 технических наук, профессора Новиковой Галины Владимировны, и доктора технических
 наук Беловой Марьяны Валентиновны, и представленной на соискание ученой степени
 доктора технических наук по специальности 05.20.02 – Электротехнологии и
 электрооборудование в сельском хозяйстве, **внедрены в учебном процессе** при чтении
 лекций, проведении лабораторно-практических занятий для бакалавров и магистров по
 направлениям подготовки 19.03.04, 19.04.04.

Для проведения лабораторных работ разработаны методические указания и
 лабораторный образец микроволновой установки для дефростации молозива (рисунок).
 Установка содержит кольцевой резонатор 1 с магнетронами 2, образованный между двумя
 соосно расположенными неферромагнитными цилиндрами (наружным и внутренним),
 верхним кольцевым неферромагнитным основанием и неферромагнитным
 перфорированным основанием 4, являющимся одновременно основанием конического
 резонатора 3, направленного вершиной вниз и пристыкованного к кольцевому резонатору.
 Одни магнетроны 2 со сдвигом на 120 градусов расположены на боковой поверхности
 кольцевого резонатора, другие магнетроны 6 также со сдвигом на 120 градусов

расположены на поверхности конического резонатора, ближе к основанию. Над перфорированным основанием 4, внутри кольцевого объема, радиально установлены диэлектрические перегородки 7, образуя отсеки. Средний периметр кольцевого объема резонатора кратен половине длины волны.



а)



б)

Рисунок – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с кольцевым и коническим резонаторами для дефростации молозива животных: а) схематическое изображение, б) реальное исполнение: 1 – кольцевой резонатор прямоугольного сечения без нижнего основания; 2 – магнетроны на наружной боковой поверхности кольцевого резонатора; 3 – конический резонатор с основанием 4, имеющим перфорацию 5; 6 – магнетроны на поверхности конического резонатора; 7 – диэлектрические перегородки, образующие отсеки; 8 – шаровой кран на вершине конического резонатора; 9 – открытое окно на наружной боковой поверхности кольцевого резонатора; 10 – неферромагнитный выгрузной патрубок 10 без основания; 11 – открытое окно на боковой поверхности неферромагнитного выгрузного патрубка; 12 – направляющая диэлектрическая планка; 13 – загрузочный патрубок; 14 – электропривод для передвижения отсеков.

Основание 5 перфорировано, диаметром не более четверти длины волны. На вершине конического резонатора установлен шаровой кран 8. На боковой поверхности кольцевого резонатора имеется открытое окно 9. К окну пристыкован неферромагнитный выгрузной патрубок 10 без основания и с открытым окном 11 на боковой поверхности. Эти окна состыкованы и образуют проем. Напротив проема, к боковой поверхности внутреннего цилиндра кольцевого резонатора прикреплена направляющая диэлектрическая планка 12. На верхнем кольцевом основании резонатора имеется загрузочный патрубок 13, выполняющий функцию заградительного волновода, диаметром не менее диаметра диэлектрической бутылки с сырьем. Причем, этот патрубок расположен впереди открытого окна 9 на боковой поверхности кольцевого резонатора 1. Отсеки передвигаются в кольцевом объеме с помощью электропривода 14, установленного на направляющей платформе. Между внутренним цилиндром кольцевого резонатора и перфорированным основанием 4 имеется прорезь для передвижения узла, связывающего вал электропривода 14 с радиальными диэлектрическими перегородками 7. Рядом с шаровым краном расположена терморпара, это возможно из-за того, что конические резонаторы, ближе к вершине, имеют критическое сечение, за которым ЭМП СВЧ отсутствует.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ установке происходит следующим образом. Включить электропривод 14 для перемещения отсеков в кольцевом объеме резонатора 1. Загрузить диэлектрические бутылки без крышки

с замороженным сырьем в загрузочный патрубок 13, предварительно закрыв шаровой кран 8. Включить магнетроны 2, излучатели которых направлены в кольцевой резонатор 1. В процессе перемещения отсеков, загрузить через запредельный волновод очередные бутылки с замороженным сырьем, без крышек. В кольцевом резонаторе возбуждается ЭМП бегущей волны, и в соответствии с глубиной проникновения электромагнитного поля, замороженное сырье размораживается послойно, стекает через отверстия 5 перфорации основания 4, во второй резонатор 3. Включить магнетроны 6, излучатели которых направлены в конический резонатор 3. Причем бутылки с сырьем перемещаются в кольцевом пространстве и опустошаются в конце полного оборота отсеков, так как происходит дефростация под воздействием диэлектрического нагрева.

Пустая бутылка в конце полного оборота отсеков упирается в диэлектрическую планку 12, и выталкивается в неферромагнитный выгрузной патрубок 10 без основания, через проем, образованный состыкованными открытыми окнами 9, 11, падает в емкость для сбора пустых бутылок. Жидкое сырье, накапливается в коническом резонаторе 3, подвергается воздействию ЭМП СВЧ, разогревается до 38-40 °С и через шаровой кран 8 дозированно сливается в приемную емкость. Температура сырья контролируется с помощью датчика температуры (термопары). В обоих резонаторах возбуждается электрическое поле высокой напряженности, достаточной для снижения бактериальной обсемененности продукта.

Годовой экономический эффект от СВЧ установки для дефростации и разогрева молозива животных составляет 372 тыс./год за счет снижения эксплуатационных расходов.

В библиотеке университета размещены

– **патенты**, подтверждающие новизну конструкционных исполнений разработанных и изготовленных микроволновых установок для дефростации молозива животных:

1. Патент № 2694944 РФ, МПК А47J39/00. Микроволновая установка для размораживания коровьего молозива / Поручиков Д. В., Васильев А. Н., Ершова И. Г., Новикова Г. В., Белова М. В.; заявитель и патентообладатель ВИМ. – № 2018143727; заявл. 11.12.2018, опубл. 18.07.2019. – Бюл. № 20. – 10 с;

2. Патент № 2752938 РФ, МПК А47J.39/00. Двухмодульная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для размораживания и разогрева коровьего молозива / Новикова Г. В., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Тараканов Д. А., Тихонов А. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU) . – № 2020141711; заявл. 17.12.2020; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23 – 10 с.;

3. Патент № 2752941 РФ, МПК А47J.39/00. Радиогерметичная многорезонаторная установка для размораживания молозива животных / Новикова Г. В., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Зиганшин Б. Г., Тараканов Д. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2020141715; заявл. 10.09.2020; заявл. 17.12.2020; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23 – 10 с.;

4. Патент № 2753424 РФ, МПК А47J.39/00. СВЧ установка непрерывно-поточного действия с квазистационарными тороидальными резонаторами для размораживания и разогрева молозива животных / Новикова Г. В., Сторчевой В. Ф., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Тараканов Д. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2021104198; заявл. 19.02.2021, опубл. 16.08.2021. – Бюл. № 23 . – 10 с.;

– доступ к **публикациям в ведущих изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:**

1. Ершова, И. Г. Определение продолжительности переработки сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / М. В. Белова, Г. В. Новикова, Д. В. Поручиков, Е. А. Светопольский, И. Г. Ершова, М. Г. Сорокина // Естественные и технические науки. 2015. № 6. С. 521-524.

2. Ершова, И. Г. Исследование и разработка двухрезонаторной СВЧ установки для размораживания коровьего молозива / Г. В. Новикова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, П. В. Зайцев, Н. К. Кириллов // Вестник Казанский ГАУ. Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ». 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 77-83.

3. Ершова, И. Г. Анализ СВЧ-установок для дефростации и подогрева молозива животных / М. В. Просвирякова, В. Ф. Сторчевой, Г. В. Новикова, И. Г. Ершова // Вестник НГИЭИ. 2021. №3(118) . С. 52-69.

4. Ершова, И. Г. Исследование параметров двухрезонаторной СВЧ установки для дефростации и подогрева коровьего молозива / Г. В. Новикова, Б. Г. Зиганшин, О. В. Михайлова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, П. В. Зайцев, Н. К. Кириллов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 77-83.

5. Ершова, И. Г. СВЧ установка для дефростации и разогрева молозива животных в эффективных режимах / Г. В. Новикова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, О. В. Михайлова // Вестник НГИЭИ. 2021. № 8 (123). – С. 57-69.

– к публикациям в ведущих изданиях, индексируемых в международных базах цитирования *WoS, Scopus*:

1. Ershova, I. G. Innovations in Technologies of Agricultural Raw Materials Processing / M. V. Belova, G. V. Novikova, I. G. Ershova, M. A. Ershov, O. V. Mikhailova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Т. 11. № 6. P. 1269-1277 (Инновации в технологиях сельскохозяйственной обработки сырья).

2. Ershova, I. G. Mathematical model of animal colostrum defrostation in a microwave installation with quasi-stationary toroidal resonators / I. G. Ershova, M. V. Prosviryakova, O. V. Mikhailova, G. V. Novikova // International AgroScience Conference [Текст]: сб. науч. тр. по матер. междуна. конф., 16.04.2021 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Cheboksary. P. 56. (Математическая модель дефростации молозива животных в СВЧ установке с квазистационарными тороидальными резонаторами).


3. Ershova, I. G. Justification of the effect of volum heating of frozen colostrum of animals in a two-resonator installation / I. G. Ershova, G. V. Novikova, O. V. Mikhailova, M. V. Prosviryakova, V. F. Storchevoy // International AgroScience Conference [Текст] : сб. науч. тр. по матер. междуна. конф., 16.04.2021. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Cheboksary. P. 66 (Обоснование эффекта объемного нагрева замороженного молозива животных в двухрезонаторной установке).

4. Ershova, I. G. Electrotechnology of animal colostrum defrosting in two-resonator microwave installations / I Ershova, M Prosviryakova, O Mikhailova, G Novikova, D Tarakanov and G Samarin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 857, International Conference: Sustainable Development in Rural Areas 2021; Knyaginino, RF. 012007 (Электротехнология размораживания молозива животных в двухрезонаторных микроволновых установках).

Использование результатов научных исследований, патентов на изобретения позволит освоить инновационные технологии в области применения электромагнитных излучений в процессах производства молочной продукции и изготовить лабораторные стенды для изучения основных разделов обязательных дисциплин, входящих в вариативную часть учебного плана.


Председатель комиссии:

Начальник учебного отдела, кандидат философских наук,
доцент


 Евграфова Татьяна Николаевна

Члены комиссии:


Начальник отдела по научной работе, кандидат философских наук,
кандидат юридических наук, доцент

 Городнова Ольга Николаевна

Профессор кафедры экономики и информационных технологий,
доктор технических наук, доцент

 Алексеев Виктор Васильевич

Доцент кафедры менеджмента и маркетинга,
кандидат технических наук, доцент

 Михайлова Лариса Владиславовна

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«Ульяновский государственный аграрный университет
имени П.А. Столыпина»**
(ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ)

Ульяновская область, Чердаклинский район, пос. Октябрьский, ул. Студенческая, д.15А

СОГЛАСОВАНО:

Первый проректор - проректор по
научной работе
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ
Богданов Ильгизар Исмаилович

15 февраля 2021 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ
Исайчев Виталий Александрович

15 февраля 2021 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе материалов
докторской диссертационной работы
Ершовой Ирины Георгиевны на тему
«СВЧ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА
ДЛЯ ДЕФРОСТАЦИИ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ»

Комиссия в составе:

председатель – Павлушин Андрей Александрович, декан инженерного факультета, доктор технических наук, профессор кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»;

члены комиссии:

Курдюмов Владимир Иванович, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»; доктор технических наук, профессор;

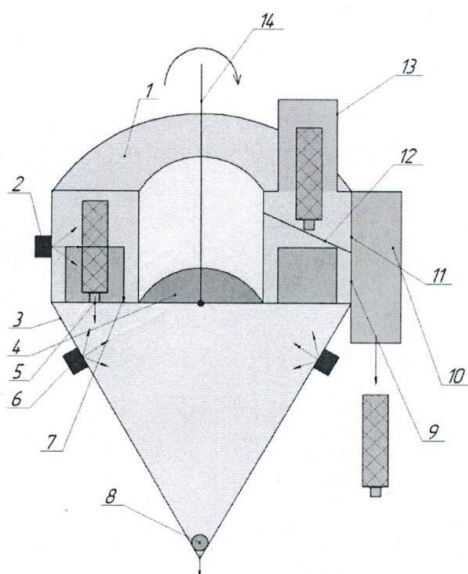
Хабарова Виктория Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и физика», председатель методического совета инженерного факультета;

Канаева Ольга Михайловна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология производства и ремонт машин», заместитель декана инженерного факультета по учебной работе;

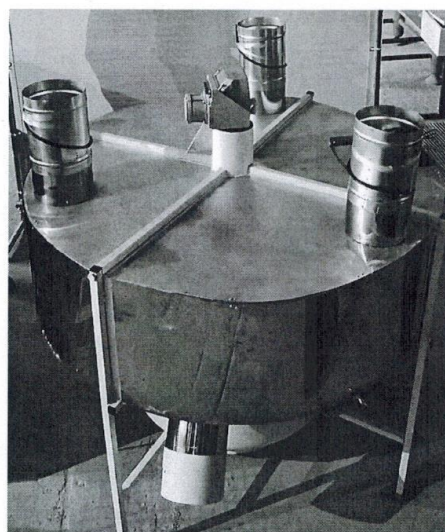
составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «СВЧ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ДЛЯ ДЕФРОСТАЦИИ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ» кандидата технических наук Ершовой Ирины Георгиевны, выполненной при научной консультации доктора технических наук, профессора Новиковой Галины Владимировны, и доктора технических наук Беловой Марьяны Валентиновны, и представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве, **внедрены в учебном процессе** при чтении лекций, проведении лабораторно-практических занятий для бакалавров и магистров по направлениям подготовки 35.03.06 и 35.04.06 «Агроинженерия».

Для проведения лабораторных работ разработаны методические указания и лабораторный образец микроволновой установки для дефростации молозива (рисунок). Установка содержит кольцевой резонатор 1 с магнетронами 2, образованный между двумя соосно расположенными неферромагнитными цилиндрами (наружным и внутренним), верхним кольцевым неферромагнитным основанием 3 и неферромагнитным перфорированным основанием 4, являющимся одновременно основанием конического резонатора 3, направленного вершиной вниз и пристыкованного к кольцевому резонатору. Одни магнетроны 2 со сдвигом на 120 градусов расположены на боковой поверхности кольцевого резонатора, другие магнетроны 6 также со сдвигом на 120 градусов расположены на поверхности конического резонатора, ближе к основанию. Над перфорированным основанием 4, внутри кольцевого объема, радиально установлены

диэлектрические перегородки 7, образуя отсеки. Средний периметр кольцевого объема резонатора кратен половине длины волны.



а)



б)

Рисунок – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с кольцевым и коническим резонаторами для дефростации молозива животных: а) схематическое изображение, б) реальное исполнение: 1 – кольцевой резонатор прямоугольного сечения без нижнего основания; 2 – магнетроны на наружной боковой поверхности кольцевого резонатора; 3 – конический резонатор с основанием 4, имеющим перфорацию 5; 6 – магнетроны на поверхности конического резонатора; 7 – диэлектрические перегородки, образующие отсеки; 8 – шаровой кран на вершине конического резонатора; 9 – открытое окно на наружной боковой поверхности кольцевого резонатора; 10 – неферромагнитный выгрузной патрубок 10 без основания; 11 – открытое окно на боковой поверхности неферромагнитного выгрузного патрубка; 12 – направляющая диэлектрическая планка; 13 – загрузочный патрубок; 14 – электропривод для передвижения отсеков

Основание 5 перфорировано, диаметром не более четверти длины волны. На вершине конического резонатора установлен шаровой кран 8. На боковой поверхности кольцевого резонатора имеется открытое окно 9. К окну пристыкован неферромагнитный выгрузной патрубок 10 без основания и с открытым окном 11 на боковой поверхности. Эти окна состыкованы и образуют проем. Напротив проема, к боковой поверхности внутреннего цилиндра кольцевого резонатора прикреплен направляющая диэлектрическая планка 12. На верхнем кольцевом основании резонатора имеется загрузочный патрубок 13, выполняющий функцию запредельного волновода, диаметром не менее диаметра диэлектрической бутылки с сырьем. Причем, этот патрубок расположен впереди открытого окна 9 на боковой поверхности кольцевого резонатора 1. Отсеки передвигаются в кольцевом объеме с помощью электропривода 14, установленного на направляющей платформе. Между внутренним цилиндром кольцевого резонатора и перфорированным основанием 4 имеется прорезь для передвижения узла, связывающего вал электропривода 14 с радиальными диэлектрическими перегородками 7. Рядом с шаровым краном расположена термопара, это возможно из-за того, что конические резонаторы, ближе к вершине, имеют критическое сечение, за которым ЭМП СВЧ отсутствует.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ установке происходит следующим образом. Включить электропривод 14 для перемещения отсеков в кольцевом объеме резонатора 1. Загрузить диэлектрические бутылки без крышки с замороженным сырьем в загрузочный патрубок 13, предварительно закрыв шаровой кран

8. Включить магнетроны 2, излучатели которых направлены в кольцевой резонатор 1. В процессе перемещения отсеков, загрузить через запредельный волновод очередные бутылки с замороженным сырьем, без крышек. В кольцевом резонаторе возбуждается ЭМП бегущей волны, и в соответствии с глубиной проникновения электромагнитного поля, замороженное сырье размораживается послойно, стекает через отверстия 5 перфорации основания 4, во второй резонатор 3. Включить магнетроны 6, излучатели которых направлены в конический резонатор 3. Причем бутылки с сырьем перемещаются в кольцевом пространстве и опустошаются в конце полного оборота отсеков, так как происходит дефростация под воздействием диэлектрического нагрева.

Пустая бутылка в конце полного оборота отсеков упирается в диэлектрическую планку 12, и выталкивается в неферромагнитный выгрузной патрубок 10 без основания, через проем, образованный состыкованными открытыми окнами 9, 11, падает в емкость для сбора пустых бутылок. Жидкое сырье, накапливается в коническом резонаторе 3, подвергается воздействию ЭМП СВЧ, разогревается до 38-40 °С и через шаровой кран 8 дозированно сливается в приемную емкость. Температура сырья контролируется с помощью датчика температуры (термопары). В обоих резонаторах возбуждается электрическое поле высокой напряженности, достаточной для снижения бактериальной обсемененности продукта. Годовой экономический эффект от СВЧ установки для дефростации и разогрева молозива животных составляет 372 тыс./год за счет снижения эксплуатационных расходов.

В библиотеке университета размещены

– **патенты**, подтверждающие новизну конструктивных исполнений разработанных и изготовленных микроволновых установок для дефростации молозива животных:

1. Патент № 2694944 РФ, МПК А47J39/00. Микроволновая установка для размораживания коровьего молозива / Поручиков Д. В., Васильев А. Н., Ершова И. Г., Новикова Г. В., Белова М. В.; заявитель и патентообладатель ВИМ. – № 2018143727; заявл. 11.12.2018, опубл. 18.07.2019. – Бюл. № 20. – 10 с;

2. Патент № 2752938 РФ, МПК А47J.39/00. Двухмодульная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для размораживания и разогрева коровьего молозива / Новикова Г. В., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Тараканов Д. А., Тихонов А. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU) . – № 2020141711; заявл. 17.12.2020; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23 – 10 с.;

3. Патент № 2752941 РФ, МПК А47J.39/00. Радиогерметичная многорезонаторная установка для размораживания молозива животных / Новикова Г. В., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Зиганшин Б. Г., Тараканов Д. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2020141715; заявл. 10.09.2020; заявл. 17.12.2020; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23 – 10 с.;

4. Патент № 2753424 РФ, МПК А47J.39/00. СВЧ установка непрерывно-поточного действия с квазистационарными тороидальными резонаторами для размораживания и разогрева молозива животных / Новикова Г. В., Сторчевой В. Ф., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Тараканов Д. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2021104198; заявл. 19.02.2021, опубл. 16.08.2021. – Бюл. № 23 . – 10 с.;

– доступ к **публикациям в ведущих изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:**

1. Ершова, И. Г. Определение продолжительности переработки сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / М. В. Белова, Г. В. Новикова, Д. В. Поручиков, Е. А. Светопольский, И. Г. Ершова, М. Г. Сорокина // Естественные и технические науки. 2015. № 6. С. 521-524.

2. Ершова, И. Г. Исследование и разработка двухрезонаторной СВЧ установки для размораживания коровьего молозива / Г. В. Новикова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, П. В. Зайцев, Н. К. Кириллов // Вестник Казанский ГАУ. Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ». 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 77-83.

3. Ершова, И. Г. Анализ СВЧ-установок для дефростации и подогрева молозива животных / М. В. Просвирякова, В. Ф. Сторчевой, Г. В. Новикова, И. Г. Ершова // Вестник НГИЭИ. 2021. №3(118). С. 52-69.

4. Ершова, И. Г. Исследование параметров двухрезонаторной СВЧ установки для дефростации и подогрева коровьего молозива / Г. В. Новикова, Б. Г. Зиганшин, О. В.

Михайлова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, П. В. Зайцев, Н. К. Кириллов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 77-83.

5. Ершова, И. Г. СВЧ установка для дефростации и разогрева молозива животных в эффективных режимах / Г. В. Новикова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, О. В. Михайлова // Вестник НГИЭИ. 2021. № 8 (123). – С. 57-69.

– к публикациям в ведущих изданиях, индексируемых в международных базах цитирования WoS, Scopus:

1. Ershova, I. G. Innovations in Technologies of Agricultural Raw Materials Processing / M. V. Belova, G. V. Novikova, I. G. Ershova, M. A. Ershov, O. V. Mikhailova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Т. 11. № 6. P. 1269-1277 (Инновации в технологиях сельскохозяйственной обработки сырья).

2. Ershova, I. G. Mathematical model of animal colostrum defrostation in a microwave installation with quasi-stationary toroidal resonators / I. G. Ershova, M. V. Prosviryakova, O. V. Mikhailova, G. V. Novikova // International AgroScience Conference [Текст]: сб. науч. тр. по матер. междуна. конф., 16.04.2021 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Cheboksary. P. 56. (Математическая модель дефростации молозива животных в СВЧ установке с квазистационарными тороидальными резонаторами).

3. Ershova, I. G. Justification of the effect of volum heating of frozen colostrum of animals in a two-resonator installation / I. G. Ershova, G. V. Novikova, O. V. Mikhailova, M. V. Prosviryakova, V. F. Storchevoy // International AgroScience Conference [Текст] : сб. науч. тр. по матер. междуна. конф., 16.04.2021. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Cheboksary. P. 66 (Обоснование эффекта объемного нагрева замороженного молозива животных в двухрезонаторной установке).

4. Ershova, I. G. Electrotechnology of animal colostrum defrosting in two-resonator microwave installations / I Ershova, M Prosviryakova, O Mikhailova, G Novikova, D Tarakanov and G Samarin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 857, International Conference: Sustainable Development in Rural Areas 2021; Knyaginino, RF. 012007 (Электротехнология размораживания молозива животных в двухрезонаторных микроволновых установках).

Использование результатов научных исследований, патентов на изобретения позволит освоить инновационные технологии в области применения электромагнитных излучений в процессах переработки продукции животноводства и изготовить лабораторные стенды для изучения основных разделов обязательных дисциплин, входящих в вариативную часть учебного плана.

Председатель комиссии:

 Павлушин А. А.

Члены комиссии:

 Курдомов В. И.

 Хабарова В. В.

 Каняева О. М.

Исполнители:

Соискатель

 Ершова И. Г.

Научный консультант

 Просвирякова М. В.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
 «Костромская государственная сельскохозяйственная академия»
 (ФГБОУ ВО «Костромская ГСХА»)



УТВЕРЖДАЮ:

Врио ректора

ФГБОУ ВО «Костромская ГСХА»

по ф.техн. наук, профессор

Болжонов Михаил Станиславович

25 » ноября 2021 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе материалов диссертационной работы
Ершовой Ирины Георгиевны на тему
 «ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА
 ДЛЯ ДЕФРОСТАЦИИ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ»

Комиссия в составе:

председатель: Цыбакин Сергей Валерьевич – врио проректора по учебной работе,
 канд. технических наук;

члены комиссии:

Курилов Сергей Валерьевич – руководитель управления наукой и инновациями,
 кандидат технических наук, доцент,

Рожнов Александр Валентинович – декан электроэнергетического факультета,
 кандидат технических наук, доцент;

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы
 «Технология и техника для дефростации молозива животных», выполненной кандидатом
 технических наук **Ершовой Ириной Георгиевной** под научным руководством доктора
 технических наук, профессора Новиковой Галины Владимировны и доктора технических наук
 Беловой Марьяны Валентиновны, и 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 со студентами по направлениям 35.03.06 Агроинженерия,
 направленности (профили) Электрооборудование и электротехнологии, Информационные
 технологии в электроэнергетике, 35.04.06 Агроинженерия (уровень магистратуры),
 направленность (профиль) Электротехнологии и электрооборудование в сельском
 хозяйстве, по дисциплинам

«Электротехнологии и электротехнологические установки в агропромышленном
 комплексе», «Автоматизация сельскохозяйственных процессов», «Управление
 электроприводами», «Электрические машины», «Специальные виды электротехнологии».

Для проведения лабораторных работ разработаны методические указания и опытный
 образец сверхвысокочастотной установки для дефростации молозива. Установка (рис.)
 содержит кольцевой резонатор 1 с магнетронами 2, образованный между двумя соосно
 расположенными неферромагнитными цилиндрами (наружным и внутренним), верхним
 кольцевым неферромагнитным основанием и неферромагнитным перфорированным
 основанием 4, являющимся одновременно основанием конического резонатора 3,
 направленного вершиной вниз и пристыкованного к кольцевому резонатору. Одни
 магнетроны 2 со сдвигом на 120 градусов расположены на боковой поверхности кольцевого

резонатора, другие магнетроны 6 также со сдвигом на 120 градусов расположены на поверхности конического резонатора, ближе к основанию.

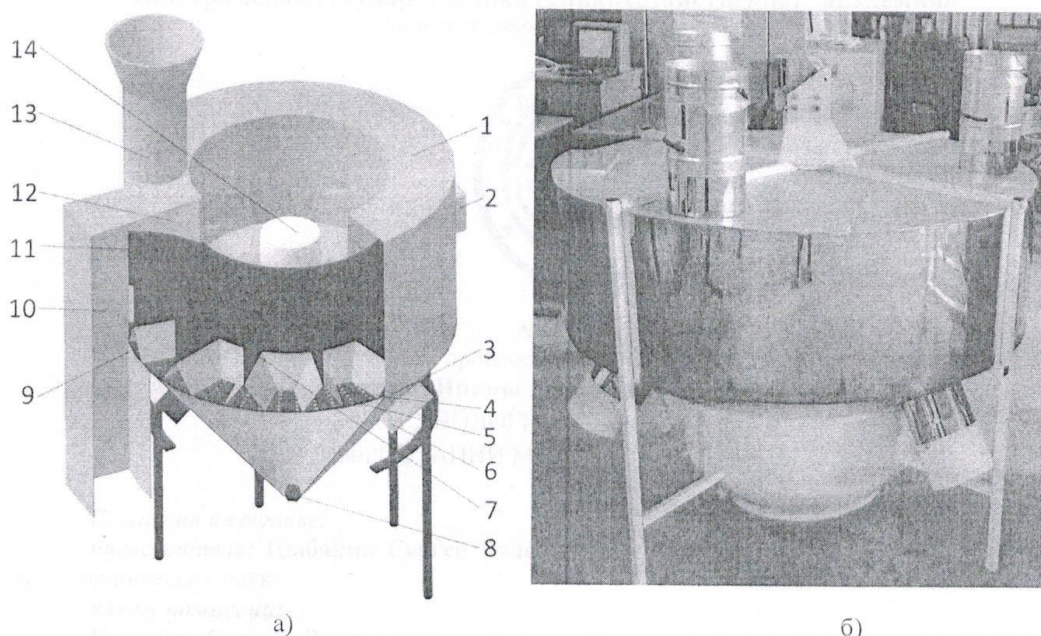


Рисунок – СВЧ установка непрерывно-поточного действия с кольцевым и коническим резонаторами для дефростации молозива животных: а) пространственное изображение, б) реальное исполнение: 1 – кольцевой резонатор прямоугольного сечения без нижнего основания; 2 – магнетроны на наружной боковой поверхности кольцевого резонатора; 3 – конический резонатор с основанием 4, имеющим перфорацию 5; 6 – магнетроны на поверхности конического резонатора; 7 – диэлектрические перегородки, образующие отсеки; 8 – шаровой кран на вершине конического резонатора; 9 – открытое окно на наружной боковой поверхности кольцевого резонатора; 10 – неферромагнитный выгрузной патрубок без основания; 11 – открытое окно на боковой поверхности неферромагнитного выгрузного патрубка; 12 – направляющая диэлектрическая планка; 13 – загрузочный патрубок; 14 – электропривод для передвижения отсеков

Над перфорированным основанием 4, внутри кольцевого объема, радиально установлены диэлектрические перегородки 7, образуя отсеки. Средний периметр кольцевого объема резонатора кратен половине длины волны. Основание перфорировано 5, диаметром не более четверти длины волны. На вершине конического резонатора установлен шаровой кран 8. На боковой поверхности кольцевого резонатора имеется открытое окно 9. К окну пристыкован неферромагнитный выгрузной патрубок 10 без основания и с открытым окном 11 на боковой поверхности. Эти окна состыкованы и образуют проем. Напротив проема, к боковой поверхности внутреннего цилиндра кольцевого резонатора прикреплена направляющая диэлектрическая планка 12. На верхнем кольцевом основании резонатора имеется загрузочный патрубок 13, выполняющий функцию запредельного волновода, диаметром не менее диаметра диэлектрической бутылки с сырьем. Причем, этот патрубок расположен впереди открытого окна 9 на боковой поверхности кольцевого резонатора 1. Отсеки передвигаются в кольцевом объеме с помощью электропривода 14, установленного на направляющей платформе. Между внутренним цилиндром кольцевого резонатора и перфорированным основанием 4 имеется прорезь для передвижения узла, связывающего вал электропривода 14 с радиальными диэлектрическими перегородками 7. Рядом с шаровым краном расположена термopара, это возможно из-за того, что конические резонаторы, ближе к вершине, имеют критическое сечение, за которым ЭМП СВЧ отсутствует.

Технологический процесс дефростации и разогрева молозива животных в СВЧ установке происходит следующим образом. Включить электропривод 14 для перемещения

отсеков в кольцевом объеме резонатора 1. Загрузить диэлектрические бутылки без крышки с замороженным сырьем в загрузочный патрубок 13, предварительно закрыв шаровой кран 8. Включить магнетроны 2, излучатели которых направлены в кольцевой резонатор 1. В процессе перемещения отсеков, загрузить через запредельный волновод очередные бутылки с замороженным сырьем, без крышек. В кольцевом резонаторе возбуждается ЭМП бегущей волны, и в соответствии с глубиной проникновения электромагнитного поля, замороженное сырье размораживается послойно, стекает через отверстия 5 перфорации основания 4, во второй резонатор 3. Включить магнетроны 6, излучатели которых направлены в конический резонатор 3. При этом бутылки с сырьем перемещаются в кольцевом пространстве и опустошаются в конце полного оборота отсеков, так как происходит дефростация под воздействием диэлектрического нагрева.

Пустая бутылка в конце полного оборота отсеков упирается в диэлектрическую планку 12, и выталкивается в неферромагнитный выгрузной патрубок 10 без основания, через проем, образованный состыкованными открытыми окнами 9, 11, падает в емкость для сбора пустых бутылок. Жидкое сырье, накапливается в коническом резонаторе 3, подвергается воздействию ЭМП СВЧ, подогревается до 38-40 °С и через шаровой кран 8 дозированно сливается в приемную емкость. Температура сырья контролируется с помощью датчика температуры (термопары). В обоих резонаторах возбуждается электрическое поле высокой напряженности, достаточной для снижения бактериальной обсемененности продукта.

В библиотеке академии размещены

– **патенты**, подтверждающие новизну конструкционных исполнений, разработанных и изготовленных микроволновых установок для дефростации молока животных:

1. Патент № 2694944 РФ, МПК А47J39/00. Микроволновая установка для размораживания коровьего молока / Поручиков Д. В., Васильев А. Н., Ершова И. Г., Новикова Г. В., Белова М. В.; заявитель и патентообладатель ВИМ. – № 2018143727; заявл. 11.12.2018, опубл. 18.07.2019. – Бюл. № 20. – 10 с;

2. Патент № 2752938 РФ, МПК А47J.39/00. Двухмодульная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для размораживания и разогрева коровьего молока / Новикова Г. В., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Тараканов Д. А., Тихонов А. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2020141711; заявл. 17.12.2020; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23 – 10 с.

3. Патент № 2752941 РФ, МПК А47J.39/00. Радиогерметичная многорезонаторная установка для размораживания молока животных / Новикова Г. В., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Зиганшин Б. Г., Тараканов Д. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2020141715; заявл. 10.09.2020; заявл. 17.12.2020; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23 – 10 с.

4. Патент № 2753424 РФ, МПК А47J.39/00. СВЧ установка непрерывно-поточного действия с квазистационарными тороидальными резонаторами для размораживания и разогрева молока животных / Новикова Г. В., Сторчевой В. Ф., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Тараканов Д. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2021104198; заявл. 19.02.2021, опубл. 16.08.2021. – Бюл. № 23. – 10 с.

– **доступ к публикациям в ведущих изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:**

1. Ершова, И. Г. Определение продолжительности переработки сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / М. В. Белова, Г. В. Новикова, Д. В. Поручиков, Е. А. Светопольский, И. Г. Ершова, М. Г. Сорокина // Естественные и технические науки. 2015. № 6. С. 521-524.

2. Ершова, И. Г. Исследование и разработка двухрезонаторной СВЧ установки для размораживания коровьего молока / Г. В. Новикова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, П. В. Зайцев, Н. К. Кириллов // Вестник Казанский ГАУ. Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ». 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 77-83.

3. Ершова, И. Г. Анализ СВЧ-установок для дефростации и подогрева молока животных / М. В. Просвирякова, В. Ф. Сторчевой, Г. В. Новикова, И. Г. Ершова // Вестник НГИЭИ. 2021. №3(118). С. 52-69.

4. Ершова, И. Г. Исследование параметров двухрезонаторной СВЧ установки для дефростации и подогрева коровьего молока / Г. В. Новикова, Б. Г. Зиганшин, О. В.

Михайлова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, П. В. Зайцев, Н. К. Кириллов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 77-83.

5. Ершова, И. Г. СВЧ установка для дефростации и разогрева молозива животных в эффективных режимах / Г. В. Новикова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, О. В. Михайлова // Вестник НГИЭИ. 2021. № 8 (123). – С. 57-69.

– в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования WoS, Scopus:

1. Ershova, I. G. Innovations in Technologies of Agricultural Raw Materials Processing / M. V. Belova, G. V. Novikova, I. G. Ershova, M. A. Ershov, O. V. Mikhailova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Т. 11. № 6. P. 1269-1277.

2. Ershova, I. G. Mathematical model of animal colostrum defrostation in a microwave installation with quasi-stationary toroidal resonators / I. G. Ershova, M. V. Prosviryakova, O. V. Mikhailova, G. V. Novikova // International AgroScience Conference [Текст]: сб. науч. тр. по матер. междуна. конф., 16.04.2021 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Cheboksary. P. 56.

3. Ershova, I. G. Justification of the effect of volum heating of frozen colostrum of animals in a two-resonator installation / I. G. Ershova, G. V. Novikova, O. V. Mikhailova, M. V. Prosviryakova, V. F. Storchevoy // International AgroScience Conference [Текст]: сб. науч. тр. по матер. междуна. конф., 16.04.2021. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Cheboksary. P. 66.

4. Ershova, I. G. Electrotechnology of animal colostrum defrosting in two-resonator microwave installations / I Ershova, M Prosviryakova, O Mikhailova, G Novikova, D Tarakanov and G Samarin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 857, International Conference: Sustainable Development in Rural Areas 2021; Knyaginino, RF. 012007.

Использование результатов научных исследований, патентов на изобретения позволит освоить инновационные технологии в области применения электромагнитных излучений в процессах переработки продукции животноводства и изготовить лабораторные стенды для изучения основных разделов обязательных дисциплин, входящих в вариативную часть учебного плана.

Председатель комиссии:

С. В. Цыбакин

Члены комиссии:

С. В. Курилов

А. В. Рожнов

Подписи вышеуказанных
лиц заверяю

Начальник управления персоналом



Т.Н. Васильева

Исполнители:

Соискатель

И. Г. Ершова

Научный консультант

М. В. Просвирякова

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
 государственный аграрный университет»,
 доктор технических наук, доцент
 Валиев Айрат Расимович



2021 г.

АКТ
 об использовании в учебном процессе материалов
 диссертационной работы **Ершовой Ирины Георгиевны**
 на тему «ТЕХНОЛОГИЯ И СВЧ ТЕХНИКА
 ДЛЯ ДЕФРОСТАЦИИ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ»

Комиссия в составе:

председатель Зиганшин Булат Гусманович, первый проректор-проректор по научной и международной деятельности, доктор технических наук, профессор;

члены комиссии: Дмитриев Андрей Владимирович – проректор по учебно-воспитательной работе, кандидат технических наук, доцент; **Медведев Владимир Михайлович** – директор Института механизации и технического сервиса, кандидат технических наук, доцент;

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «ТЕХНОЛОГИЯ И СВЧ ТЕХНИКА ДЛЯ ДЕФРОСТАЦИИ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ», выполненной кандидатом технических наук Ершовой Ириной Георгиевной под научным консультированием доктора технических наук, профессора Новиковой Галины Владимировны, и доктора технических наук Беловой Марьяны Валентиновны, и 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 и проведении лабораторно-практических занятий у студентов бакалавриата и магистратуры по направлению «Агроинженерия».

В библиотеке аграрного университета размещены

– **патенты**, подтверждающие новизну конструкционных исполнений разработанных и изготовленных микроволновых установок для дефростации молозива животных:

1. Патент № 2694944 РФ, МПК А47J39/00. Микроволновая установка для размораживания коровьего молозива / Поручиков Д. В., Васильев А. Н., Ершова И. Г., Новикова Г. В., Белова М. В.; заявитель и патентообладатель ВИМ. – № 2018143727; заявл. 11.12.2018, опубл. 18.07.2019. – Бюл. № 20. – 10 с;

2. Патент № 2752938 РФ, МПК А47J.39/00. Двухмодульная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для размораживания и разогрева коровьего молозива / Новикова Г. В., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Тараканов Д. А., Тихонов А. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU) . – № 2020141711; заявл. 17.12.2020; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23 – 10 с.*

3. Патент № 2752941 РФ, МПК А47J.39/00. Радиогерметичная многорезонаторная установка для размораживания молозива животных / Новикова Г. В., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г., Зиганшин Б. Г., Тараканов Д. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2020141715; заявл. 10.09.2020; заявл. 17.12.2020; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23 – 10 с.

4. Патент № 2753424 РФ, МПК А47J.39/00. СВЧ установка непрерывно-поточного действия с квазистационарными тороидальными резонаторами для размораживания и разогрева молозива животных / Новикова Г. В., Сторчевой В. Ф., Просвирякова М. В., Михайлова О. В., Ершова И. Г.,

Тараканов Д. А.; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2021104198; заявл. 19.02.2021, опубл. 16.08.2021. – Бюл. № 23 . – 10 с.

– доступ к публикациям в ведущих изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:

1. Ершова, И. Г. Определение продолжительности переработки сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / М. В. Белова, Г. В. Новикова, Д. В. Поручиков, Е. А. Светопольский, И. Г. Ершова, М. Г. Сорокина // Естественные и технические науки. 2015. № 6. С. 521-524.

2. Ершова, И. Г. Исследование и разработка двухрезонаторной СВЧ установки для размораживания коровьего молозива / Г. В. Новикова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, П. В. Зайцев, Н. К. Кириллов // Вестник Казанский ГАУ. Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ». 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 77-83.

3. Ершова, И. Г. Анализ СВЧ-установок для дефростации и подогрева молозива животных / М. В. Просвирякова, В. Ф. Сторчевой, Г. В. Новикова, И. Г. Ершова // Вестник НГИЭИ. 2021. №3(118). С. 52-69.

4. Ершова, И. Г. Исследование параметров двухрезонаторной СВЧ установки для дефростации и подогрева коровьего молозива / Г. В. Новикова, Б. Г. Зиганшин, О. В. Михайлова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, П. В. Зайцев, Н. К. Кириллов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 77-83.

5. Ершова, И. Г. СВЧ установка для дефростации и разогрева молозива животных в эффективных режимах / Г. В. Новикова, И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, О. В. Михайлова // Вестник НГИЭИ. 2021. № 8 (123) . – С. 57-69.

– доступ к публикациям в ведущих изданиях, индексируемых в международных базах цитирования WoS, Scopus:

1. Ershova, I. G. Innovations in Technologies of Agricultural Raw Materials Processing / M. V. Belova, G. V. Novikova, I. G. Ershova, M. A. Ershov, O. V. Mikhailova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Т. 11. № 6. P. 1269-1277.

2. Ershova, I. G. Mathematical model of animal colostrum defrostation in a microwave installation with quasi-stationary toroidal resonators / I. G. Ershova, M. V. Prosviryakova, O. V. Mikhailova, G. V. Novikova // International AgroScience Conference [Текст]: сб. науч. тр. по матер. междуна. конф., 16.04.2021 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Cheboksary. P. 56.

3. Ershova, I. G. Justification of the effect of volum heating of frozen colostrum of animals in a two-resonator installation / I. G. Ershova, G. V. Novikova, O. V. Mikhailova, M. V. Prosviryakova, V. F. Storchevov // International AgroScience Conference [Текст] : сб. науч. тр. по матер. междуна. конф., 16.04.2021. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Cheboksary. P. 66.

4. Ershova, I. G. Electrotechnology of animal colostrum defrosting in two-resonator microwave installations / I Ershova, M Prosviryakova, O Mikhailova, G Novikova, D Tarakanov and G Samarin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 857, International Conference: Sustainable Development in Rural Areas 2021; Knyaginino, RF. 012007.

Использование результатов научных исследований по теме «Технология и СВЧ техника для дефростации молозива животных» позволит освоить инновационные технологии в области применения электромагнитных излучений в процессах переработки продукции животноводства и изготовить лабораторные стенды для изучения основных разделов обязательных дисциплин, входящих в вариативную часть учебного плана.

Председатель комиссии:


Первый проректор-проректор по научной и международной деятельности,
доктор технических наук, профессор
(Pr.science@kazgau.com, 8(843)567-46-10)


Члены комиссии:

проректор по учебно-воспитательной работе,
кандидат технических наук, доцент
(Pr.education@kazgau.com, 8(843)567-46-60)

Директор Института механизации и технического сервиса,
кандидат технических наук, доцент
(Director.imts@kazgau.com, 8(843) 567-48-60)



 Б.Г. Зиганшин

 А.В. Дмитриев

 В.М. Медведев

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Марийский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет»)
424001, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по образовательной
деятельности ФГБОУ ВО
«Марийский государственный
университет»

/Сидоров О.А./
2018 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе материалов диссертационной работы
Ершовой Ирины Георгиевны на тему
«ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА УСТАНОВОК С ИСТОЧНИКАМИ СВЧ ЭНЕРГИИ
ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ»

Комиссия в составе:

председатель: Онегов Андрей Владимирович – директор аграрно-технологического института ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», кандидат биологических наук, доцент;

члены комиссии: Юнусов Губейдулла Сибятулович – профессор кафедры механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции, доктор технических наук, профессор;

Смоленцев Сергей Юрьевич - доцент кафедры технологии производства продукции животноводства, доктор биол. наук, доцент;

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Исследование и разработка рабочих камер с источниками СВЧ энергии, обеспечивающих термообработку в процессе массирования мясного сырья», представленной на соискание ученой степени кандидата 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 «Животноводство», «Производство продукции животноводства», «Механизация, электрификация и автоматизация в животноводстве», «Электрификация сельскохозяйственного производства», «Технологическое оборудование мясной отрасли», «Технологическое оборудование».

Для проведения лабораторных работ разработаны методические указания и опытный образец сверхвысокочастотной (СВЧ) установки для выделения расплавленного жира из жиросодержащего сырья (рис.). Установка состоит из цилиндрического окрашивающего корпуса с крышкой, наклонным основанием и патрубком для отвода жира. Внутри корпуса соосно расположен цилиндрический перфорированный ротор, в полем валу которого установлен вал цилиндрического барабана. Барабан расположен соосно внутри ротора и выполняет функцию объемного резонатора. В кольцевом пространстве между ротором и барабаном установлен шнек с внешней навивкой. Диаметр перфорации нижней части стенки барабана больше, чем диаметр перфорации стенки ротора. В накопительном кармане расположены скребки. По центральной оси барабана установлен конусообразный ограничитель излучений. Сверхвысокочастотные генераторные блоки установлены над барабаном по периферии. Установка обеспечивает улучшение качества получаемого жира и швары.

Для выполнения домашних заданий, курсовых и квалификационных работ, а также магистерских диссертаций в учебно-научной лаборатории технологического и энергетического оборудования имеется опытный образец СВЧ установки с контрольно-измерительными приборами.

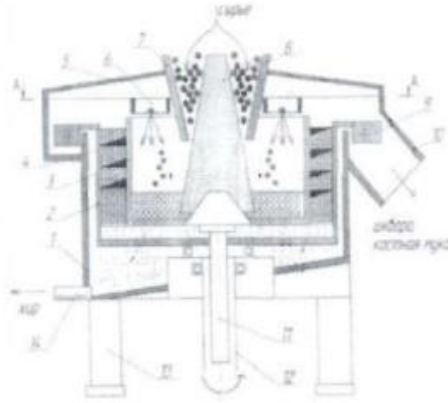


Рисунок – Схематическое изображение сверхвысокочастотной установки для выделения расплавленного жира из жиросодержащего сырья: 1 - экранирующий корпус в виде цилиндра; 2 - перфорированный цилиндрический ротор; 3 - цилиндрический барабан; 4 - шнек; 5 - крышка экранирующего корпуса; 6 - СВЧ генераторный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

В библиотеке университета размещены патенты, подтверждающие новизну конструктивных исполнений разработанных и изготовленных установок с источниками СВЧ энергии для термообработки жиросодержащего сырья. 1. Пат.

2541694 РФ, МПК С11В 1/12 (2006.01). Установка для термообработки жиросодержащего сырья / И.Г. Ершова, М. В.Белова, М.Г. Сорокина, Михайлова О.В., Г. В. Новикова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА. – № 2013145358/13 (070117); заявл. 09.10.2013; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5. 2. Пат. № 2605355 РФ МПК С11В 1/12 (2006.01). Сверхвысокочастотная установка для выделения расплавленного жира из жиросодержащего сырья / Ершова И.Г., Белова М.В., Белов А.А., Новикова Г.В., Михайлова О.В., Селиванов И.М., Иванова Н.М., Петров Н.В.; заявитель и патентообладатель Автономная некоммерческая организация высшего образования "Академия технологии и управления" – № 2015138179/13; заявл. 07.09.2015; опубл. 20.12.2016. Бюл. № 35. 3. Пат. № 2600697 РФ МПК А23Л 5/30. Сверхвысокочастотная установка для плавления жира / Ершова И.Г., Белова М.В., Белов А.А., Новикова Г.В., Михайлова О.В., Селиванов И.М., Махоткина Н.И., Петров Н.В., Петрова О.И., Иванова Н.М.; заявитель и патентообладатель Автономная некоммерческая организация высшего образования "Академия технологии и управления" – № 2015117451/13; заявл. 07.05.2015; опубл. 27.10.2016. Бюл. № 30. 4. Пат. № 2591126 РФ МПК С11В 1/12. Установка для выгонки жира в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / Ершова И.Г., Белова М.В., Белов А.А., Новикова Г.В., Михайлова О.В., Селиванов И.М., Сорокина М.Г., Петрова О.И.; заявитель и патентообладатель Автономная некоммерческая организация высшего образования "Академия технологии и управления" – № 2015116255/13; заявл. 28.04.2015; опубл. 10.07.2016. Бюл. № 19. 5. Пат. 2581224 Российская Федерация, МПК А22С 17/00, С11В 1/12. Центробежная установка для термообработки жиросодержащего сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты. Заявитель и патентообладатель МАДИ. – № 2014150840/13; заявл. 15.12.2014; опубл. 20.04.2016. Бюл. № 11.

Использование результатов научных исследований, патентов на изобретения позволит освоить инновационные технологии в области применения электромагнитных излучений в процессах переработки продукции животноводства и изготовить лабораторные стенды для изучения основных разделов обязательных дисциплин, входящих в вариативную часть учебного плана.

Председатель комиссии: Директор аграрно-технологического института

ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет»,
канд. биол. наук, доцент (8-8362-68-79-32, atf@marsu.ru)

Члены комиссии:

Профессор кафедры механизации производства
и переработки сельскохозяйственной продукции,
док-р техн. наук, профессор (8-8362-641-541, prk@marsu.ru)

Доцент кафедры технологии производства продукции
животноводства,

док-р биол. наук, доцент (8-8362068-79-29, genetica@marsu.ru)

А.В. Онегов

Г.С. Юнусов

С.Ю. Смоленцев

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ХРОНОМЕТРАЖ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЧ-РАЗМОРАЖИВАТЕЛЯ
МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ

Изготовленные узлы установки	
<p>Неферромагнитный экранирующий корпус (наружный цилиндр коаксиального резонатора и конический резонатор, состыкованный к цилиндру)</p>	
<p>Радиопрозрачные цилиндрические направляющие для загрузки бутылок с замороженным сырьем (вид сбоку и сверху) для выполнения кольцевого резонатора прямоугольного сечения без нижнего основания</p>	
<p>Общий вид установки с кольцевым резонатором без привода с диэлектрическими перегородками, образующими отсеки, с загрузочным патрубком</p>	

Расположение сырья, замороженного в пластиковой бутылке, в цилиндрической направляющей (в разрезе)



Заготовки для изготовления конического резонатора



Усеченный конус (для выполнения конического резонатора)



Перфорированное основание усеченного конуса конического резонатора с основанием



Отверстие на поверхности конического резонатора для выгрузки тары



Подготовка к покраске



Общий вид конического резонатора с неферромагнитным выгрузным патрубком без основания и открытым окном на боковой поверхности неферромагнитного выгрузного патрубка



Общий вид установки с кольцевым и коническим резонаторами без привода



Шаровой
кран



Мотор-редуктор серии МЭО-6,3/12,5-0,25М-99У3.1



Вентилятор осевой канальный CV-150 (6 шт.)



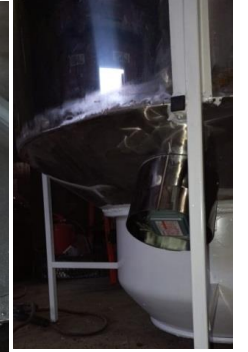
Магнетроны марки Toshiba 2M253K(SJ)6C2538, Sumsung OM75S (31) (6 шт.: 3 магнетрона на наружной боковой поверхности кольцевого резонатора, 3 магнетрона на поверхности конического резонатора)



Волноводы







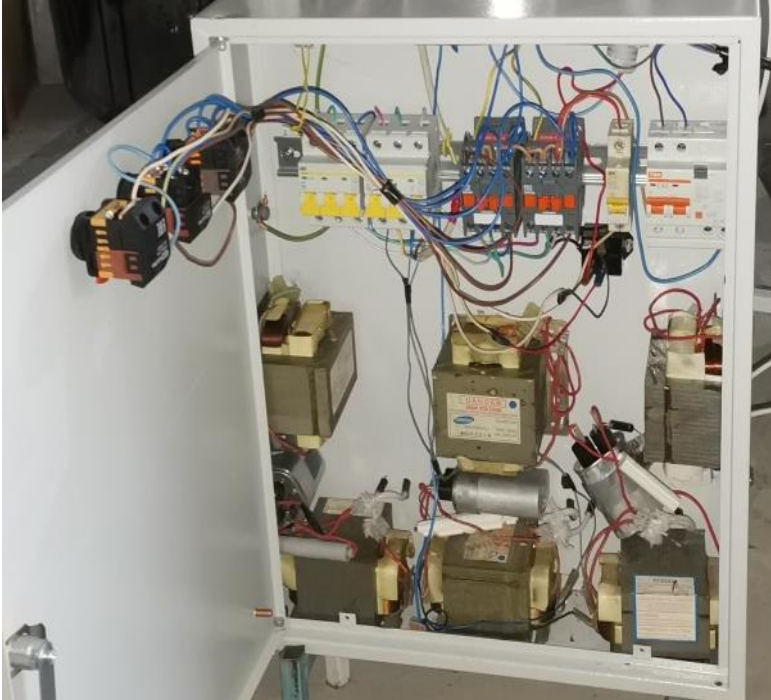




Установка магнетрона



Расположение магнетронов с вентиляторами в цилиндрических корпусах, которые установлены на поверхность конического резонатора со сдвигом на 120°



<p>экранированы</p>	<p>Корпус металлический ЩРН-54-540x440x120- -IP31-УХЛ3-КЭАЗ</p> 	<p>Устройство защитного отключения УЗО – дифференциальный автоматический выключатель двухполюсный АД12 2Р 40А 30мА TDM (3/30) (ТДМ-АД2-40) класс АС Техэнерго</p> 	
<p>Трансфор- матор Daewoo R1S590</p> 	<p>Выключатель автоматический однополюсный IEK ВА47-29 С10</p> 	<p>Выключатель автоматический трехполюсный ВА47-60М 3Р 32А 6кА С</p> 	<p>Электромагнитный пускатель ПМЕ 111 380В 1з УХЛ4 Класс Б ТЭ EURO Техэнерго</p> 
<p>Шкаф управления с пускозащитным оборудованием и электронными блоками генераторов</p> 		<p>Высоковольтный кабель</p>  	

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
 ПРОТОКОЛЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ
 ПРОТОКОЛЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МОЛОЗИВА КОРОВЬЕГО
 МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОЗИВА КОРОВЬЕГО

Ф01-7.8 РК СМК 8-2019

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
 «Чувашский государственный аграрный университет»
 (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)
 Юридический адрес: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
 Место осуществления деятельности: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
 Лит. А: каб. 102, 103, 104, 104/1, 104/2, 107, 109, 109/1, 121а
 Телефон, факс: (8352) 62-23-34, E-mail: info@academy21.ru, nich4@academy21.ru

Испытательный лабораторный центр
 Лицензия № 21.01.04.001.Л.000003.12.19 от 10.12.2019г



УТВЕРЖДАЮ
 Руководитель (заместитель руководителя)
 Испытательного лабораторного центра
 ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ

29.10.2021г. Кириенко М.Д.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№301 П-301-А- 2021 от «29» октября 2021г.

Наименование образца (пробы)	Молоко коровье (молозиво, 1 удой)
Место отбора образца (пробы)	Учебная научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.27, каб.14а
НД на метод отбора	ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу»
НД на продукцию	ГОСТ Р 52054-2003 «Молоко коровье сырое. Технические условия».
Дата и время отбора	25.10.2021 10.00 час
Дата и время доставки в ИЛЦ	25.10.2021 10.30 час
Вес (масса) образца (пробы)	150г.
Изготовитель	Молочно-товарная ферма УНПЦ «Студгородок» ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ
Дата выработки	24.10.2021 10.00час
На соответствие НД	ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»
Дополнительные сведения	Объем партии 5кг., конечный срок годности 31.10.2021г.
Информация о заказчике	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)
Юридический/фактический адрес:	428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.29
ИНН/КПП	2128014360 /213001001
ОГРН	1022101131150

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
 Настоящий протокол № 301 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Средства измерений, испытательное оборудование:

№ №п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1	Весы лабораторные ВК-300.1	№035660	№С-АР/18-02-2021/39651676 от 18.02.2021 г.	до 17.02.2022 г.
2	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ 500г-М	№29	№ 1/15396 от 17.11.2020 г.	до 16.11.2021 г.
3	pH-метр pH-150МИ	№4822	№С-АР/28-05-2021/68080487 от 28.05.2021 г	до 27.05.2022 г.
4	Гигрометр психрометрический «ВИТ-2»	48	№2/8000 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.

Результаты испытаний от 29.10.2021г.

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив	НД на методы исследований
1.	КМАФАнМ	КОЕ/см ³	2,7x10 ³	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014 п.8.4
2.	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г продукта	см ³ (г)	не обнаружено	не допускаются	ГОСТ 31659-2012

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление протокола

подпись

Зорина Т.И.
И.О.Фамилия

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
 Настоящий протокол № 301 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Ф01-7.8 РК СМК 8-2019

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Место осуществления деятельности: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Лит. А: каб. 102, 103, 104, 104/1, 104/2, 107, 109, 109/1, 121а
Телефон, факс: (8352) 62-23-34, E-mail: info@academy21.ru, nich4@academy21.ru

Испытательный лабораторный центр
Лицензия № 21.01.04.001.Л.000003.12.19 от 10.12.2019г



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель (заместитель руководителя)
Испытательного лабораторного центра
ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ

Кириенко М.Д.

29.10.2021г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№305 П-305-А-2021 от «29» октября 2021г.

Наименование образца (пробы)	Молоко коровье (молозиво, 2 удой)
Место отбора образца (пробы)	Учебная научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 27, каб. 14а
НД на метод отбора	ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу»
НД на продукцию	ГОСТ Р 52054-2003 «Молоко коровье сырое. Технические условия».
Дата и время отбора	25.10.2021 10.00 час
Дата и время доставки в ИЛЦ	25.10.2021 10.30 час
Вес (масса) образца (пробы)	150г.
Изготовитель	Молочно-товарная ферма УНПЦ «Студгородок» ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ
Дата выработки	24.10.2021 10.00 час
На соответствие НД	ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»
Дополнительные сведения	Объем партии 5кг., конечный срок годности 31.10.2021г.
Информация о заказчике	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)
Юридический/фактический адрес:	428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
ИНН/КПП	2128014360 /213001001
ОГРН	1022101131150

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 305 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Средства измерений, испытательное оборудование:

№ №п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1	Весы лабораторные ВК-300.1	№035660	№С-АП/18-02-2021/39651676 от 18.02.2021 г.	до 17.02.2022 г.
2	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ 500г-М	№29	№ 1/15396 от 17.11.2020 г.	до 16.11.2021 г.
3	pH-метр pH-150МИ	№4822	№С-АП/28-05-2021/68080487 от 28.05.2021 г.	до 27.05.2022 г.
4	Гигрометр психрометрический «ВИТ-2»	48	№2/8000 от 15.07.2020 г.	до 14.07.2022 г.

Результаты испытаний от 29.10.2021г.

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив	НД на методы исследований
1.	КМАФАнМ	КОЕ/см ³	1,6x10 ³	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014 п.8.4
2.	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г продукта	см ³ (г)	не обнаружено	не допускаются	ГОСТ 31659-2012

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление протокола

подпись

Зорина Т.И.
И.О. Фамилия

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 305 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Ф01-7.8 РК СМК 8-2019

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003, Чувашская Республика, г.Чебоксары, ул.К.Маркса, д.29
Место осуществления деятельности: 428003, Чувашская Республика, г.Чебоксары, ул.К.Маркса, д.29
Лит.А: каб.102, 103, 104, 104/1, 104/2, 107, 109, 109/1, 121а
Телефон, факс: (8352) 62-23-34, E-mail: info@academy21.ru, nich4@academy21.ru

Испытательный лабораторный центр
Лицензия № 21.01.04.001.Л.000003.12.19 от 10.12.2019г



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель (заместитель руководителя)
Испытательного лабораторного центра
ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ

Кириенко М.Д.
29.10.2021г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№302 П-302-А- 2021 от «29» октября 2021г.

Наименование образца (пробы)	Молоко коровье (молозиво, 1 удой, опыт 1)
Место отбора образца (пробы)	Учебная научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.27, каб.14а
НД на метод отбора	ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу»
НД на продукцию	ГОСТ Р 52054-2003 «Молоко коровье сырое. Технические условия».
Дата и время отбора	25.10.2021 10.00 час
Дата и время доставки в ИЛЦ	25.10.2021 10.30 час
Вес (масса) образца (пробы)	100г.
Изготовитель	Молочно-товарная ферма УНПЦ «Студгородок» ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ
Дата выработки	24.10.2021 10.00час
На соответствие НД	ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»
Дополнительные сведения	Объем партии 5кг., конечный срок годности 31.10.2021г.
Информация о заказчике	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)
Юридический/фактический адрес:	428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.29
ИНН/КПП	2128014360 /213001001
ОГРН	1022101131150

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 302 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Средства измерений, испытательное оборудование:

№ №п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1	Весы лабораторные ВК-300.1	№035660	№С-АР/18-02-2021/39651676 от 18.02.2021 г.	до 17.02.2022 г.
2	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ 500г-М	№29	№ 1/15396 от 17.11.2020 г.	до 16.11.2021 г.
3	pH-метр pH-150МИ	№4822	№С-АР/28-05-2021/68080487 от 28.05.2021 г	до 27.05.2022 г.
4	Гигрометр психрометрический «ВИТ-2»	48	№2/8000 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.

Результаты испытаний от 29.10.2021г.

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив	НД на методы исследований
1.	КМАФАнМ	КОЕ/см ³	2,5x10 ⁴	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014 п.8.4
2.	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г продукта	см ³ (г)	не обнаружено	не допускаются	ГОСТ 31659-2012

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление протокола

подпись

Зорина Т.И.
И.О.Фамилия

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 302 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Ф01-7.8 РК СМК 8-2019

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Место осуществления деятельности: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Лит. А: каб. 102, 103, 104, 104/1, 104/2, 107, 109, 109/1, 121а
Телефон, факс: (8352) 62-23-34, E-mail: info@academy21.ru, nich4@academy21.ru

Испытательный лабораторный центр
Лицензия № 21.01.04.001-Л.000003.12.19 от 10.12.2019г



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель (заместитель руководителя)
Испытательного лабораторного центра
ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ

Кириенко М.Д.
29.10.2021г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№306 П-306-А-2021 от «29» октября 2021г.

Наименование образца (пробы)	Молоко коровье (молозиво, 2 удой, опыт 1)
Место отбора образца (пробы)	Учебная научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.27, каб.14а
НД на метод отбора	ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу»
НД на продукцию	ГОСТ Р 52054-2003 «Молоко коровье сырое. Технические условия».
Дата и время отбора	25.10.2021 10.00 час
Дата и время доставки в ИЛЦ	25.10.2021 10.30 час
Вес (масса) образца (пробы)	100г.
Изготовитель	Молочно-товарная ферма УНПЦ «Студгородок» ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ
Дата выработки	24.10.2021 10.00час
На соответствие НД	ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»
Дополнительные сведения	Объем партии 5кг., конечный срок годности 31.10.2021г.
Информация о заказчике	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)
Юридический/фактический адрес:	428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.29
ИНН/КПП	2128014360 /213001001
ОГРН	1022101131150

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 306 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Средства измерений, испытательное оборудование:

№ №п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1	Весы лабораторные ВК-300.1	№035660	№С-АР/18-02-2021/39651676 от 18.02.2021 г.	до 17.02.2022 г.
2	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ 500г-М	№29	№ 1/15396 от 17.11.2020 г.	до 16.11.2021 г.
3	pH-метр pH-150МИ	№4822	№С-АР/28-05-2021/68080487 от 28.05.2021 г	до 27.05.2022 г.
4	Гигрометр психрометрический «ВИТ-2»	48	№2/8000 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.

Результаты испытаний от 29.10.2021г.

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив	НД на методы исследований
1.	КМАФАнМ	КОЕ/см ³	1,5x10 ³	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014 п.8.4
2.	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г продукта	см ³ (г)	не обнаружено	не допускаются	ГОСТ 31659-2012

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление протокола

подпись

Зорина Г.И.
И.О.Фамилия

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 306 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Ф01-7.8 РК СМК 8-2019

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Место осуществления деятельности: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Лит. А: каб. 102, 103, 104, 104/1, 104/2, 107, 109, 109/1, 121а
Телефон, факс: (8352) 62-23-34, E-mail: info@academy21.ru, nich4@academy21.ru

Испытательный лабораторный центр
Лицензия № 21.01.04.001.Л.000003.12.19 от 10.12.2019г



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель (заместитель руководителя)
Испытательного лабораторного центра
ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ

Кириенко М.Д.

29.10.2021г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№303 П-303-А-2021 от «29» октября 2021г.

Наименование образца (пробы)	Молоко коровье (молозиво, 1 удой, опыт 2)
Место отбора образца (пробы)	Учебная научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.27, каб.14а
НД на метод отбора	ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу»
НД на продукцию	ГОСТ Р 52054-2003 «Молоко коровье сырое. Технические условия».
Дата и время отбора	25.10.2021 10.00 час
Дата и время доставки в ИЛЦ	25.10.2021 10.30 час
Вес (масса) образца (пробы)	100г.
Изготовитель	Молочно-товарная ферма УНПЦ «Студгородок» ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ
Дата выработки	24.10.2021 10.00час
На соответствие НД	ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»
Дополнительные сведения	Объем партии 5кг., конечный срок годности 31.10.2021г.
Информация о заказчике	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)
Юридический/фактический адрес:	428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.29
ИНН/КПП	2128014360 /213001001
ОГРН	1022101131150

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 303 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Средства измерений, испытательное оборудование:

№ №п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1	Весы лабораторные ВК-300.1	№035660	№С-АР/18-02-2021/39651676 от 18.02.2021 г.	до 17.02.2022 г.
2	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ 500г-М	№29	№ 1/15396 от 17.11.2020 г.	до 16.11.2021 г.
3	pH-метр pH-150МИ	№4822	№С-АР/28-05-2021/68080487 от 28.05.2021 г	до 27.05.2022 г.
4	Гигрометр психрометрический «ВИТ-2»	48	№2/8000 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.

Результаты испытаний от 29.10.2021г.

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив	НД на методы исследований
1.	КМАФАнМ	КОЕ/см ³	1,7x10 ⁴	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014 п.8.4
2.	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г продукта	см ³ (г)	не обнаружено	не допускаются	ГОСТ 31659-2012

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление протокола

подпись

Зорина Т.И.
И.О.Фамилия

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 303 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Ф01-7.8 РК СМК 8-2019

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Место осуществления деятельности: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Лит. А: каб. 102, 103, 104, 104/1, 104/2, 107, 109, 109/1, 121а
Телефон, факс: (8352) 62-23-34, E-mail: info@academy21.ru, nich4@academy21.ru

Испытательный лабораторный центр
Лицензия № 21.01.04.001.Л.000003.12.19 от 10.12.2019г



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель (заместитель руководителя)
Испытательного лабораторного центра
ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ

Кириенко М.Д.
29.10.2021г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№307 П-307-А- 2021 от «29» октября 2021г.

Наименование образца (пробы)	Молоко коровье (молозиво, 2 удой, опыт 2)
Место отбора образца (пробы)	Учебная научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.27, каб.14а
НД на метод отбора	ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу»
НД на продукцию	ГОСТ Р 52054-2003 «Молоко коровье сырое. Технические условия».
Дата и время отбора	25.10.2021 10.00 час
Дата и время доставки в ИЛЦ	25.10.2021 10.30 час
Вес (масса) образца (пробы)	100г.
Изготовитель	Молочно-товарная ферма УНПЦ «Студгородок» ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ
Дата выработки	24.10.2021 10.00час
На соответствие НД	ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»
Дополнительные сведения	Объем партии 5кг., конечный срок годности 31.10.2021г.
Информация о заказчике	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)
Юридический/фактический адрес:	428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.29
ИНН/КПП	2128014360 /213001001
ОГРН	1022101131150

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 307 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Средства измерений, испытательное оборудование:

№ №п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1	Весы лабораторные ВК-300.1	№035660	№С-АР/18-02-2021/39651676 от 18.02.2021 г.	до 17.02.2022 г.
2	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ 500г-М	№29	№ 1/15396 от 17.11.2020 г.	до 16.11.2021 г.
3	pH-метр pH-150МИ	№4822	№С-АР/28-05-2021/68080487 от 28.05.2021 г	до 27.05.2022 г.
4	Гигрометр психрометрический «ВИТ-2»	48	№2/8000 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.

Результаты испытаний от 29.10.2021г.

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив	НД на методы исследований
1.	КМАФАнМ	КОЕ/см ³	1,6x10 ³	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014 п.8.4
2.	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г продукта	см ³ (г)	не обнаружено	не допускаются	ГОСТ 31659-2012

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление протокола

подпись

Зорина Т.И.
И.О. Фамилия

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 307 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Ф01-7.8 РК СМК 8-2019

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Место осуществления деятельности: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Лит. А: каб. 102, 103, 104, 104/1, 104/2, 107, 109, 109/1, 121а
Телефон, факс: (8352) 62-23-34, E-mail: info@academy21.ru, nich4@academy21.ru

Испытательный лабораторный центр
Лицензия № 21.01.04.001.Л.000003.12.19 от 10.12.2019г.

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель (заместитель руководителя)
Испытательного лабораторного центра
ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ



Кириенко М.Д.
29.10.2021г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№304 П-304-А-2021 от «29» октября 2021г.

Наименование образца (пробы)	Молоко коровье (молозиво, 1 удой, опыт 3)
Место отбора образца (пробы)	Учебная научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.27, каб.14а
НД на метод отбора	ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу»
НД на продукцию	ГОСТ Р 52054-2003 «Молоко коровье сырое. Технические условия».
Дата и время отбора	25.10.2021 10.00 час
Дата и время доставки в ИЛЦ	25.10.2021 10.30 час
Вес (масса) образца (пробы)	100г.
Изготовитель	Молочно-товарная ферма УНПЦ «Студгородок» ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ
Дата выработки	24.10.2021 10.00час
На соответствие НД	ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»
Дополнительные сведения	Объем партии 5кг., конечный срок годности 31.10.2021г.
Информация о заказчике	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)
Юридический/фактический адрес:	428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.29
ИНН/КПП	2128014360 /213001001
ОГРН	1022101131150

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 304 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Средства измерений, испытательное оборудование:

№ №п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1	Весы лабораторные ВК-300.1	№035660	№С-АП/18-02-2021/39651676 от 18.02.2021 г.	до 17.02.2022 г.
2	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ 500г-М	№29	№ 1/15396 от 17.11.2020 г.	до 16.11.2021 г.
3	pH-метр pH-150МИ	№4822	№С-АП/28-05-2021/68080487 от 28.05.2021 г	до 27.05.2022 г.
4	Гигрометр психрометрический «ВИТ-2»	48	№2/8000 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.

Результаты испытаний от 29.10.2021г.

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив	НД на методы исследований
1.	КМАФАнМ	КОЕ/см ³	2,5x10 ⁴	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014 п.8.4
2.	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г продукта	см ³ (г)	не обнаружено	не допускаются	ГОСТ 31659-2012

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление протокола

подпись

Зорина Т.И.
И.О.Фамилия

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 304 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Ф01-7.8 РК СМК 8-2019

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Место осуществления деятельности: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Лит. А: каб. 102, 103, 104, 104/1, 104/2, 107, 109, 109/1, 121а
Телефон, факс: (8352) 62-23-34, E-mail: info@academy21.ru, nich4@academy21.ru

Испытательный лабораторный центр
Лицензия № 21.01.04.001.Л.000003.12.19 от 10.12.2019г



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель (заместитель руководителя)
Испытательного лабораторного центра
ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ

Кириенко М.Д.
29.10.2021г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№308 П-308-А-2021 от «29» октября 2021г.

Наименование образца (пробы)	Молоко коровье (молозиво, 2 удой, опыт 2)
Место отбора образца (пробы)	Учебная научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.27, каб.14а
НД на метод отбора	ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу»
НД на продукцию	ГОСТ Р 52054-2003 «Молоко коровье сырое. Технические условия».
Дата и время отбора	25.10.2021 10.00 час
Дата и время доставки в ИЛЦ	25.10.2021 10.30 час
Вес (масса) образца (пробы)	100г.
Изготовитель	Молочно-товарная ферма УНПЦ «Студгородок» ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ
Дата выработки	24.10.2021 10.00час
На соответствие НД	ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»
Дополнительные сведения	Объем партии 5кг., конечный срок годности 31.10.2021г.
Информация о заказчике	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)
Юридический/фактический адрес:	428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.29
ИНН/КПП	2128014360 /213001001
ОГРН	1022101131150

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 308 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Средства измерений, испытательное оборудование:

№ №п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1	Весы лабораторные ВК-300.1	№035660	№С-АП/18-02-2021/39651676 от 18.02.2021 г.	до 17.02.2022 г.
2	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ 500г-М	№29	№ 1/15396 от 17.11.2020 г.	до 16.11.2021 г.
3	pH-метр pH-150МИ	№4822	№С-АП/28-05-2021/68080487 от 28.05.2021 г	до 27.05.2022 г.
4	Гигрометр психрометрический «ВИТ-2»	48	№2/8000 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.

Результаты испытаний от 29.10.2021г.

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив	НД на методы исследований
1.	КМАФАнМ	КОЕ/см ³	1,5x10 ³	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014 п.8.4
2.	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г продукта	см ³ (г)	не обнаружено	не допускаются	ГОСТ 31659-2012

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление протокола

подпись

Зорина Т.И.
И.О.Фамилия

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 308 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Таблица 5.1 – Результаты микробиологического исследования
молозива коровьего (1 удой, опыт 3)



№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив, ПДУ	Нормативный документ
1	КМАФАиМ	КОЕ/см ³	2,5x10 ⁴	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014
2	Патогенные микроорганизмы	г	не обнаружено	не обнаружено	ГОСТ 31659-2012

Таблица 5.2 – Результаты микробиологического исследования
молозива коровьего (2 удой, опыт 4)

№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив, ПДУ	Нормативный документ
1	КМАФАиМ	КОЕ/см ³	1,5x10 ³	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014
2	Патогенные микроорганизмы	г	не обнаружено	не обнаружено	ГОСТ 31659-2012

БИОХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОЗИВА КОРОВЬЕГО

Таблица 5.3 – Результаты исследования дефростации и разогрева
молозива коровьего

Характеристики процесса	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
	<p>контроль – размораживание и разогрев на водяной бане температурой 50 °С, без поворотного механизма (базовый размораживатель Юник-плюс)</p> 	<p>размораживание и разогрев (удельная мощность 4 Вт/г)</p> 	<p>размораживание и разогрев (удельная мощность 8,5 Вт/г)</p>	<p>размораживание и разогрев на воздухе температурой 23 °С</p>
Мощность СВЧ генератора, Вт	-	400	850	-
Масса замороженного молозива, г	100	100	100	100
	Молозиво (1 удой)			Молозиво (2

				удой)
Продолжительность размораживания, мин.	45	1,5	1,2	120
Температура размороженного молозива, °С	39	39	39	39

Опыт 3. а) с использованием прибора Клевер-2М.

Таблица 5.4 – Результаты биохимического, физико-химического исследования молозива коровьего с использованием прибора Клевер-2М (опыт 3)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
М.д. жира, %	3,02	3,01	3,02	3,016
М.д. белка, %	5,10	5,11	5,12	5,11
Плотность, кг/м ³	1052,73	1052,91	1053,01	1052,88
Содержание иммуноглобулинов, г/л	56	56	56	56
Добавл. воды, %	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМО, %	13,81	13,86	13,08	13,58
СМО, %	14,83	14,87	14,90	14,87
СГ, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg L, %	7,53	7,55	7,57	7,55
Mg C, %	1,19	1,19	1,19	1,19
T, °С	24,67	25,05	24,98	24,9
T замерзания, °С	-0,4184	-0,4210	-0,4225	-0,4206

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН.

Таблица 5.5 – Результаты биохимического, физико-химического исследования молозива коровьего с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (опыт 3)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
рН	6,25	6,25	6,25	6,25
T, °С	24,34	24,5	24,39	24,41
Кислотность, °Т	24,58	25,50	25,36	25,14

в) с использованием колострометра (опыт 3) .

Результат – цветовая шкала зеленого цвета.

Опыт 4. а) с использованием прибора Клевер-2М.

Таблица 5.6 – Результаты биохимического, физико-химического исследования молозива коровьего с использованием прибора Клевер-2М (опыт 4)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
М.д. жира, %	3,33	3,32	3,33	3,326
М.д. белка, %	5,40	5,40	5,41	5,40
Плотность, кг/м ³	1055,76	1055,85	1055,91	1055,84

Содержание иммуноглобулинов, г/л	57	57	57	57
Добавл. воды, %	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМО, %	14,62	14,64	14,66	14,64
СМО, %	15,95	15,97	15,99	15,97
СГ, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg L, %	7,97	7,98	7,99	7,98
Mg C, %	1,26	1,26	1,26	1,26
T, °C	23,18	23,61	24,07	23,62
T замерзания, °C	-0,4702	-0,4714	-0,4724	-0,4713

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН.

Таблица 5.7 – Результаты биохимического, физико-химического исследования молозива коровьего с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (опыт 4)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
рН	6,7	6,27	6,27	6,27
T, °C	22,96	23,22	23,20	23,12
Кислотность, °Т	24,90	25,09	25,17	25,05

в) с использованием колострометра (опыт 4).

Результат – цветовая шкала зеленого цвета.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003 Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Место осуществления деятельности: 428003 Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ от 24.11.2021 г.

1. *Наименование апробируемого объекта.* Молозиво коровье (1 удой, 2 удой) – контроль, молозиво коровье, подвергнутое воздействию электромагнитного поля сверхвысокой частоты, удельная мощность 4 Вт/г, 8,5 Вт/г (1 удой, 2 удой).

2. *Разработчик-заказчик.* Руководитель научной школы, доктор технических наук, профессор Новикова Галина Владимировна, научный консультант, доктор технических наук Прохвирякова Марьяна-Валентиновна, соискатель, кандидат технических наук Ершова Ирина Георгиевна.

3. *Место апробирования:* научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 27, кааб. 14а.

4. *НД на метод отбора:* ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу».

5. а) *НД на продукцию:* ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия».

б) *НД на проведение исследований:* ГОСТ 3624-92 «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности».

ГОСТ 32255-2013 «Молоко и молочные продукты. Инструментальный экспресс-метод определения физико-химических показателей идентификации с применением инфракрасного анализатора».

ГОСТ Р 54758-2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения плотности».

ГОСТ 3626-73 «Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества».

ГОСТ 5867-90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира».

ГОСТ 22760-77 «Молочные продукты. Гравиметрический метод определения жира».

ГОСТ 8218-89 «Молоко. Метод определения чистоты».

ГОСТ 13928-84 «Молоко и сливки заготовляемые. Правила приемки, методы отбора проб и подготовка их к анализу».

ГОСТ 23453-2014 «Молоко сырое. Методы определения соматических клеток».

ГОСТ 23454-2016 «Молоко. Методы определения ингибирующих веществ».

ГОСТ 25101-2015 «Молоко. Метод определения точки замерзания».

ГОСТ 25179-2014 «Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка».

ГОСТ 26754-85 «Молоко. Методы измерения температуры»

ГОСТ 26809.1-2014 «Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молокосо-державшие продукты».

ГОСТ 32901-2014 «Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа».

6. *Дата и время отбора:* 23.11.2021 г. 10.00 час

7. *Масса образца* 150 г.

8. *Дата выработки:* 22.11.2021 г. 10.00 час

9. *на соответствие НД:* ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»

10. *Дополнительные сведения:* объем партии 5 кг, конечный срок годности 29.11.2021 г.

11. *Средства измерения, испытательное оборудование*

а) экспресс анализатор молока «Клевер-2М» (Технические условия на выпуск: ТУ 4215-007-45455637-06, номер по Госреестру 35748-07).

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (Технические условия на выпуск: ТУ-4215-004-45455637-04 (ИНК 400.00.000 ТУ), номер по Госреестру 27376-09).

12. Результаты испытаний:

Получены следующие результаты биохимического исследования (четыре опыта).

Опыт 1. Контроль.

а) с использованием анализатора молока «Клевер-2М» (табл. 1).

Таблица 1 – Физико-химические свойства молозива (опыт 1)

Исследуемый показатель	Результаты исследований			Среднее значение
	1	2	3	
Массовая доля жира, %	3,85	3,85	3,85	3,85
Массовая доля белка, %	4,99	4,97	4,99	4,983
Массовая доля лактозы, %	7,37	7,34	7,36	7,35
Массовая доля соли, %	1,16	1,16	1,16	1,16
СМО, %	14,78	14,75	14,77	14,76
СОМО, %	13,52	13,47	13,51	13,5
Плотность, кг/м ³	1051,32	1051,10	1051,27	1051,23
Степень гомогенизации, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Добавленная вода, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Температура, °С	23,98	26,15	26,02	25,38
Температура замерзания, °С	-0,4036	-0,4007	-0,4030	-0,4024

Примечание. СМО – сухой молочный остаток, СОМО – сухой обезжиренный молочный остаток.

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (табл. 2).

Таблица 2 – Физико-химические свойства молозива (опыт 1)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Температура, °С	24,19	24,92	24,83	24,64
Активная кислотность (рН)	6,24	6,23	6,24	6,236
Титруемая кислотность, °Т	25,69	25,59	25,61	25,63

Опыт 2. Размораживание и разогрев (удельная мощность 4 Вт/г)

а) с использованием анализатора молока «Клевер-2М» (таблица 3).

Таблица 3 – Физико-химические свойства молозива (опыт 2)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Массовая доля жира, %	3,79	3,78	3,78	3,783
Массовая доля белка, %	5,47	5,47	5,48	5,473
Массовая доля лактозы, %	8,07	8,08	8,09	8,08
Массовая доля соли, %	1,27	1,27	1,28	1,273
СМО, %	15,60	15,59	15,62	15,60
СОМО, %	14,81	14,82	14,84	14,82
Плотность, кг/м ³	1057,07	1057,09	1057,19	1057,11
Степень гомогенизации, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Добавленная вода, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Температура, °С	24,62	26,32	26,73	25,89
Температура замерзания, °С	-0,4761	-0,4762	-0,4776	-0,4766

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (табл. 4).

Таблица 4 – Физико-химические свойства молозива (опыт 2)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Температура, °С	24,43	24,21	24,65	24,43
Активная кислотность (рН)	6,23	6,23	6,22	6,226
Титруемая кислотность, °Т	25,90	25,92	25,86	25,89

Опыт 3. Размораживание и разогрев (удельная мощность 8,5 Вт/г)

а) с использованием анализатора молока «Клевер-2М» (таблица 5).

Таблица 5 – Физико-химические свойства молозива (опыт 3)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Массовая доля жира, %	1,02	1,01	1,02	1,016
Массовая доля белка, %	5,10	5,11	5,12	5,11
Массовая доля лактозы, %	7,53	7,55	7,57	7,55
Массовая доля соли, %	1,19	1,19	1,19	1,19
СМО, %	14,83	14,87	14,90	14,87
СОМО, %	13,81	13,86	13,08	13,58
Плотность, кг/м ³	1052,73	1052,91	1053,01	1052,88
Степень гомогенизации, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Добавленная вода, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Температура, °С	24,67	25,05	24,98	24,9
Температура заморозания, °С	-8,8184	-8,8210	-8,8225	-8,8206

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (табл. 6).

Таблица 6 – Физико-химические свойства молозива (опыт 3)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Температура, °С	24,58	25,50	25,36	25,14
Активная кислотность (рН)	6,25	6,25	6,25	6,25
Титруемая кислотность, °Т	24,34	24,5	24,39	24,41

Опыт 4.

а) с использованием прибора Клевер-2М (таблица 7).

Таблица 7 – Физико-химические свойства молозива (опыт 4)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Массовая доля жира, %	1,33	1,32	1,33	1,326
Массовая доля белка, %	5,40	5,40	5,41	5,40
Массовая доля лактозы, %	7,97	7,98	7,99	7,98
Массовая доля соли, %	1,26	1,26	1,26	1,26
СМО, %	15,95	15,97	15,99	15,97
СОМО, %	14,62	14,64	14,66	14,64
Плотность, кг/м ³	1055,76	1055,85	1055,91	1055,84
Степень гомогенизации, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Добавленная вода, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Температура, °С	23,18	23,61	24,07	23,62
Температура заморозания, °С	-8,8702	-8,8714	-8,8724	-8,8713

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (табл. 7).

Таблица 7 – Физико-химические свойства молозива (опыт 4)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Температура, °С	24,90	25,09	25,17	25,05
Активная кислотность (рН)	6,7	6,27	6,27	6,27
Титруемая кислотность, °Т	22,96	23,22	23,20	23,12

Руководитель научно-исследовательской лаборатории
по технологии молока и молочных продуктов
доктор биологических наук, профессор



Г.А. Ларионов



ПРОТОКОЛЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МОЛОЗИВА КОЗЬЕГО

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОЗИВА КОЗЬЕГО

Таблица 5.8 – Результаты микробиологического исследования
молозива козьего (опыт 3)

№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив, ПДУ	Нормативный документ
1	КМАФАиМ	КОЕ/см ³	1,1x10 ⁴	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014
2	Патогенные микроорганизмы	г	не обнаружено	не обнаружено	ГОСТ 31659-2012

Таблица 5.9 – Результаты микробиологического исследования
молозива козьего (опыт 4)

№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норматив, ПДУ	Нормативный документ
1	КМАФАиМ	КОЕ/см ³	1,2x10 ⁴	5x10 ⁵	ГОСТ 32901-2014
2	Патогенные микроорганизмы	г	не обнаружено	не обнаружено	ГОСТ 31659-2012

Ф01-7.8 РК СМК 8-2019

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Место осуществления деятельности: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Лит. А: каб. 102, 103, 104, 104/1, 104/2, 107, 109, 109/1, 121а
Телефон, факс: (8352) 62-23-34, E-mail: info@academy21.ru, nich4@academy21.ru

Испытательный лабораторный центр
Лицензия № 21.01.04.001.Л.000003.12.19 от 10.12.2019г



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель (заместитель руководителя)
Испытательного лабораторного центра
ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ

Кириенко М.Д.

13.12.2021г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№355 П-355-А-2021 от «13» декабря 2021г.

Наименование образца (пробы)	Молозиво козье (опыт 1) объем партии 4л	
Место отбора образца (пробы)	Учебная научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.27, каб.14а	
НД на метод отбора	ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу»	
НД на продукцию		
Дата и время отбора	07.12.2021	09.30 час
Дата и время доставки в ИЛЦ	07.12.2021	15.00 час
Вес (масса) образца (пробы)	100мл.	
Изготовитель	Молочно-товарная ферма УНПЦ «Студгородок» ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ	
Дата выработки	06.12.2021	18.00час
На соответствие НД		
Дополнительные сведения		
Информация о заказчике	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)	
Юридический/фактический адрес:	428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.29	
ИНН/КПП	2128014360 /213001001	
ОГРН	1022101131150	

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 355 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Средства измерений, испытательное оборудование:

№ №п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1	Весы лабораторные ВК-300.1	№035660	№С-АР/18-02-2021/39651676 от 18.02.2021 г.	до 17.02.2022 г.
2	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ 500г-М	№29	№ 1/15396 от 16.11.2021 г.	до 15.11.2022 г.
3	pH-метр pH-150МИ	№4822	№С-АР/28-05-2021/68080487 от 28.05.2021 г	до 27.05.2022 г.
4	Барометр-анероид метеорологический «БАММ-1»	570	№С-АР/15-11-2021/111313195 от 15.11.2021г.	до 14.11.2022 г.
5	Гигрометр психрометрический «ВИТ-2»	48	№2/8000 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.
6	Гигрометр психрометрический «ВИТ-2»	13	№2/7999 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.

Результаты испытаний от 13.12.2021г.

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норма	НД на методы исследований
1.	КМАФАнМ	КОЕ/см ³ (г),	1,1x10 ⁴		ГОСТ 32901-2014 п.8.4
2.	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы в 25 г продукта	см ³ (г)	не обнаружено		ГОСТ 31659-2012

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление протокола

подпись

Зорина Т.И.
И.О.Фамилия

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 355 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Ф01-7.8 РК СМК 8-2019

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул.К.Маркса, д.29
Место осуществления деятельности: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул.К.Маркса, д.29
Лит.А: каб.102, 103, 104, 104/1, 104/2, 107,109, 109/1, 121а
Телефон, факс: (8352) 62-23-34, E-mail: info@academy21.ru, nich4@academy21.ru

Испытательный лабораторный центр
Лицензия № 21.01.04.001.Л.000003.12.19 от 10.12.2019г



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель (заместитель руководителя)
Испытательного лабораторного центра
ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ

Кириенко М.Д.
13.12.2021г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№356 П-356-А-2021 от «13» декабря 2021г.

Наименование образца (пробы)	Молозиво козье (опыт 2) объем партии 4л	
Место отбора образца (пробы)	Учебная научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.27, каб.14а	
НД на метод отбора	ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу»	
НД на продукцию		
Дата и время отбора	07.12.2021	09.30 час
Дата и время доставки в ИЛЦ	07.12.2021	15.00 час
Вес (масса) образца (пробы)	100мл.	
Изготовитель	Молочно-товарная ферма УНПЦ «Студгородок» ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ	
Дата выработки	06.12.2021	18.00час
На соответствие НД		
Дополнительные сведения		
Информация о заказчике	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)	
Юридический/фактический адрес:	428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.29	
ИНН/КПП	2128014360 /213001001	
ОГРН	1022101131150	

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 356 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Средства измерений, испытательное оборудование:

№ №п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1	Весы лабораторные ВК-300.1	№035660	№С-АР/18-02-2021/39651676 от 18.02.2021 г.	до 17.02.2022 г.
2	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ 500г-М	№29	№ 1/15396 от 16.11.2021 г.	до 15.11.2022 г.
3	pH-метр pH-150МИ	№4822	№С-АР/28-05-2021/68080487 от 28.05.2021 г	до 27.05.2022 г.
4	Барометр-анероид метеорологический «БАММ-1»	570	№С-АР/15-11-2021/111313195 от 15.11.2021г.	до 14.11.2022 г.
5	Гигрометр психометрический «ВИТ-2»	48	№2/8000 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.
6	Гигрометр психометрический «ВИТ-2»	13	№2/7999 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.

Результаты испытаний от 13.12.2021г.

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норма	НД на методы исследований
1.	КМАФАнМ	КОЕ/см ³ (г),	1,2x10 ⁴		ГОСТ 32901-2014 п.8.4
2.	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы в 25 г продукта	см ³ (г)	не обнаружено		ГОСТ 31659-2012

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление протокола

подпись

Зорина Т.И.
И.О.Фамилия

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 356 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Ф01-7.8 РК СМК 8-2019

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Место осуществления деятельности: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Лит. А: каб. 102, 103, 104, 104/1, 104/2, 107, 109, 109/1, 121а
Телефон, факс: (8352) 62-23-34, E-mail: info@academy21.ru, nich4@academy21.ru

Испытательный лабораторный центр
Лицензия № 21.01.04.001.Л.000003.12.19 от 10.12.2019г.



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель (заместитель руководителя)
Испытательного лабораторного центра
ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ

Кириенко М.Д.

13.12.2021г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№357 П-357-А- 2021 от «13» декабря 2021г.

Наименование образца (пробы)	Молозиво козье (опыт 3) объем партии 4л	
Место отбора образца (пробы)	Учебная научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.27, каб.14а	
НД на метод отбора	ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу»	
НД на продукцию		
Дата и время отбора	07.12.2021	09.30 час
Дата и время доставки в ИЛЦ	07.12.2021	15.00 час
Вес (масса) образца (пробы)	100мл.	
Изготовитель	Молочно-товарная ферма УНПЦ «Студгородок» ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ	
Дата выработки	06.12.2021	18.00час
На соответствие НД		
Дополнительные сведения		
Информация о заказчике	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)	
Юридический/фактический адрес:	428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.29	
ИНН/КПП	2128014360 /213001001	
ОГРН	1022101131150	

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 357 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Средства измерений, испытательное оборудование:

№ №п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1	Весы лабораторные ВК-300.1	№035660	№С-АП/18-02-2021/39651676 от 18.02.2021 г.	до 17.02.2022 г.
2	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ 500г-М	№29	№ 1/15396 от 16.11.2021 г.	до 15.11.2022 г.
3	pH-метр pH-150МИ	№4822	№С-АП/28-05-2021/68080487 от 28.05.2021 г.	до 27.05.2022 г.
4	Барометр-анероид метеорологический «БАММ-1»	570	№С-АП/15-11-2021/111313195 от 15.11.2021г.	до 14.11.2022 г.
5	Гигрометр психрометрический «ВИТ-2»	48	№2/8000 от 15.07.2020 г.	до 14.07.2022 г.
6	Гигрометр психрометрический «ВИТ-2»	13	№2/7999 от 15.07.2020 г.	до 14.07.2022 г.

Результаты испытаний от 13.12.2021г.

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норма	НД на методы исследований
1.	КМАФАНМ	КОЕ/см ³ (г),	1,1x10 ⁴		ГОСТ 32901-2014 п.8.4
2.	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы в 25 г продукта	см ³ (г)	не обнаружено		ГОСТ 31659-2012

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление протокола


подпись

Зорина Т.И.
И.О.Фамилия

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 357 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Ф01-7.8 РК СМК 8-2019

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Место осуществления деятельности: 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Лит. А: каб. 102, 103, 104, 104/1, 104/2, 107, 109, 109/1, 121а
Телефон, факс: (8352) 62-23-34, E-mail: info@academy21.ru, nich4@academy21.ru

Испытательный лабораторный центр
Лицензия № 21.01.04.001.Л.000003.12.19 от 10.12.2019г



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель (заместитель руководителя)
Испытательного лабораторного центра
ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ

Кириенко М.Д.

13.12.2021г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№358 П-358-А-2021 от «13» декабря 2021г.

Наименование образца (пробы)	Молозиво козье (опыт 4) объем партии 4л	
Место отбора образца (пробы)	Учебная научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.27, каб.14а	
НД на метод отбора	ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу»	
НД на продукцию		
Дата и время отбора	07.12.2021	09.30 час
Дата и время доставки в ИЛЦ	07.12.2021	15.00 час
Вес (масса) образца (пробы)	100мл.	
Изготовитель	Молочно-товарная ферма УНПЦ «Студгородок» ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ	
Дата выработки	06.12.2021	18.00час
На соответствие НД		
Дополнительные сведения		
Информация о заказчике	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)	
Юридический/фактический адрес:	428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К.Маркса, д.29	
ИНН/КПП	2128014360 /213001001	
ОГРН	1022101131150	

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 358 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

Средства измерений, испытательное оборудование:

№ №п/п	Тип прибора	Заводской номер	№ свидетельства о поверке	Срок действия
1	Весы лабораторные ВК-300.1	№035660	№С-АР/18-02-2021/39651676 от 18.02.2021 г.	до 17.02.2022 г.
2	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ 500г-М	№29	№ 1/15396 от 16.11.2021 г.	до 15.11.2022 г.
3	pH-метр pH-150МИ	№4822	№С-АР/28-05-2021/68080487 от 28.05.2021 г	до 27.05.2022 г.
4	Барометр-анероид метеорологический «БАММ-1»	570	№С-АР/15-11-2021/111313195 от 15.11.2021г.	до 14.11.2022 г.
5	Гигрометр психометрический «ВИТ-2»	48	№2/8000 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.
6	Гигрометр психометрический «ВИТ-2»	13	№2/7999 от 15.07.2020 г	до 14.07.2022 г.

Результаты испытаний от 13.12.2021г.

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты испытаний	Норма	НД на методы исследований
1.	КМАФАнМ	КОЕ/см ³ (г),	1,2x10 ⁴		ГОСТ 32901-2014 п.8.4
2.	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы в 25 г продукта	см ³ (г)	не обнаружено		ГОСТ 31659-2012

Ф.И.О., должность лица, ответственного за оформление протокола


подпись

Зорина Т.И.
И.О.Фамилия

Результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу
Настоящий протокол № 358 не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения ИЛЦ

БИОХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОЗИВА КОЗЬЕГО

Таблица 5.9 – Результаты проведения эксперимента по размораживанию и разогреву молозива животных (коровьего и козьего)

Характеристики процесса	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
	контроль – базовый размораживатель	дефростация и разогрев (удельная мощность 4 Вт/г)	дефростация и разогрев (удельная мощность 8,5 Вт/г)	размораживание и разогрев на воздухе температурой 23 °С
Мощность СВЧ генератора, Вт	-	400	850	-
Масса замороженного молозива, г	100	100	100	100
	Молозиво козье (1 удой)			Молозиво козье (2 удой)
Продолжительность размораживания, мин.	42	1,2	1	115
Температура размороженного молозива, °С	39	39	39	39

Опыт 3. а) с использованием прибора Клевер-2М.

Таблица 5.10 – Результаты биохимического, физико-химического исследования молозива козьего с использованием прибора Клевер-2М (опыт 3)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
М.д. жира, %	3,85	3,84	3,84	3,84
М.д. белка, %	3,74	3,74	3,74	3,74
Плотность, кг/м ³	1031,40	1031,39	1031,41	1031,40
Содержание иммуноглобулинов, г/л	32	32	32	32
Добавл. воды, %	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМО, %	9,16	9,16	9,16	9,16
СМО, %	13,08	13,06	13,06	13,07
СТ, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg L, %	4,6	4,6	4,6	4,60
Mg C, %	0,74	0,79	0,79	0,77
T, °С	21,63	23,33	23,98	22,98
T замерзания, °С	-0,5523	-0,5521	-0,5522	-0,5522

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (табл. 5.11).

Таблица 5.11 – Результаты исследования *молозива козьего* с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (опыт 3)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
рН	6,78	6,77	6,77	6,77
Т, °С	21,39	21,64	22,80	21,94
Кислотность, °Т	15,17	15,06	15,20	15,14

в) с использованием колострометра (опыт 3).

Результат – цветовая шкала зеленого цвета.

Опыт 4. а) с использованием прибора Клевер-2М.

Таблица 5.12 – Результаты биохимического, физико-химического исследования *молозива козьего* с использованием прибора Клевер-2М (опыт 4)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
М.д. жира, %	3,87	3,86	3,86	3,86
М.д. белка, %	3,74	3,74	3,74	3,74
Плотность, кг/м ³	1031,39	1031,40	1031,38	1031,39
Содержание иммуноглобулинов, г/л	32	32	32	32
Добавл. воды, %	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМО, %	9,16	9,16	9,16	9,16
СМО, %	13,09	13,08	13,08	13,08
СГ, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg L, %	4,6	4,6	4,6	4,60
Mg C, %	0,79	0,79	0,79	0,79
Т, °С	23,15	23,43	25,00	23,86
Т замерзания, °С	-0,5524	-0,5523	-0,5522	-0,5523

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН.

Таблица 5.13 – Результаты биохимического, физико-химического исследования *молозива козьего* с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (опыт 4)

Исследуемый показатель	Номер пробирки			Среднее значение
	1	2	3	
рН	6,74	6,74	6,74	6,74
Т, °С	22,42	22,59	22,73	22,58
Кислотность, °Т	15,80	15,80	15,77	15,79

в) с использованием колострометра (опыт 4).

Результат – цветовая шкала зеленого цвета.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный аграрный университет
(ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ)

Юридический адрес: 428003 Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29
Место осуществления деятельности: 428003 Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ от 24.11.2021 г.

1. *Наименование апробируемого объекта.* Молозиво козье (1 удой, 2 удои): контроль (размораживание и разогрев на водяной бане температурой 50°C, размораживание и разогрев на воздухе температурой 23°C), молозиво козье, подвергнутое воздействию электромагнитного поля сверхвысокой частоты, удельная мощность 4 Вт/г, 8,5 Вт/г (1 удой).
2. *Разработчик-заказчик.* Научный консультант, доктор технических наук Просвирикова Марьяна Валентиновна, соискатель, кандидат технических наук Ершова Ирина Георгиевна.
3. *Место апробирования:* научно-исследовательская лаборатория по технологии молока и молочных продуктов, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 27, каб. 14а.
4. *НД на метод отбора:* ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб к анализу».
5. а) *НД на продукцию:* ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия».
б) *НД на проведение исследований:* ГОСТ 3624-92 «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности».
ГОСТ 32255-2013 «Молоко и молочные продукты. Инструментальный экспресс-метод определения физико-химических показателей идентификации с применением инфракрасного анализатора».
ГОСТ Р 54758-2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения плотности».
ГОСТ 3626-73 «Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества».
ГОСТ 5867-90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира».
ГОСТ 22760-77 «Молочные продукты. Гравиметрический метод определения жира».
ГОСТ 8218-89 «Молоко. Метод определения чистоты».
ГОСТ 13928-84 «Молоко и сливки заготавливаемые. Правила приемки, методы отбора проб и подготовка их к анализу».
ГОСТ 23453-2014 «Молоко сырое. Методы определения соматических клеток».
ГОСТ 23454-2016 «Молоко. Методы определения ингибирующих веществ».
ГОСТ 25101-2015 «Молоко. Метод определения точки замерзания».
ГОСТ 25179-2014 «Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка».
ГОСТ 26754-85 «Молоко. Методы измерения температуры»
ГОСТ 26809.1-2014 «Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молокосо-державшие продукты».
ГОСТ 32901-2014 «Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа».
6. *Дата и время отбора:* 23.11.2021 г. 10.00 час
7. *Масса образца* 150 г.
8. *Дата выработки:* 22.11.2021 г. 10.00 час
9. *на соответствие НД:* ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»
10. *Дополнительные сведения:* объем партии 5 кг, конечный срок годности 29.11.2021 г.
11. *Средства измерения, испытательное оборудование*
а) экспресс анализатор молока «Клевер-2М» (Технические условия на выпуск: ТУ 4215-007-45455637-06, номер по Госреестру 35748-07).

б) с использованием прибора pH-метр-термометр Нитрон-pH (Технические условия на выпуск: ТУ-4215-004-45455637-04 (ИНК 400.00.000 ТУ), номер по Госреестру 27376-09).

12. Результаты испытаний:

Получены следующие результаты биохимического исследования (четыре опыта).

Опыт 1. Контроль.

а) с использованием анализатора молока «Клевер-2М» (табл. 1).

Таблица 1 – Физико-химические свойства молозива козьего (опыт 1)

Исследуемый показатель	Результаты исследований			Среднее значение
	1	2	3	
Массовая доля жира, %	3,88	3,88	3,88	3,88
Массовая доля белка, %	3,72	3,72	3,70	3,71
Плотность, кг/м ³	1051,29	1051,30	1051,23	1051,27
Добавленная вода, %	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМО, %	9,14	9,14	9,12	9,13
СМО, %	13,08	13,08	13,04	13,07
Степень гомогенизации, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Массовая доля лактозы, %	4,60	4,60	4,60	4,60
Массовая доля соли, %	0,79	0,79	0,78	0,79
Температура, °С	22,44	22,90	23,90	23,08
Температура замерзания, °С	-0,5519	-0,5520	-0,5513	-0,5517

Примечание. СМО – сухой молочный остаток, СОМО – сухой обезжиренный молочный остаток.

б) с использованием прибора pH-метр-термометр Нитрон-pH (табл. 2).

Таблица 2 – Физико-химические свойства молозива козьего (опыт 1)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Активная кислотность (pH)	6,70	6,70	6,71	6,70
Температура, °С	22,07	22,30	23,73	22,7
Титруемая кислотность, °Т	16,60	16,57	16,61	16,59

Опыт 2. Размораживание и разогрев (удельная мощность 4 Вт/г)

а) с использованием анализатора молока «Клевер-2М» (таблица 3).

Таблица 3 – Физико-химические свойства молозива козьего (опыт 2)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Массовая доля жира, %	3,85	3,85	3,85	3,85
Массовая доля белка, %	3,73	3,74	3,73	3,73
Плотность, кг/м ³	1051,35	1051,38	1051,36	1051,36
Добавленная вода, %	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМО, %	9,15	9,16	9,15	9,15
СМО, %	13,06	13,07	13,06	13,06
Степень гомогенизации, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Массовая доля лактозы, %	4,60	4,60	4,60	4,60
Массовая доля соли, %	0,79	0,79	0,79	0,79
Температура, °С	24,67	25,18	26,20	25,35
Температура замерзания, °С	-0,5520	-0,5521	-0,5520	-0,5520

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (табл. 4).

Таблица 4 – Физико-химические свойства молозива козьего (опыт 2)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Активная кислотность (рН)	6,71	6,71	6,71	6,71
Температура, °С	24,54	24,53	25,60	24,89
Титруемая кислотность, °Т	16,05	16,47	16,50	16,34

Опыт 3. Размораживание и разогрев (удельная мощность 8,5 Вт/г)

а) с использованием анализатора молока «Клевер-2М» (таблица 5).

Таблица 5 – Физико-химические свойства молозива козьего (опыт 3)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Массовая доля жира, %	3,85	3,84	3,84	3,84
Массовая доля белка, %	3,74	3,74	3,74	3,74
Плотность, кг/м ³	1051,40	1051,39	1051,41	1051,40
Добавленная вода, %	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМО, %	9,16	9,16	9,16	9,16
СМО, %	13,08	13,06	13,06	13,07
Степень гомогенизации, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Массовая доля лактозы, %	4,6	4,6	4,6	4,60
Массовая доля соли, %	0,74	0,79	0,79	0,77
Температура, °С	21,63	23,33	23,98	22,98
Температура замерзания, °С	-0,5523	-0,5521	-0,5522	-0,5522

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (табл. 6).

Таблица 6 – Физико-химические свойства молозива козьего (опыт 3)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Активная кислотность (рН)	6,78	6,77	6,77	6,77
Температура, °С	21,39	21,64	22,80	21,94
Титруемая кислотность, °Т	15,17	15,06	15,20	15,14

Опыт 4.

а) с использованием прибора Клевер-2М (таблица 7).

Таблица 7 – Физико-химические свойства молозива козьего (опыт 4)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Массовая доля жира, %	3,87	3,86	3,86	3,86
Массовая доля белка, %	3,74	3,74	3,74	3,74
Плотность, кг/м ³	1051,39	1051,40	1051,38	1051,39
Добавленная вода, %	0,00	0,00	0,00	0,00
СОМО, %	9,16	9,16	9,16	9,16
СМО, %	13,09	13,08	13,08	13,08
Степень гомогенизации, %	0,00	0,00	0,00	0,00
Массовая доля лактозы, %	4,6	4,6	4,6	4,60
Массовая доля соли, %	0,79	0,79	0,79	0,79
Температура, °С	23,15	23,43	25,00	23,86
Температура замерзания, °С	-0,5524	-0,5523	-0,5522	-0,5523

б) с использованием прибора рН-метр-термометр Нитрон-рН (табл. 7).

Таблица 7 – Физико-химические свойства молозива козьего (опыт 4)

Исследуемый показатель	Результаты измерений			Среднее значение
	1	2	3	
Активная кислотность (рН)	6,74	6,74	6,74	6,74
Температура, °С	22,42	22,59	22,73	22,58
Титруемая кислотность, °Т	15,80	15,80	15,77	15,79

Руководитель научно-исследовательской лаборатории
по технологии молока и молочных продуктов,
доктор биологических наук, профессор

Г.А. Ларионов

Г.А. Ларионов



ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ПАТЕНТЫ



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 753 424** (13) **C1**(51) МПК
A47J 39/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**(52) СПК
A47J 39/00 (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2021104198, 19.02.2021

(24) Дата начала отчета срока действия патента:
19.02.2021Дата регистрации:
16.08.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.02.2021

(45) Опубликовано: 16.08.2021 Бюл. № 23

Адрес для переписки:
606340, Нижегородская обл., г. Княгинино, ул.
Октябрьская, 22 а, ГБОУ ВО "НИИЭУ",
Шамин А.Е.

(72) Автор(ы):

Новикова Галина Владимировна (RU),
Сторчевой Владимир Федорович (RU),
Просвирякова Марьяна Валентиновна (RU),
Михайлова Ольга Валентиновна (RU),
Ершова Ирина Георгиевна (RU),
Тараканов Дмитрий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования Нижегородский
государственный инженерно-экономический
университет (НИИЭУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2694944C1, 18.07.2019. RU
2721484C1, 19.05.2020. RU 2732722C1, 22.09.2020.
US 20180007746 A1, 04.01.2018.

(54) СВЧ установка непрерывно-поточного действия с квазистационарными тороидальными резонаторами для размораживания и разогрева молока животных

(57) Формула изобретения

Установка СВЧ непрерывно-поточного действия с квазистационарными тороидальными резонаторами для размораживания и разогрева коровьего молока, характеризующаяся тем, что она содержит два вертикально установленных, состыкованных конденсаторными частями и имеющих общее перфорированное основание квазистационарных тороидальных резонатора - верхний и нижний, при этом над общим перфорированным основанием установлен диэлектрический перемешивающий механизм с диэлектрическим валом и сообщенным с ним шнеком, при этом нагнетательный шнек измельчающего механизма размещен в центральной части верхнего резонатора таким образом, что нож с решеткой шнека заменяют малое основание его конденсаторной части, кроме того, в конденсаторной части нижнего резонатора установлена диэлектрическая тарелка без дна, причем дном тарелки служит малое перфорированное основание конденсаторной части, при этом на поверхности резонаторов в области их конденсаторных частей установлены магнетроны с воздушным охлаждением и со сдвигом на 120 градусов, а к центральной части нижнего резонатора прикреплен шаровой кран.

Стр. 1

RU 2 7 5 3 4 2 4 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2694944

Микроволновая установка для размораживания коровьего молозива

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (RU)*

Авторы: *Поручиков Дмитрий Витальевич (RU), Васильев
Алексей Николаевич (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU),
Новикова Галина Владимировна (RU), Белова Марьяна
Валентиновна (RU)*

Заявка № 2018143727
Приоритет изобретения 11 декабря 2018 г.
Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 18 июля 2019 г.
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 11 декабря 2038 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 694 944**⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A47J 39/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A47J 39/00 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2018143727, 11.12.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.12.2018Дата регистрации:
18.07.2019Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 11.12.2018

(45) Опубликовано: 18.07.2019 Бюл. № 20

Адрес для переписки:
109428, Москва, ул. 1-й Институтский проезд,
5

(72) Автор(ы):

Поручиков Дмитрий Витальевич (RU),
Васильев Алексей Николаевич (RU),
Ершова Ирина Георгиевна (RU),
Новикова Галина Владимировна (RU),
Белова Марьяна Валентиновна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ
ФНАЦ ВИМ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 166037U1, 10.11.2016. SU
1763379A1, 23.09.1992. RU 2592861C1, 27.07.2016.

(54) Микроволновая установка для размораживания коровьего молозива

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству и может быть использовано для размораживания коровьего молозива в фермерских хозяйствах без применения горячей воды. Микроволновая установка содержит вертикально расположенный квазистационарный тороидальный резонатор с прямоугольным сечением тора и конденсаторной частью, имеющей промежуток от нижнего края основания внутреннего цилиндра размером меньше, чем расстояние между боковыми поверхностями цилиндров. Тор образован между коаксиально расположенными ферромагнитными цилиндрами разной высоты и кольцевой ферромагнитной поверхностью наверху. Высота внутреннего цилиндра меньше высоты наружного цилиндра. Передвижной ферромагнитный диск-основание имеет диаметр меньше, чем диаметр внутреннего цилиндра, и передвигается вниз по направляющим

внутренним пазам, имеющимся во внутреннем цилиндре. В конденсаторную часть направлены излучатели от магнетронов, расположенных с наружной стороны наружного цилиндра, имеющего на боковой поверхности прорезь для диэлектрического круглого лотка с бортами. Лоток вращается с помощью электродвигателя. Диэлектрический лоток расположен асимметрично оси цилиндра, параллельно его нижнему перфорированному основанию. Под наружным цилиндром расположено выпуклое дно со сливным патрубком. Средний периметр кольцевого пространства и диаметр диска-основания должны быть равны кратной половине длины волны, а прорезь менее чем четверть длины волны. Использование изобретения позволит повысить эффективность размораживания коровьего молозива при низких эксплуатационных затратах. 1 ил.

RU 2 694 944 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2752938

Двухмодульная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для размораживания и разогрева коровьего молока

Патентообладатель: *Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (НИИЭУ) (RU)*

Авторы: *Новикова Галина Владимировна (RU), Просвирякова Марьяна Валентиновна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU), Тараканов Дмитрий Александрович (RU), Тихонов Александр Анатольевич (RU)*

Заявка № 2020141711

Приоритет изобретения 17 декабря 2020 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 11 августа 2021 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 17 декабря 2040 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев
Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11) 2 752 938 (13) C1

(51) МПК
A47J 39/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A47J 39/00 (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2020141711, 17.12.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.12.2020Дата регистрации:
11.08.2021Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 17.12.2020

(45) Опубликовано: 11.08.2021 Бюл. № 23

Адрес для переписки:
606340, Нижегородская область, г. Княгинино,
ул. Октябрьская д.22 а, Шамина А.Е.(72) Автор(ы):
Новикова Галина Владимировна (RU),
Просвирякова Марьяна Валентиновна (RU),
Михайлова Ольга Валентиновна (RU),
Ершова Ирина Георгиевна (RU),
Тараканов Дмитрий Александрович (RU),
Тихонов Александр Анатольевич (RU)(73) Патентообладатель(и):
Государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования Нижегородский
государственный инженерно-экономический
университет (НИИЭУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2732722C1, 22.09.2020. RU
2694944C1, 18.07.2019. RU 2721484C1, 19.05.2020.
US 20180007746A1, 04.01.2018.

(54) Двухмодульная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для размораживания и разогрева коровьего молока

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к агропромышленному комплексу и может быть использовано для размораживания и разогрева коровьего молока. Установка содержит усеченный конический резонатор 1 над тороидальным резонатором 6, 9 с общим перфорированным ферромагнитным основанием 4. Магнетроны 2, 5 расположены со сдвигом на 60 градусов по периметру на наружных поверхностях каждого резонатора так, что излучатели направлены с чередованием по обе стороны перфорированного ферромагнитного основания 4. Над основанием 4 установлен перемешивающий электрический механизм 3 с электроприводом. Тороидальный резонатор представлен конденсаторной частью 6, отделенной перфорированным диэлектрическим кольцевым основанием 7 от кольцевой части 9 резонатора, средним

периметром, кратным половине длины волны. Кольцевой резонатор представлен в виде соосно расположенных ферромагнитных цилиндров - наружного и внутреннего. Нижнее ферромагнитное основание 11 наружного цилиндра покрывает и нижнее основание внутреннего цилиндра. Верхнее основание 8 внутреннего цилиндра выполнено из ферромагнитного материала. Его нижняя часть боковой поверхности 10 перфорирована. Внутри внутреннего цилиндра установлен датчик температуры 13, а на нижнем основании - шаровой кран 12. К усеченной вершине конического резонатора 1, на уровне диаметра, равном четверти длины волны, присоединена приемная емкость 14 сзаслонкой. Использование изобретения позволит ускорить процессы размораживания и разогрева коровьего молока. 2 ил.

Стр.: 1

RU 2 7 5 2 9 3 8 C 1

RU 2 7 5 2 9 3 8 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**
 НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
 № 2752941

**Радиогерметичная многорезонаторная установка для
 размораживания и разогрева молочива животных**

 Патентообладатель: *Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (НГИЭУ) (RU)*

 Авторы: *Новикова Галина Владимировна (RU), Просвирякова Марьяна Валентиновна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU), Зиганшин Булат Гусманович (RU), Тараканов Дмитрий Александрович (RU)*

 Заявка № 2020141715
 Приоритет изобретения 17 декабря 2020 г.
 Дата государственной регистрации
 в Государственном реестре изобретений
 Российской Федерации 11 августа 2021 г.
 Срок действия исключительного права
 на изобретение истекает 17 декабря 2040 г.

 Руководитель Федеральной службы
 по интеллектуальной собственности

Г.П. Ильин



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ


 ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

 (52) СПК
 А47J 39/00 (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2020141715, 17.12.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.12.2020
 Дата регистрации:
11.08.2021

 Приоритет(ы):
 (22) Дата подачи заявки: 17.12.2020

(45) Опубликовано: 11.08.2021 Бюл. № 23

 Адрес для переписки:
 606340, Нижегородская область, г. Княгинино,
 ул. Октябрьская д.22 а, Шамина А.Е.

(19) RU (11) 2 752 941 (13) C1

 (51) МПК
 А47J 39/00 (2006.01)

(72) Автор(ы):

 Новикова Галина Владимировна (RU),
 Просвирякова Марьяна Валентиновна (RU),
 Михайлова Ольга Валентиновна (RU),
 Ершова Ирина Георгиевна (RU),
 Зиганшин Булат Гусманович (RU),
 Тараканов Дмитрий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

 Государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 образования Нижегородский
 государственный инженерно-экономический
 университет (НГИЭУ) (RU)

 (56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 2721484 C1, 19.05.2020. RU
 2694944 C1, 18.07.2019. RU2732722 C1,
 22.09.2020. US 20180007746 A1, 04.01.2018.

 (54) Радиогерметичная многорезонаторная установка для размораживания и разогрева молочива животных
 (57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к агропромышленному комплексу, и может быть использовано для размораживания и разогрева молочива животных в непрерывном режиме. Установка содержит вертикально расположенные основной 2 и дополнительные конические резонаторы 5. Основной резонатор установлен с усеченной вершиной, направленной вверх. Основной резонатор 2 углублен секторами боковой поверхности со сдвигом на 120° в остальные дополнительные резонаторы, чьи вершины направлены вниз. У основного резонатора 2 части секторов боковой поверхности 4, углубленные в дополнительные резонаторы 5, перфорированы в области нижнего основания. По периметрам оснований всех

резонаторов 2 и 5 со сдвигом на 120° установлены магнетроны 4 и 10 с воздушным охлаждением. Над основанием основного резонатора расположен диэлектрический перемешивающий механизм с электроприводом 9. В дополнительных резонаторах в области вершин с шаровыми краями 7 и датчиками температуры 8 установлены также диэлектрические перемешивающие устройства 6 с электроприводами. На усеченной вершине основного резонатора 2 установлена приемная емкость 1 с заслонкой. Высоты всех резонаторов и периметры их оснований кратны половине длины волны. Использование изобретения позволит разделить процессы размораживания и разогрева молочива животных. 2 ил.

RU 2 752 941 C 1

RU 2 752 941 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2762645

Двухрезонаторная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных

Патентообладатель: *Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (НИИЭУ) (RU)*

Авторы: *Новикова Галина Владимировна (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU), Просвирякова Марьяна Валентиновна (RU), Сторчевой Владимир Федорович (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU), Тараканов Дмитрий Александрович (RU)*

Заявка № 2021117344
Приоритет изобретения 16 июня 2021 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 21 декабря 2021 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 16 июня 2041 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 762 645⁽¹³⁾ C1**(51) МПК
A47J 39/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**(52) СПК
A47J 39/00 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021117344, 16.06.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.06.2021Дата регистрации:
21.12.2021Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 16.06.2021

(45) Опубликовано: 21.12.2021 Бюл. № 36

Адрес для переписки:
606340, Нижегородская обл., г. Княгинино, ул.
Октябрьская 22 а, НИИЭУ, Шагин А.Е.

(72) Автор(ы):

Новикова Галина Владимировна (RU),
Ершова Ирина Георгиевна (RU),
Просвирякова Марьяна Валентиновна (RU),
Сторчевой Владимир Федорович (RU),
Михайлова Ольга Валентиновна (RU),
Тараканов Дмитрий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования Нижегородский
государственный инженерно-экономический
университет (НИИЭУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU2694944 C1, 18.07.2019.
RU2018113197 A, 14.10.2019. RU 166037U1,
10.11.2016. JP 2009170334 A, 30.07.2009. GB
1552275 A, 12.09.1979.

(54) Двухрезонаторная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных

(57) Формула изобретения

Двухрезонаторная СВЧ установка непрерывно-поточного действия для дефростации и разогрева молозива животных содержит вертикально расположенные соосно установленные цилиндрический неферромагнитный корпус, радиопрозрачный цилиндр и диэлектрический сплошной цилиндр, боковая сторона которого представлена вогнутыми полуцилиндрами, радиусом, кратным половине длины волны, при этом боковая сторона цилиндрического неферромагнитного корпуса образована выпуклыми полуцилиндрами, диаметром, равным диаметру вогнутого полуцилиндра, причем радиопрозрачный цилиндр и сплошной диэлектрический цилиндр жестко установлены на перфорированный неферромагнитный диск, вращающийся от электродвигателя, который размещен на верхнем неферромагнитном основании корпуса, где предусмотрен запредельный волновод для приема сырья, диаметром, равным диаметру выпуклого полуцилиндра, причем к перфорированному неферромагнитному диску над областью кольцевого пространства, между радиопрозрачным и диэлектрическим цилиндрами, с нижней

Стр. 1

RU 2 762 645 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2761810

**СВЧ установка непрерывно-поточного действия с
кольцевым и коническим резонаторами для
дефростации и подогрева молока животных**

Патентообладатель: *Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (НИИЭУ) (RU)*

Авторы: *Новикова Галина Владимировна (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU), Просвирякова Марьяна Валентиновна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU), Сторчевой Владимир Федорович (RU), Тараканов Дмитрий Александрович (RU)*

Заявка № 2021113242
Приоритет изобретения 11 мая 2021 г.
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 13 декабря 2021 г.
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 11 мая 2041 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев
Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 761 810** (13) **С1**(51) МПК
A47J 39/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(52) СПК
A47J 39/00 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021113242, 11.05.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.05.2021Дата регистрации:
13.12.2021Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 11.05.2021

(45) Опубликовано: 13.12.2021 Бюл. № 35

Адрес для переписки:
606340, Нижегородская обл., г. Княгинино, ул.
Октябрьская, 22 а, Шамина А.Е.

(72) Автор(ы):

Новикова Галина Владимировна (RU),
Ершова Ирина Георгиевна (RU),
Просвирякова Марьяна Валентиновна (RU),
Михайлова Ольга Валентиновна (RU),
Сторчевой Владимир Федорович (RU),
Тараканов Дмитрий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования Нижегородский
государственный инженерно-экономический
университет (НИИЭУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU2694944 C1, 18.07.2019.
RU2018113197 A, 14.10.2019. RU 166037U1,
10.11.2016. JP 2009170334 A, 30.07.2009. GB
1552275 A, 12.09.1979.

(54) СВЧ установка непрерывно-поточного действия с кольцевым и коническим резонаторами для дефростации и подогрева молока животных

(57) Формула изобретения

СВЧ установка непрерывно-поточного действия с кольцевым и коническим резонаторами для дефростации и подогрева молока животных содержит вертикально расположенный кольцевой резонатор прямоугольного сечения без нижнего кольцевого основания, состыкованный с основанием конического резонатора, направленного вершиной вниз, куда установлен шаровой кран, причем в кольцевом резонаторе, по периметру внутреннего цилиндра имеется прорезь для электропривода, обеспечивающего перемещение отсеков, образованных с помощью радиально расположенных диэлектрических перегородок, при этом основание конического резонатора перфорировано, диаметром менее четверти длины волны, а магнетроны с воздушным охлаждением со сдвигом на 120 градусов установлены на поверхностях каждого резонатора, причем на верхнем основании кольцевого резонатора, со средним периметром, кратным половине длины волны, имеется загрузочный патрубок, выполняющий функцию запредельного волновода, а на наружной боковой поверхности резонатора имеется открытое окно, состыкованное с окном на боковой поверхности

Стр. 1

RU 2761810 C1

RU 2761810 C1



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 775 137⁽¹³⁾ C1**

(51) МПК
A47J 39/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(52) СПК
A47J 39/00 (2022.02)

(21)(22) Заявка: 2021124890, 23.08.2021	(72) Автор(ы): Просвирякова Марьяна Валентиновна (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU), Новикова Галина Владимировна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU), Сторчевой Владимир Федорович (RU), Тараканов Дмитрий Александрович (RU), Сивицин Александр Анатольевич (RU)
(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 23.08.2021	(73) Патентообладатель(и): Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (НИИЭУ) (RU)
Дата регистрации: 28.06.2022	
Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 23.08.2021	(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU2694944 C1, 18.07.2013. SU 1763379 A1, 23.09.1992. RU 166037 U1, 10.11.2016. JP 2009170334 A, 30.07.2009. GB 1552275 A, 12.09.1979.
(45) Опубликовано: 28.06.2022 Бюл. № 19	
Адрес для переписки: 606340, Нижегородская обл., г. Княгинино, ул. Октябрьская 22 а, ГБОУ ВО НИИЭУ, Ректор Шамин А.Е.	

(54) СВЧ установка непрерывно-поточного действия с состыкованными вершинами конических резонаторов для дефростации и разогрева молока животных

(57) Формула изобретения

СВЧ установка непрерывно-поточного действия с состыкованными вершинами конических резонаторов для дефростации и разогрева содержит два вертикально расположенных усеченных конических резонатора, состыкованные усеченными вершинами с помощью неферромагнитной цилиндрической муфты, причем на основаниях усеченных конических резонаторов по периметру со сдвигом на 120 градусов установлены магнетроны с воздушным охлаждением, излучатели от которых направлены в соответствующие резонаторы, при этом внутри верхнего усеченного конического резонатора с соприкосновением на опорные ролики соосно установлен диэлектрический контейнер на диэлектрическом валу от электродвигателя, выполненный в виде соосно расположенных усеченных конусов, где кольцевое пространство разделено на отсеки, причем к внутренней поверхности нижнего усеченного конического резонатора под цилиндрической неферромагнитной муфтой прикреплена диэлектрическая направляющая в виде усеченного конуса, вершиной вниз, а под ним диэлектрической

Стр.: 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 777 113** (13) **C1**(51) МПК
A47J 39/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A47J 39/00 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2021137695, 20.12.2021
(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 20.12.2021
Дата регистрации: 01.08.2022
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 20.12.2021
(45) Опубликовано: 01.08.2022 Бюл. № 22
Адрес для переписки:
606340, Нижегородская обл., Княгининский р-н., г. Княгинино, ул. Агрохимиков, 11, кв.16, Шамин А.Е.

(72) Автор(ы):
Новикова Галина Владимировна (RU),
Тарakanов Дмитрий Александрович (RU),
Ершова Ирина Георгиевна (RU),
Просвирякова Мария Валентиновна (RU),
Михайлова Ольга Валентиновна (RU),
Зиганшин Булат Гусманович (RU),
Ларионов Геннадий Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (НИГЭУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2752941 C1, 11.08.2021. RU 2694944 C1, 18.07.2019. RU 2753424 C1, 16.06.2021. RU 2751023 C1, 07.07.2021.

(54) СВЧ- установка со двоянными кольцевыми резонаторами для дефростации и разогрева молока животных

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству и может быть использовано в фермах, где содержится крупный рогатый скот, лошади, верблюды, козы и т.д. для дефростации и разогрева молока животных. Установка СВЧ содержит состыкованные общим основанием верхний и нижний кольцевые резонаторы прямоугольного сечения. В кольцевых пространствах обоих резонаторов имеются попарно расположенные диэлектрические кольцевые перегородки. На перегородках установлены толстостенные молокопроводы, свернутые в кольцо, продолжения которых через диэлектрическую кольцевую перегородку проходят на последующие ярусы. Продолжение молокопроводов с перегородки последнего яруса

верхнего резонатора пропущено через диэлектрические втулки, установленные в общее основание резонаторов. Втулки снабжены ферромагнитными сетками. Продолжения молокопроводов с перегородки последнего яруса нижнего кольцевого резонатора проходят через заперделные волноводы, пристыкованные к основанию нижнего резонатора, и попадают в приемную емкость. На монтажном каркасе установки размещены измельчитель и насос. Насос соединен через общий молокопровод с молокопроводами. Измельчитель и насос размещены в заперделных волноводах верхнего резонатора. Использование изобретения позволит сохранить кормовую ценность молока животных. 7 ил.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 780 835** (13) **C1**(51) МПК
A47J 39/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A47J 39/00 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2022101268, 20.01.2022
(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 20.01.2022
Дата регистрации: 04.10.2022
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 20.01.2022
(45) Опубликовано: 04.10.2022 Бюл. № 28
Адрес для переписки:
606340, Нижегородская обл., г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22 а, Шамин А.Е.

(72) Автор(ы):
Новикова Галина Владимировна (RU),
Ершова Ирина Георгиевна (RU),
Просвирякова Мария Валентиновна (RU),
Тарakanов Дмитрий Александрович (RU),
Михайлова Ольга Валентиновна (RU),
Зиганшин Булат Гусманович (RU),
Кириллов Николай Кириллович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Нижегородский государственный инженерно-экономический университет (НИГЭУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2734593 C1, 20.10.2020. RU 2694944 C1, 18.07.2019. RU 2703940 C2, 22.10.2019. JP 2009-170334 A, 30.07.2009. GB 1552275 A, 12.09.1979.

(54) СВЧ установка с соосно состыкованными цилиндрическим и ко-аксиальным резонаторами для дефростации и разогрева молока животных

(57) Реферат:

Предлагаемое изобретение может быть использовано в фермах, где содержится крупный рогатый скот, лошади, верблюды, козы и т.д. для дефростации и разогрева молока животных. СВЧ установка с соосно состыкованными цилиндрическим и коаксиальным резонаторами для дефростации и разогрева молока животных в вертикальной плоскости содержит соосно расположенные в коаксиальном ферромагнитном резонаторе 6 перфорированный ферромагнитный цилиндрический резонатор 3 и молотковую дробилку 4, 5, 9. Молотковая дробилка представлена из попарно расположенных двояковыпуклых керамических дисков 4 на диэлектрическом валу 9 и диэлектрических молотков 5, закрепленных шарнирно. Нижнее

кольцевое основание 7 коаксиального резонатора 6 перфорировано, а под ним установлена ферромагнитная коническая приемная емкость 10 с шаровым краем 11, а ферромагнитная загрузочная емкость 13 с заслонкой пристыкована к верхнему основанию цилиндрического перфорированного резонатора 3. Магнетроны 1, 12 воздушного охлаждения прикреплены через волноводы к боковым поверхностям обоих резонаторов 3, 6 со сдвигом на 120 градусов. Диаметр перфорированного ферромагнитного цилиндрического резонатора 3 и средний периметр коаксиального ферромагнитного резонатора 6 кратны половине длины волны. Изобретение обеспечивает сохранение кормовой ценности молока животных за счет сокращения длительности технологического процесса

RU 2 7 7 7 1 1 3 C 1

RU 2 7 7 7 1 1 3 C 1

RU 2 7 8 0 8 3 5 C 1

RU 2 7 8 0 8 3 5 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 779 598** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A47J 39/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A47J 39/00 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2022101265, 20.01.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.01.2022Дата регистрации:
12.09.2022Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 20.01.2022

(45) Опубликовано: 12.09.2022 Бюл. № 26

Адрес для переписки:
606340, Нижегородская обл., Книгининский р-н., г. Книгинино, Агрохимиков ул., 11, кв. 16, Шамин А.Е.

(72) Автор(ы):

Новикова Галина Владимировна (RU),
Тараканов Дмитрий Александрович (RU),
Ершова Ирина Георгиевна (RU),
Просвирикова Марьяна Валентиновна (RU),
Михайлова Ольга Валентиновна (RU),
Зиганшин Булат Гусманович (RU),
Сторчевой Владимир Федорович (RU),
Чесноков Александр Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования Нижегородский
государственный инженерно-экономический
университет (НГИЭУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2753424 C1, 16.08.2021. RU
2734593 C1, 20.10.2020. US 20180007746 A1,
04.01.2018.

(54) СВЧ установка непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами для дефростации и разогрева молока животных

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано в фермах, где содержится крупный рогатый скот, лошади, верблюды, козы, для дефростации и разогрева молока животных. СВЧ установка непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами для дефростации и разогрева молока животных содержит полусферические резонаторы 1, 9 с общим перфорированным вибрирующим основанием 6 в горизонтальной плоскости. Внутри верхнего резонатора 1 под измельчающим механизмом 2, 4, состыкованным с резонатором и расположенным с наружной стороны, установлен на валу высокоскоростного двигателя

диэлектрический диск 5 с радиально расположенными острыми ребрами. Под перфорированным основанием расположен вибратор 12. Внутрь нижнего полусферического резонатора 9 установлен запердельный волновод 11 с шаровым краном 10. Магнетроны 7, 8 с волноводом расположены по периметрам обоих резонаторов 1, 9 со сдвигом на 120 градусов. Загрузочная емкость 3 пристыкована с измельчающему механизму 2, 4. Изобретение обеспечивает снижение продолжительности дефростации и разогрева молока животных, что сохраняет его кормовую ценность. 8 ил.

RU 2 779 598 C 1

RU 2 779 598 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 626 156** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A23N 1/700 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016133572, 15.08.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.08.2016Дата регистрации:
21.07.2017Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 15.08.2016

(45) Опубликовано: 21.07.2017 Бюл. № 21

Адрес для переписки:
603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Нижегородская ГСХА"

(72) Автор(ы):

Белов Александр Анатольевич (RU),
Жданкин Георгий Валерьевич (RU),
Новикова Галина Владимировна (RU),
Михайлова Ольга Валентиновна (RU),
Ершова Ирина Георгиевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Нижегородская
государственная сельскохозяйственная
академия" (ФГБОУ ВО НГСХА) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2535146 C1, 10.12.2014. RU
2584029 C1, 20.05.2016. RU 2586160 C1,
10.06.2016. RU 2496291 C1, 27.10.2013.

(54) Радиоволновые установки для термообработки сырья

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, в частности к технологическому оборудованию для проведения теплообменных процессов, например для термообработки и обеззараживания сыпучего сырья в виде фуражного зерна, комбикормов и т.п. Радиоволновая установка для термообработки сырья содержит сверхвысокочастотные генераторы 5 с частотой 2450 МГц и тороидальный резонатор. Резонатор состоит из тора с тремя запердельными волноводами, съемных модулей и жестко закрепленной по внутреннему периметру тора стационарной плоской пластины. Съемные модули содержат дополнительные источники

электромагнитных излучений спектра радиоволн, отличающиеся длиной волны. Элементы энергоподводов от этих источников установлены на съемную верхнюю пластину, размещенную в центральной части тороидального резонатора. В запердельном волноводе, закрепленном с нижней стороны тора, расположен шнековый дозатор. Один из верхних запердельных волноводов подключен к штуцеру, соединенному с воздушным фильтром. Третий запердельный волновод соединен с загрузочным бункером. Использование изобретения позволит провести качественную термообработку сырья. 3 ил.

RU 2 626 156 C 1

RU 2 626 156 C 1

Положительное решение от 02.05.2023 г.. СВЧ установка с тороидальным резонатором для дефростации молозива животных в непрерывном режиме / Тихонов А.А., Новикова Г.В., Басонов О.А., **Ершова И.Г.**, Просвирякова М.В., Михайлова О.В.; заявитель и патентообладатель НГСХА. № 2022120392; заявл. 25.07.2022

Форма № 01 ИЗ-2014

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(РОСПАТЕНТ)**

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993. Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

На № - от -
Наш № 2022120392/07(042902)
При перекресте просим ссылаться на номер заявки
**Исходящая корреспонденция от
02.05.2023**

ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА, ведущему инженеру-патентоведу Олсухову М.В.
пр-кт Гагарина, 97
г. Нижний Новгород
603107

РЕШЕНИЕ
о выдаче патента на изобретение

(21) Заявка № 2022120392/07(042902) (22) Дата подачи заявки 25.07.2022

В результате экспертизы заявки на изобретение по существу установлено, что заявленное изобретение относится к объектам патентных прав, соответствует условиям патентоспособности, сущность заявленного изобретения (изобретений) в документах заявки раскрыта с полнотой, достаточной для осуществления изобретения (изобретений)*, в связи с чем принято решение о выдаче патента на изобретение.


Заключение по результатам экспертизы прилагается.

Приложение: на 6 л. в 1 экз.

Начальник Управления организации предоставления государственных услуг

Д. В. Травников

Документ подписан электронной подписью
Сведения о сертификате ЭП1
Сертификат 039AA693000AAF80874E5A83C864A50CA7
Владелец Травников Дмитрий Владимирович
Срок действия с 08.09.2022 по 08.09.2023



*Проверка достаточности раскрытия сущности заявленного изобретения проводится по заявкам на изобретения, поданным после 01.10.2014.

Приложение к форме № 01 ИЗ-2014
10,181

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРТИЗЫ

(21) Заявка № 2022120392/07(042902) (22) Дата подачи заявки 25.07.2022
(24) Дата начала отсчета срока действия патента 25.07.2022

ПРИОРИТЕТ УСТАНОВЛЕН ПО ДАТЕ
(22) подачи заявки 25.07.2022

(72) Автор(ы) Тихонов Александр Анатольевич, Новикова Галина Владимировна, Басонов Орест Антипович, Ершова Ирина Георгиевна, Просвирякова Мария Валентиновна, Михайлова Ольга Валентиновна, RU

(73) Патентообладатель(и) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия" (ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА), RU

(54) Название изобретения СВЧ-УСТАНОВКА С ТОРОИДАЛЬНЫМ РЕЗОНАТОРОМ ДЛЯ ДЕФРОСТАЦИИ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ

(см. на обороте)

01	1	073810
----	---	--------

ВНИМАНИЕ! С целью исключения ошибок просба проверить сведения, приведенные в заключении, т.к. она без изменения будет внесена в Государственный реестр изобретений Российской Федерации, и незамедлительно сообщить об обнаруженных ошибках.

Заявка на изобретение. СВЧ Микроволновый пастеризатор молока / Новикова Г.В., Меженина Е.И., Тихонов А.А., Ершова И.Г., Просвирякова М.В., Михайлова О.В., Федоров М.Е.; заявитель и патентообладатель НГСХА. № 2022128403; заявл. 01.11.2022.

Заявка на изобретение. Патент РФ, МПК А47J.39/08. СВЧ установка с взаимосвязанными резонаторами для дефростации и разогрева молозива животных / Просвирякова М.В., Ершова И.Г., Сторчевой В.Ф., Новикова Г.В., Михайлова О.В.; заявитель и патентообладатель РГАУ – МСХА им К. А. Тимирязева. № 2023109489; заявл. 13.04.2023

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2022 128 403** ⁽¹³⁾ **A**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ЗАЯВКА НА ИЗОБРЕТЕНИЕ**

Состояние делопроизводства: Экспертиза по существу (последнее изменение статуса: 05.05.2023)

(21)(22) Заявка: **2022128403**, 01.11.2022

Делопроизводство

Исходящая корреспонденция		Входящая корреспонденция	
Уведомление об удовлетворении ходатайства	06.04.2023	Ходатайство о проведении экспертизы заявки по существу	03.04.2023
Уведомление об удовлетворении ходатайства	06.04.2023	Ходатайство об освобождении от уплаты пошлин или уменьшении размера	03.04.2023
Уведомление о положительном результате формальной экспертизы	10.11.2022		
Уведомление об удовлетворении ходатайства	10.11.2022	Ходатайство об освобождении от уплаты пошлин или уменьшении размера	01.11.2022
Уведомление о зачете пошлины	10.11.2022	Платежный документ	01.11.2022
Уведомление о поступлении документов заявки	03.11.2022		

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2023 109 489** ⁽¹³⁾ **A**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ЗАЯВКА НА ИЗОБРЕТЕНИЕ**

Состояние делопроизводства: Экспертиза по существу (последнее изменение статуса: 24.05.2023)

(21)(22) Заявка: **2023109489**, 13.04.2023

Делопроизводство

Исходящая корреспонденция		Входящая корреспонденция	
Уведомление об удовлетворении ходатайства	23.05.2023	Ходатайство о проведении экспертизы заявки по существу	19.05.2023
Уведомление об удовлетворении ходатайства	23.05.2023	Ходатайство об освобождении от уплаты пошлин или уменьшении размера	19.05.2023
Уведомление о положительном результате формальной экспертизы	21.04.2023		
Уведомление об удовлетворении ходатайства	21.04.2023	Ходатайство об освобождении от уплаты пошлин или уменьшении размера	13.04.2023
Уведомление о зачете пошлины	21.04.2023	Платежный документ	13.04.2023
Уведомление о поступлении документов заявки	13.04.2023		

Заявка на изобретение, МПК А47J.39/08. Размораживатель молозива животных с СВЧ энергоподводом в коаксиальный резонатор / Просвирякова М.В., Ершова И.Г., Сторчевой В.Ф., Новикова Г.В., Михайлова О.В.; заявитель и патентообладатель РГАУ – МСХА им К. А. Тимирязева

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 2 605 355 (13) C1



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ (51) МПК СИВ J/12 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: приоритет действителен, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса: 09.07.2019)

- (21)(22) Заявка: 2015138179/13, 07.09.2015
(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 07.09.2015
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 07.09.2015
(45) Опубликовано: 20.12.2016 Бюл. № 35
(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2541694 C1, 20.02.2015, SU 848472 A2, 23.07.1981, SU 1737008 A1, 30.05.1992, US 5490453 A1, 13.02.1996.

- (72) Автор(ы): Белова Марьяна Валентиновна (RU), Белов Александр Анатольевич (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU), Ноникова Галина Владимировна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU), Сельванов Иван Михайлович (RU), Иванова Надежда Михайловна (RU), Петров Николай Валерьевич (RU)
(73) Патентообладатель(и): Автономная некоммерческая организация высшего образования "Академия технологий и управления" (RU)

Адрес для переписки: 429959, Чувашская Республика, г. Новочебоксарск, ул. Коммунистическая, 37, Академия технологий и управления, Новиковой Г.В.

(54) СВЕРХВЫСОКО ЧАСТОТЫ

ИЗ ЖИРОСОЛ

(57) Реферат:

Изобретение относится к установке для выде цилиндрического патрубком для отс перфорированный барабана. Барабан объемного резона установлен шпек барабана больше, накопительный кар валушки. Диаметр В накопительном установлен конус генераторные био обеспечивает улуч

30.03.2020

RU №2581224

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 2 581 224 (13) C1



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ (51) МПК СИВ J/12 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действие (последнее изменение статуса: 17.12.2019)

- (21)(22) Заявка: 2014150840/13, 15.12.2014
(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 15.12.2014
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 15.12.2014
(45) Опубликовано: 20.04.2016 Бюл. № 11
(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2409915 C1, 20.01.2011, SU 1805870 A1, 10.09.1998, EP 1027939 B1, 28.09.2005.

- (72) Автор(ы): Михайлова Ольга Валентиновна (RU), Белова Марьяна Валентиновна (RU), Белов Александр Анатольевич (RU), Ноникова Галина Владимировна (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU)
(73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)" (RU)

(54) ЦЕНТРОБЕЖНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ЖИРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

(57) Реферат:

Изобретение относится к технологическому оборудованию предприятий масной промышленности и предназначено для обезжиривания и вытопки жира из измельченного жиросодержащего сырья. Центробежная установка для термообработки жиросодержащего сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты содержит станину для монтажа комплектующих узлов. На станину установлен неподвижный цилиндрический экранирующий корпус из ферромагнитного материала с приемным патрубком и смотровым окном на крышке, людом и электродвигателем с передаточным механизмом. Внутри поддона имеются усеченный конус для отведения опорных элементов от продукта, диаметр верхнего основания которого равен диаметру цилиндра. Внутри экранирующего корпуса коаксиально расположен цилиндр из ферромагнитного материала, образуя тордондальной впадины радиального сечения, а в горизонтальной плоскости имеется диск-ротор на валу который по периферии установлены нижние перфорированные полушеры резонаторных камер. В промежутке между верхней экранирующей корпусом и нижними перфорированными полушерами резонаторных камер по концентрической окружности расположены верхние полушеры резонаторных камер. Они содержат по центральной оси дисковидные втулки, внутрь которых направлены соответствующие излучатели от СВЧ генераторных блоков. Приемный патрубок расположен над нижними перфорированными

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 2 600 697 (13) C1



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ (51) МПК А23J 3/12 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: приоритет действителен, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса: 19.02.2019)

- (21)(22) Заявка: 2015117451/13, 07.05.2015
(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 07.05.2015
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 07.05.2015
(45) Опубликовано: 27.10.2016 Бюл. № 30
(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU2409915C1, 20.01.2011, RU2469514C1, 10.12.2012, RU2304884C2, 27.08.2007, WO02087286A1, 31.10.2002.

Адрес для переписки: 429959, Чувашская Респ., г. Новочебоксарск, ул. Коммунистическая, 37, Автономная некоммерческая организация высшего образования "Академия технологий и управления"

- (72) Автор(ы): Сельванов Иван Михайлович (RU), Белова Марьяна Валентиновна (RU), Белов Александр Анатольевич (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU), Ноникова Галина Владимировна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU), Малоткина Наталья Ивановна (RU), Петров Николай Валерьевич (RU), Петрова Оксана Ивановна (RU), Иванова Надежда Михайловна (RU)
(73) Патентообладатель(и): Автономная некоммерческая организация высшего образования "Академия технологий и управления" (RU)

(54) СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ ЖИРА

(57) Реферат:

ИЗобретение относится к установке для плавления жира

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 2 537 552 (13) C1



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ (51) МПК А23J 3/12 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

- (21)(22) Заявка: 2013137720/13, 12.08.2013
(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 12.08.2013
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 12.08.2013
(45) Опубликовано: 10.01.2015 Бюл. № 1
(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: БРЕДИХИН С.А. Технологическое оборудование мясокомбинатов "М. Колос", 2000, с.266. RU2484639C2, 20.06.2013, RU2133574C1, 27.07.1999, RU4660U1, 16.08.1997

Адрес для переписки: 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, ФГБОУ ВПО "Чувашская государственная сельскохозяйственная академия", Новиковой Галины Владимировне

- (72) Автор(ы): Белова Марьяна Валентиновна (RU), Усудый Николай Тимофеевич (RU), Зиганшин Булат Гуаматович (RU), Белов Александр Анатольевич (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU), Ноникова Галина Владимировна (RU)
(73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Чувашская государственная сельскохозяйственная академия" (RU)

(54) УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ КРОВИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к масной промышленности и может быть использовано при переработке скота, а именно его крови. Установка содержит на монтажном столе с блоком пускозащитной аппаратуры цилиндрический экранирующий корпус. Внутри корпуса коаксиально расположен ротор, выполненный в виде колеса, который приводится в движение от мотора-редуктора. По всему периметру ротора вертикально смонтированы нижние части цилиндрических резонаторных камер с силиконовым покрытием изнутри. Их боковые стороны сопряжены, а количество зависит от диаметра ротора. Нижние части резонаторных камер охватены натяжными ободком до участка, где расположены упорные элементы. Верхние части резонаторных камер жестко закреплены с тыльной стороны под СВЧ-генераторы так, что излучать направлено внутрь камеры. Для этого на основании цилиндра имеется отверстие, состоящее из излучателя. Их количество равно количеству СВЧ-генераторов. На верхнем основании экранирующего корпуса по диаметру расположены СВЧ-генераторы и ИК-лампы с черноватым, дозатор и мотор-редуктор для привода ротора, а также имеется смотровая дверца. На боковой поверхности экранирующего корпуса, в области расположения упорного элемента, смонтирован выпускной лоток. Использование изобретения позволяет повысить качество термообработки технической крови сельскохозяйственных животных. 11 ил.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 2 591 126 (13) C1



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ (51) МПК СИВ J/12 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: приоритет действителен, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса: 07.02.2019)

- (21)(22) Заявка: 2015116255/13, 28.04.2015
(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 28.04.2015
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 28.04.2015
(45) Опубликовано: 10.07.2016 Бюл. № 19
(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU2409915C1, 20.01.2011, RU107526U1, 20.08.2011, UA17341U, 15.09.2006.

Адрес для переписки: 429959, Чувашская Респ., г. Новочебоксарск, ул. Коммунистическая, 37, АНО ВО "Академия технологий и управления", Новиковой Г.В.

- (72) Автор(ы): Сельванов Иван Михайлович (RU), Белова Марьяна Валентиновна (RU), Белов Александр Анатольевич (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU), Ноникова Галина Владимировна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU), Сорочкина Марина Геннадьевна (RU), Петрова Оксана Ивановна (RU)
(73) Патентообладатель(и): Автономная некоммерческая организация высшего образования "Академия технологий и управления" (RU)

(54) УСТАНОВКА ДЛЯ ВЫТОПКИ ЖИРА В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

(57) Реферат:

Установка включает установленные на монтажном каркасе состыкованные один на другой

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 2 541 634 (13) C1



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ (51) МПК А23J 1/06 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

- (21)(22) Заявка: 2013146767/13, 18.10.2013
(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 18.10.2013
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 18.10.2013
(45) Опубликовано: 20.02.2015 Бюл. № 5
(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU2133574C1, 27.07.1999, RU2136718 C1, 27.10.2008, ФАЙВИШЕВСКИЙ М.Л., Малоткинские технологии на мясокомбинатах, М. Колос, 1993, с.76, 78

Адрес для переписки: 428003, г. Чебоксары, ул. Карла Маркса, 29, ФГБОУ ВПО "Чувашская государственная сельскохозяйственная академия", Новиковой Галины Владимировне

- (72) Автор(ы): Белова Марьяна Валентиновна (RU), Белов Александр Анатольевич (RU), Ершова Ирина Георгиевна (RU), Усудый Николай Тимофеевич (RU), Ноникова Галина Владимировна (RU), Михайлова Ольга Валентиновна (RU)
(73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Чувашская государственная сельскохозяйственная академия" (RU)

(54) СПОСОБ ТЕРМООБРАБОТКИ КРОВИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к мясоперерабатывающей отрасли и может быть использовано в кормопроизводстве. Термообработку крови сельскохозяйственных животных осуществляют путем воздействия электромагнитных излучений сверхвысокочастотного и инфракрасного диапазонов в предвальных резонаторных камерах СВЧ-генераторы в многократном циклическом режиме. Предусмотривают эндогенный нагрев при удельной мощности 1...16 Вт/л, лауу и экзогенный нагрев при мощности ИК-лампы 1 кВт до достижения температуры в продукте 78...80°С. Продолжительность паузы больше, чем продолжительность нагрева. Обеспечивается увеличение сроков хранения свернутой крови и снижение бактериальной обсемененности продукта. 7 ил., 3 табл.

RU 2 537 552 C1

RU 2 541 634 C1

ПАТЕНТ 2541694

Возможность использования установки для термообработки жиросодержащего сырья (патент № 2541694) для дефростации и разогрева молозива животных.

(54) УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ЖИРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Процесс измельчения дефростации и разогрева молозива в установке происходит следующим образом.

Загрузить молозиво, замороженное в виде брикетов, в загрузочную емкость 1. Включить электродвигатель с передаточными механизмами 4 привода вальцов 2 (измельчающий механизм) с набором звездочек 3. При попадании сырья между вальцами происходит измельчение сырья и перемещение через лоток 5 в резонаторную камеру 7. Далее включить СВЧ-генератор 6, благодаря чему происходит эндогенный нагрев измельченного сырья. При этом для равномерного нагрева сырья по всему объему предварительно включить перемешивающий механизм 8 и нагнетательный шнек 10 с помощью электродвигателя 14. Частота вращения валов регулируется с помощью ременных передач и редуктора 15. Нагретое сырье попадает в перемешивающий шнек 10 через окно 9 корпуса нагнетательного шнека. Размороженное молозиво стекает через фильтр 12 в приемную емкость 13. Разогретое молозиво через сливной патрубок с помощью насоса перекачивается в специальный накопитель. Вся установка находится в экранирующем корпусе 16. Установка работает в непрерывном режиме, обеспечивая параллельное измельчение сырья, его дефростацию и разогрев.

(57) Реферат:

Изобретение относится к пищевой промышленности и сельскому хозяйству. Установка для термообработки жиросодержащего сырья содержит загрузочную емкость и экранирующий корпус. Внутри экранирующего корпуса находится объемный резонатор с горизонтально расположенным перемешивающим механизмом из диэлектрического материала. На верхнем основании корпуса расположен СВЧ генераторный блок так, что излучатель направлен внутрь резонатора. К нижнему основанию объемного резонатора пристыкована горизонтально расположенная камера нагнетательного шнека, с тыльной стороны которой прикреплен фильтр. Приемная емкость установлена под фильтром. Внутри камеры установлен нагнетательный шнек, сопряженный с матрицей. Загрузочная емкость с направляющим лотком, установленная над объемным резонатором, содержит вальцовый измельчающий механизм с набором звездочек и с электродвигателем. Для привода перемешивающего механизма и нагнетательного шнека в экранирующем корпусе предусмотрен мотор-редуктор. Изобретение позволяет интенсифицировать процесс вытопки жира при снижении энергетических затрат. 1 ил.

Формула изобретения

Установка для термообработки жиросодержащего сырья содержит загрузочную емкость и экранирующий корпус, внутри которого находится объемный резонатор с горизонтально расположенным перемешивающим механизмом из диэлектрического материала, при этом на верхнее его основание установлен СВЧ генераторный блок так, что излучатель направлен внутрь резонатора, а к нижнему основанию резонатора пристыкована горизонтально расположенная камера для нагнетательного шнека, с тыльной стороны которой прикреплен фильтр, а с ее торцевой стороны установлена матрица, причем загрузочная емкость с направляющим лотком, установленная над объемным резонатором, содержит вальцовый измельчающий механизм с набором звездочек и с электродвигателем, а для привода перемешивающего механизма и нагнетательного шнека в экранирующем корпусе предусмотрен мотор-редуктор, при этом приемная емкость установлена под фильтром.

30.03.2020

ИС №2541694

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 2 541 694 (13) C1



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МКК
С11В 1/12 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: на действительном (использование наименования статуса: 17.10.2018)

(21)(22) Заявка: 2013145358/13, 09.10.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 09.10.2013

Примечание(я):

(22) Дата подачи заявки: 09.10.2013

(45) Опубликовано: 20.02.2015 Вол. № 6

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2469514 C1, 16.12.2012; WO 2002087286 A1, 31.10.2002; RU 107526 U1, 20.08.2011;

Адрес для переписки:
428003, г. Чобоксары, ул. Карла Маркса, 29,
ФГБОУ ВПО "Чувашская государственная
сельскохозяйственная академия",
Новиковой Галины Владимировны

(72) Автор(ы):

Ершова Ирина Георгиевна (RU),
Сорокина Марина Геннадьевна (RU),
Вилова Марина Валентиновна (RU),
Михайлова Ольга Валентиновна (RU),
Новикова Галина Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Чувашская государственная
сельскохозяйственная академия" (RU)

(54) УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ЖИРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ**(57) Реферат:**

Изобретение относится к пищевой промышленности и сельскому хозяйству. Установка для термообработки жиросодержащего сырья содержит загрузочную емкость и экранирующий корпус. Внутри экранирующего корпуса находится объемный резонатор с горизонтально расположенным перемешивающим механизмом из диэлектрического материала. На верхнем основании корпуса расположен СВЧ генераторный блок так, что излучатель направлен внутрь резонатора. К нижнему основанию объемного резонатора пристыкована горизонтально расположенная камера нагнетательного шнека, с тыльной стороны которой прикреплен фильтр. Приемная емкость установлена под фильтром. Внутри камеры установлен нагнетательный шнек, сопряженный с матрицей. Загрузочная емкость с направляющим лотком, установленная над объемным резонатором, содержит вальцовый измельчающий механизм с набором звездочек и с электродвигателем. Для привода перемешивающего механизма и нагнетательного шнека в экранирующем корпусе предусмотрен мотор-редуктор. Изобретение позволяет интенсифицировать процесс вытопки жира при снижении энергетических затрат. 1 ил.

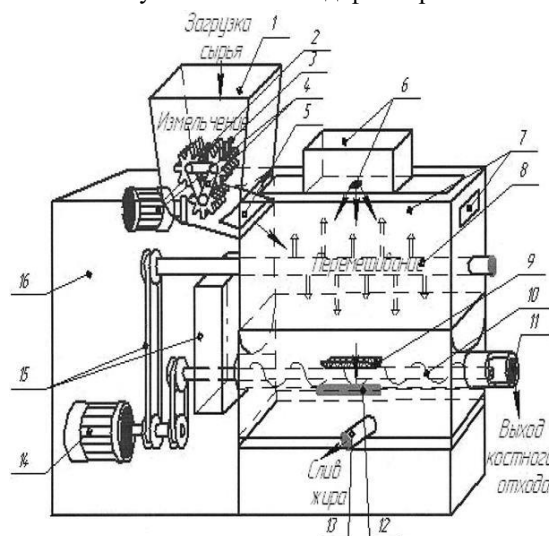


Рисунок – Установка для термообработки жиросодержащего сырья

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

ДИПЛОМЫ ОБ УЧАСТИИ В КОНКУРСАХ И ВЫСТАВКАХ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

П Р И К А З

« 10 » марта 2015 г.

Москва

№ 184

О назначении стипендии Президента Российской Федерации
молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные
исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации
российской экономики, на 2015-2017 годы

В соответствии с Правилами назначения и выплаты стипендии Президента
Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим
перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям
модернизации российской экономики, утвержденными постановлением
Правительства Российской Федерации от 7 июня 2012 г. № 563, приказом
Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 августа 2014 г.
№ 1028 «О проведении в 2015 году открытого публичного конкурса по отбору
получателей стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым
и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки
по приоритетным направлениям модернизации российской экономики» и на
основании протокола заседания Конкурсной комиссии по проведению открытого
публичного конкурса на право получения стипендии Президента Российской
Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные
научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации
российской экономики, от 5 февраля 2015 г. № 6 п р и к а з ы в а ю:

1. Назначить с 1 января 2015 г. стипендию Президента Российской Федерации
молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные

О стипендиях Президента - 14

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Чувашский государственный педагогический
университет им. И.Я. Яковлева»

- 1. Ершова Ирина Георгиевна молодой ученый с 1 января 2015 г. по 31 декабря 2017 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Чувашский государственный университет имени И.Н.
Ульянова»

- 1. Карпов Сергей Владимирович молодой ученый с 1 января 2015 г. по 31 декабря 2017 г.
- 2. Липин Константин Владимирович молодой ученый с 1 января 2015 г. по 31 декабря 2017 г.
- 3. Федосеев Сергей Владимирович аспирант с 1 января 2015 г. по 31 декабря 2017 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Юго-Западный государственный университет»

- 1. Горлов Алексей Николаевич молодой ученый с 1 января 2015 г. по 31 декабря 2017 г.
- 2. Ташнора Алтон Олегович молодой ученый с 1 января 2015 г. по 31 декабря 2017 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Южно-Российский государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова»

- 1. Дубров Вячеслав Игорьевич молодой ученый с 1 января 2015 г. по 31 декабря 2016 г.
- 2. Папин Владимир Владимирович молодой ученый с 1 января 2015 г. по 31 декабря 2017 г.
- 3. Смолий Виктория Александровна молодой ученый с 1 января 2015 г. по 31 декабря 2017 г.
- 4. Шайхудинов Данил Вадимович молодой ученый с 1 января 2015 г. по 31 декабря 2017 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)

- 1. Белоусов Евгений Викторович молодой ученый с 1 января 2015 г. по 31 декабря 2017 г.

Приложение к приказу - 14

Победители конкурса на получение стипендии
Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов

№	Фамилия	Организация
50	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
51	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
52	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
53	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
54	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
55	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
56	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
57	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
58	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
59	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
60	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
61	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
62	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
63	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
64	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
65	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
66	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
67	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
68	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
69	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
70	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
71	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
72	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
73	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
74	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
75	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
76	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
77	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
78	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
79	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
80	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
81	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
82	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
83	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
84	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
85	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
86	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
87	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
88	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
89	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
90	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
91	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
92	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
93	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
94	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
95	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
96	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
97	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
98	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
99	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»
100	Ершова Ирина Георгиевна	Национальный исследовательский университет «ИТМО»



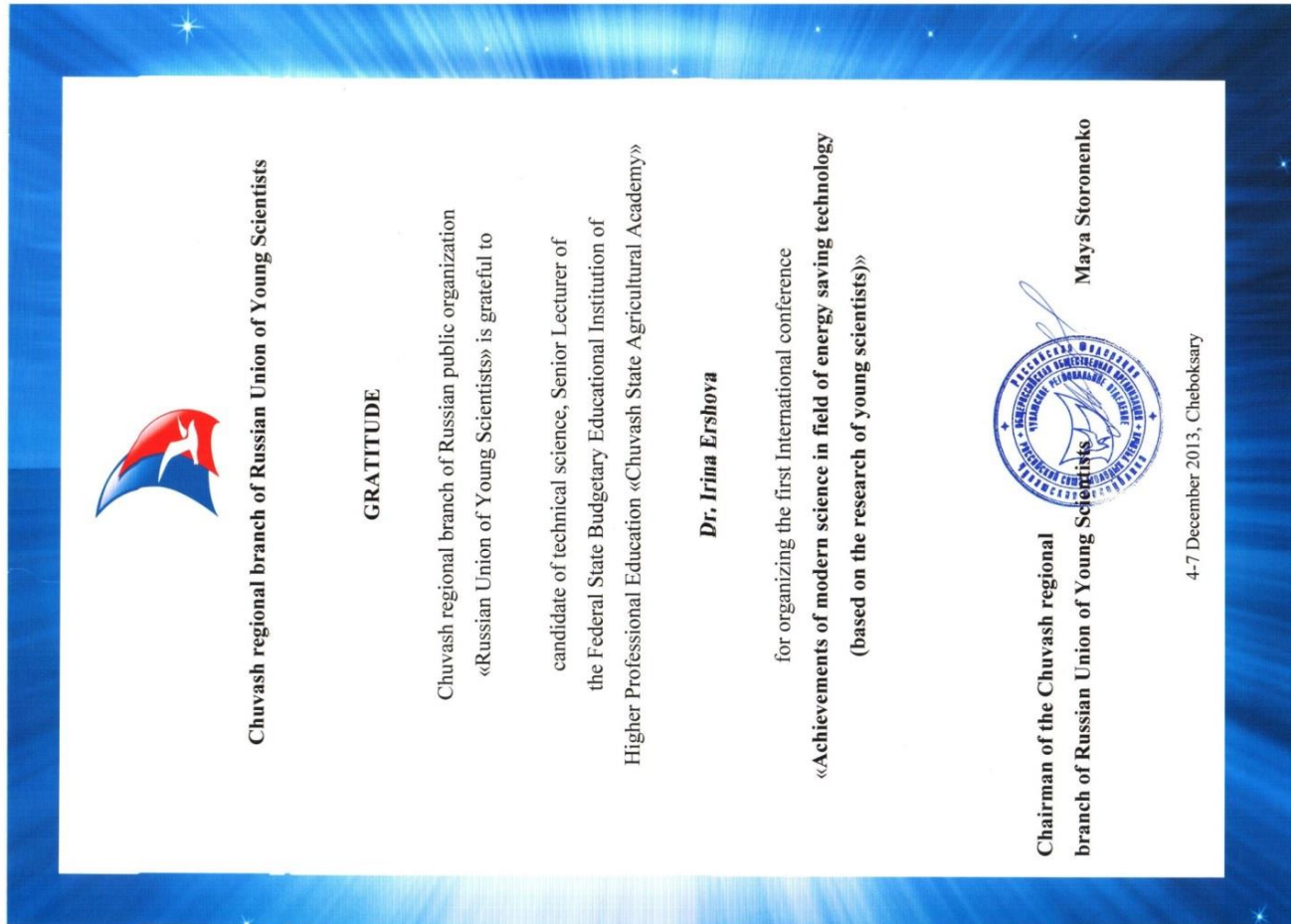
СВИДЕТЕЛЬСТВО
*Распоряжением Главы Чувашской Республики
 от 31 декабря 2014 года № 473-рг*

Ершовой Ирине Георгиевне,
 заместителю начальника научно-образовательного центра
 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
 высшего профессионального образования
 «Чувашский государственный педагогический
 университет им. И.Я. Яковлева»

НАЗНАЧЕНА
 специальная стипендия
 для представителей молодежи и студентов
 за особую творческую устремленность

Глава
 Чувашской Республики *М. Игнатьев*
 г. Чебоксары
 Рег. № 262

Одноразовая стипендия за особую творческую устремленность назначается представителям молодежи и студентам, достигшим значительных результатов в учебной, исследовательской, научной, творческой, производственной, управленческой деятельности и в бизнес-проектировании




Chuvash regional branch of Russian Union of Young Scientists

GRATITUDE

Chuvash regional branch of Russian public organization
 «Russian Union of Young Scientists» is grateful to
 candidate of technical science, Senior Lecturer of
 the Federal State Budgetary Educational Institution of
 Higher Professional Education «Chuvash State Agricultural Academy»

Dr. Irina Ershova
 for organizing the first International conference
 «Achievements of modern science in field of energy saving technology
 (based on the research of young scientists)»

**Chairman of the Chuvash regional
 branch of Russian Union of Young Scientists**

 **Maya Storonenko**

4-7 December 2013, Cheboksary



LIEUVOS IR ŠVEICARIJOS BENDRADARBIAVIMO PROGRAMA



CONFIRMATION

Dr. Irina Ershova from Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia has attended the scientific summer camp "SMITHY OF IDEAS 2013" in Rusnė, Lithuania held by Lithuanian Society of Young Researchers (LSYR) from 4th to 7th July, 2013.

Vicepresident of LSYR



dr. Vilma Petrikaite

4-7th July, 2013
Rusnė, Lithuania

Celestinio Vilko g. 12-12
LT-01112 Vilnius
Lietuva
tel./faks. +370 52609163
el. p. info@ljsms.lt
I. k. 195766815
A/S LT827044060001005579
AB SEB bankas
www.ljsms.lt



Certificate of Presentation

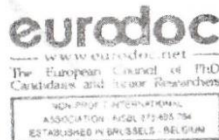
This is to certify that

Irina Ershova
Chuvash State Agricultural Academy

performed an oral presentation of the work titled

Equipment for Producing Bakery Products Using Energy of Ultra-High Frequency Microwaves

during the parallel sessions "Technical Sciences: new works in engineering, nanotechnology & ICT field", at the "New Challenges in the European Area: Young Scientist's 1st International Baku Forum" held in Baku, Azerbaijan, 20-25 May 2013.



Date: 25/05/2013

Georgios S. Papavasileiou

Chair of the Session

www.eurodoc.net

Министерство образования и молодежной политики Чувашской Республики



БЛАГОДАРНОСТЬ

вручается

Ершовой Ирине Георгиевне,

заместителю начальника отдела подготовки и повышения квалификации научно-педагогических кадров ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева»,

за помощь в проведении республиканского конкурса «Конвейер проектов», в подготовке делегации Чувашской Республики к участию в Молодежном форуме Приволжского федерального округа «iВолга»

Министр



В.Н. Иванов

г. Чебоксары

Приказ Минобразования Чувашии
от 09.02.2015 г. № 177

Министерство образования и молодежной политики Чувашской Республики



ДИПЛОМ

ПЮБЕДИТЕЛЯ

республиканского конкурса «Лучший молодой ученый Чувашской Республики» в номинации «Лучший молодой ученый в области технических наук»

вручается

Ершовой Ирине Георгиевне,

к.т.н., заместителю начальника научно-образовательного центра

ФГБОУ ВПО «ЧУВАШ ИМЕНИ И.Я. ЯКОВЛЕВА»

Министр



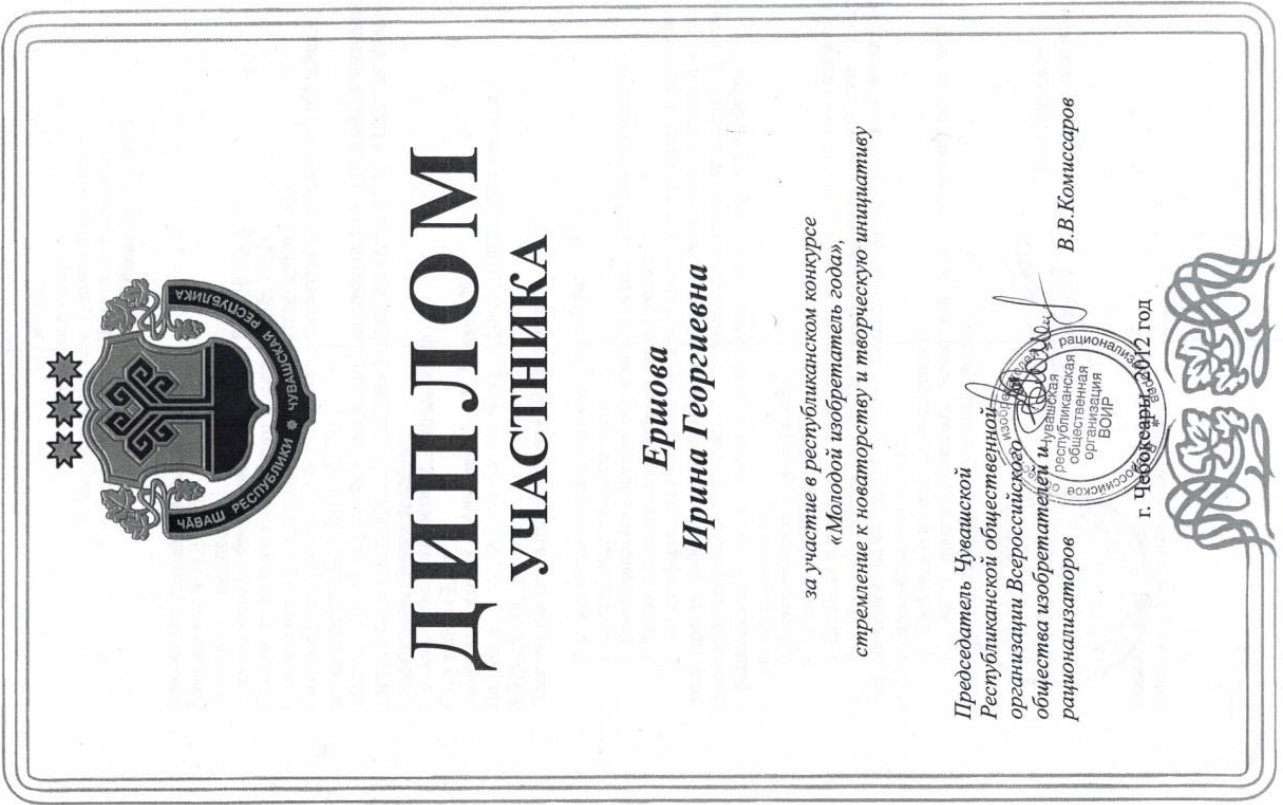
В.Н. Иванов

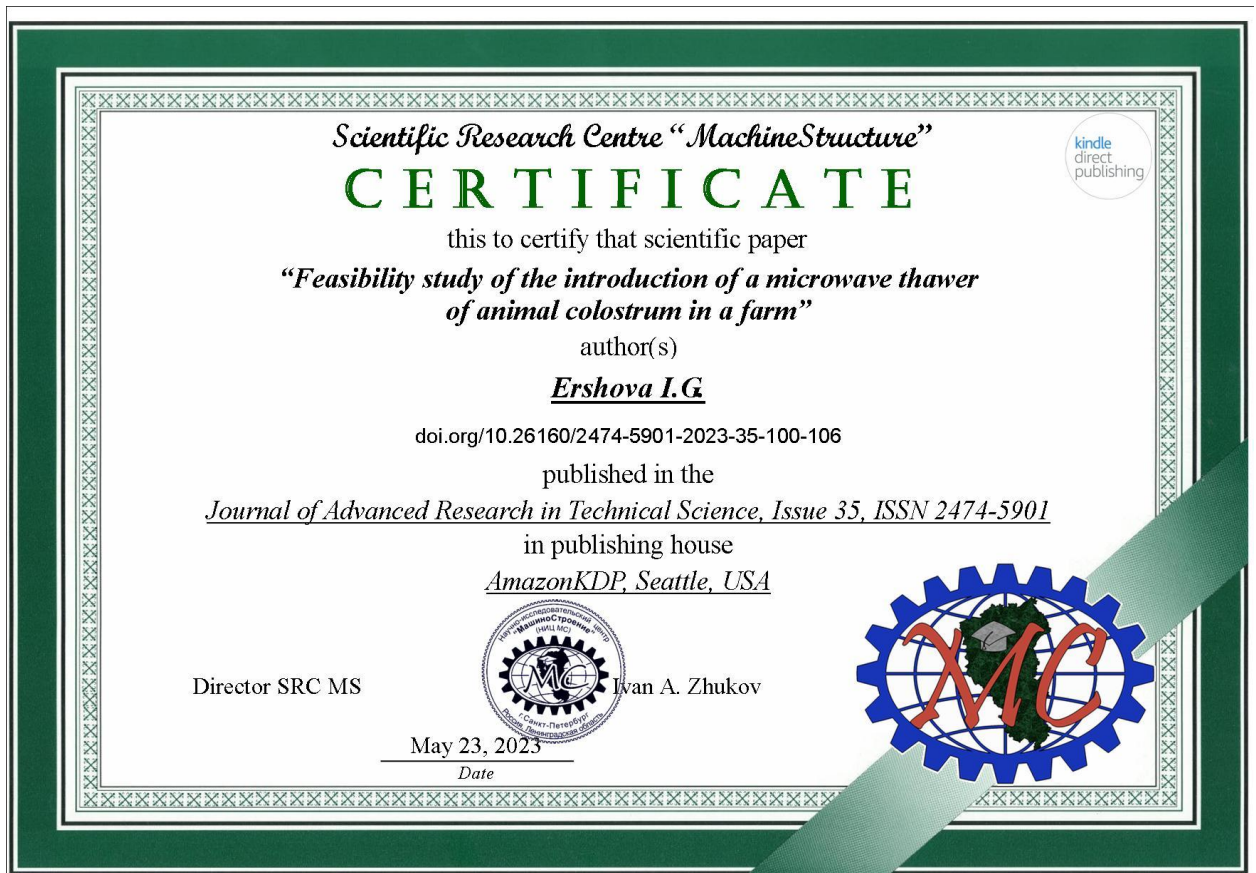
Приказ Минобразования Чувашии
от 29 января 2015 г. № 170
г. Чебоксары, 2015 г.











ПРИЛОЖЕНИЕ 8

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРТИЗЫ КОНКУРСНОЙ ЗАЯВКИ РНФ
№ 22-22-00118*

* результаты предоставляются в соответствии с п.19 Порядка конкурсного отбора научных, научно-технических программ и проектов, представленных на конкурс Российского научного фонда.

Конкурс: Конкурс 2021 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами»

Руководитель: Просвирякова Марьяна Валентиновна

Название: Разработка технологии и оборудование сверхвысокочастотной дефростации и разогрева молозива животных

Исполнители:

№	ФИО исполнителей
1	Просвирякова Марьяна Валентиновна
2	Сторчевой Владимир Федорович
3	Ершова Ирина Георгиевна
4	Тараканов Дмитрий Александрович

Ответы Эксперта Фонда на вопросы по разделам экспертного заключения

Оценка соответствия тематики проекта выбранной в заявке отрасли науки (по классификатору РНФ): - **соответствует**

Оценка способности руководителя управлять проектом - **Отлично**

Оценка опыта руководства и выполнения научных проектов руководителя проекта (за последние 5 лет) - **Плохо**

Оценка уровня научных публикаций руководителя проекта (за последние 5 лет) - **Плохо**

Оценка уровня ранее полученных научных результатов руководителя проекта (за последние 5 лет) - **Хорошо**

Оценка опыта образовательной деятельности руководителя проекта - **Хорошо**

Соответствие и полнота плана работ поставленным задачам проекта - **Отлично**

Оценка уровня научной значимости и актуальности тематики проекта - **Средне**

Оценка наличия материально-технической базы, использования при реализации проекта центров коллективного пользования и уникальных установок и стендов, информационных и других ресурсов - **Отлично**

Оценка владения авторами информацией о современном состоянии исследований по тематике проекта - **Средне**

Оценка предлагаемых методов и подходов - **Средне**

Оценка степени научной новизны исследований - **Хорошо**

Оценка публикаций и иных способов обнародования результатов проекта - **Хорошо**

Оценка вероятности успешного выполнения проекта и получения запланированных результатов - **Отлично**

Адекватность используемых ресурсов для выполнения проекта - **Хорошо**

Оценка масштабности и комплексности поставленных задач - **Хорошо**

Оценка возможности практического использования запланированных результатов проекта в экономике и социальной сфере - **Отлично**

Оценка соответствия предполагаемых результатов мировому уровню исследований - **Хорошо**

Оценка обязательств по привлечению к работе по проекту молодых ученых и специалистов, аспирантов, студентов - **Отлично**

Адекватность подбора специалистов научного коллектива - **Отлично**

Оценка профессионального уровня членов научного коллектива - **Отлично**

Обоснованность предложений о приобретении оборудования, а также о планируемых командировках (экспедициях) для выполнения проекта - **Средне**

Общее заключение:

Проект посвящен решению прикладных задач, ориентированных на создание новых технологий в животноводстве и внедрение их в современные сельскохозяйственные производства, заявленные в нем исследования являются несомненно актуальными и важными для развития данного направления, поддерживаемого Фондом. В то же время, выбранный авторами классификатор - «02-401: Вакуумная и плазменная электроника, СВЧ-электроника» - не в полной мере соответствует представленному Проекту. В Проекте, безусловно, предполагается использование СВЧ-генераторов, однако ими являются отработанные в большом числе задач промышленные магнетроны, а целью Проекта является разработка на их основе установок, ориентированных именно на решение прикладных задач, в частности, дефростации и разогрева молозива животных. Таким образом, более адекватными представляются или классификаторы раздела «09: Инженерные науки», связанные с созданием электрофизических установок для новых прикладных исследований и современных технологий, или классификаторы, соответствующие исследованиям в области агротехнических/зоотехнических наук и их приложений для сельскохозяйственной, пищевой промышленности и т.п. На несоответствие представленному классификатору «02-401» указывают и публикации коллектива, в которых нет ни одной статьи, опубликованной в «общефизическом» журнале или журнале, специализирующемся в области СВЧ-электроники - все публикации относятся к журналам в области сельскохозяйственных наук и ориентированной на нее инженерии.

К положительным сторонам Проекта несомненно можно отнести достаточно молодой возраст авторов: 3 (из 4) участника, включая руководителя, относятся к категории «молодых ученых». Вместе с тем, профессиональный уровень авторов не вызывает сомнений: в научный коллектив входит 2 доктора технических наук, 1 кандидат технических наук и 1 соискатель ученой степени кандидата технических наук. Коллектив представляет сотрудников 3 различных Институтов: Нижегородского государственного инженерно-экономического университета (г. Княгинино, Нижегородская обл.), Российского государственного аграрного университета МСХА им. К.А.Тимирязева (г. Москва) и Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (г. Москва). Формирование исследовательской команды, предполагающей сотрудничество таких авторитетных отечественных лидеров в области агротехнических научных и инженерных разработок, безусловно продуктивно для решения задач самого высокого уровня. Судя по представленным публикациям, этот коллектив уже имеет многолетний положительный опыт сотрудничества. Руководителем в Заявке не указан предшествующий опыт выполнения проектов и грантов. Несмотря на это, руководитель имеет большой опыт создания СВЧ-установок для различных актуальных приложений, а с учетом статуса «молодой ученый» - энергии, энтузиазма и времени, необходимых для успешного выполнения Проекта и достижения поставленных целей. Руководитель проекта активно публикуется в специализированных (в области прикладных инженерных разработок, ориентированных на сельскохозяйственные науки) Российских журналах, база данных РИНЦ содержит более 250 публикаций. Индекс Хирша по этой базе данных составляет 12, что очевидно хорошо для упомянутой области исследований. В то же время, в международных базах данных WoS/Scopus руководитель имеет очень низкое число публикаций (недостаточное для области «02: Физика и науки о космосе»), причем все эти публикации относятся к журналам с относительно низким рейтингом и импакт-фактором. Могу предположить только, что это стандартная ситуация для специалистов в области прикладной инженерии, тематика исследований которых выходит за рамки высокорейтинговых иностранных журналов. Авторы проекта имеют заметный многолетний опыт создания различных СВЧ-установок, ориентированных на широкий круг прикладных задач. В качестве «научного задела» коллектива в Проекте указано 6 патентов установок для дефростации и разогрева молозива животных, их конструкции приведены в приложенном к Заявке дополнительном материале. Общим элементом этих конструкций является секционирование установки, основанное на относительно «прозрачной» идее разделения процессов размораживания и подогрева сырья (вызванное существенным отличием его электродинамических и теплофизических характеристик в этих процессах). Однако кроме этого принципа во множестве предложенных конструкций присутствует некая «зоология»: отсутствует четкое изложение их достоинств и недостатков, физический критерий выбора оптимальной конструкции и т.д. В самом Проекте физические цели и задачи также изложены достаточно «размыто» и декларативно, отсутствует четкое описание физических (электродинамических, теплофизических и др.) и инженерных принципов построения и оптимизации установки из всего этого «зоологического многообразия» прототипов. К неким «рискам» Проекта,

относящимся к необходимости тщательной проработки конструкции обсуждаемой СВЧ-установки, можно отнести, например, следующее: - При разработке установки с использованием нескольких СВЧ-источников (магнетронов) авторами не обсуждается геометрия их расположения. Очевидно, конструкция резонатора должна быть оптимизирована таким образом, чтобы избежать взаимное влияние генераторов друг на друга (что будет приводить к увеличению тепловых нагрузок, пробойных ограничений и, в итоге, выходу магнетронов из строя). В литературе предлагается множество подходов к решению данной задачи, например: поляризационная развязка источников, временная развязка источников (сдвиг питания магнетронов, работающих в импульсном режиме, относительно друг друга при сохранении средней мощности излучения) и др. Авторами данный важный аспект разработки не обсуждается. - Одним из ключевых элементов установки авторами предлагается использование закритического сужения, которое, с одной стороны, должно обеспечить ее «радиогерметичность» (т.е. безопасное отсутствие излучения из работающей установки), а с другой, возможность непрерывной загрузки размораживаемого сырья. Однако авторами не обсуждается вопрос, что для полной непрозрачности такое сужение должно быть либо относительно длинным (в масштабе длины волны излучения, что с учетом диапазона работы промышленных магнетронов должно составлять заметную длину), либо иметь оптимизированный профиль. К очевидному просветлению этого элемента будет приводить находящийся в этом месте диэлектрик-сырье, а также дополнительные элементы (шнеки и т.п., обсуждаемые авторами в различных конструкциях). С учетом этого, требуется проведение дополнительного теоретического анализа, компьютерного моделирования и инженерной оптимизации данной системы ввода сырья. Например, авторам можно предложить дополнительно использовать металлические сетки для отсека СВЧ-излучения. При использовании промышленных 2.45 ГГц магнетронов эти сетки могут иметь относительно большие ячейки, приемлемые для загрузки сырья. В то же время, при резонансной настройке система из нескольких сеток может обеспечить полное задержание излучения внутри резонатора (даже с учетом засыпания через них сырья).

Ряд «формальных» замечаний можно сделать и по планированию Проекта:

1. Как уже отмечалось выше, научный коллектив имеет высокую научную квалификацию, необходимую для решения поставленных в Проекте задач. В то же время, вызывает вопросы отсутствие так называемого «вспомогательного персонала» (данная статья расходов не запланирована в смете). Для проекта, предполагающего создание и тестирование прототипов промышленных установок, это вызывает удивление, т.к. получается, что изготовление опытных образцов, имеющих достаточно сложную конструкцию, будут проводить доктора и кандидаты наук?

2. Предполагаемые к использованию ресурсы адекватны поставленным в проекте задачам. План дополнительных закупок весьма детализирован. Некое «недоумение» только вызывает планируемая покупка 6 шт. микроволновых печей, как пишут авторы, «для извлечения магнетронов и электронных блоков». Почему нельзя купить промышленные магнетроны (что, заведомо, будет дешевле) и изготовить специализированные источники питания для них (например, позволяющие регулировать мощность, скважность импульсов, осуществлять вышеупомянутую временную развязку источников и т.п.). Да и вообще немного смущает предлагаемый авторами научный подход, основанный на разборке бытовых «ширпотребных» приборов.

3. В рамках Проекта не запланированы командировки участников. Это также вызывает вопросы, поскольку: - в научный коллектив входят участники из разных городов, и их поездки кажутся желательными для обсуждений и проведения совместных исследований; - желательны поездки для участия в научных мероприятиях и конференциях для представления результатов исследований.

4. Вызывает удивление ряд замеченных «опечаток». Так, например, для участника Проекта В.Ф. Сторчевого указана дата рождения 02.07.1965 и возраст на момент подачи 48 лет, что, очевидно, противоречит одно другому. В связи с этим хочется думать, что возраст остальных («молодых») участников и все другие цифры и показатели указаны верно. С учетом всего вышеизложенного, мной поставлена общая оценка Проекту «хорошо». Однако считаю, что, несмотря на сделанные замечания.

Проект может быть рекомендован для поддержки Фондом в виду важности прикладных исследований в области сельскохозяйственных наук и необходимости развития новых технологий для современной Российской промышленности

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЯЗКОГО СЫРЬЯ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Результаты исследования диэлектрических характеристик вязкого сырь.

Проанализированы диэлектрические показатели вязкого сырь (рис. 9.1-9.13).

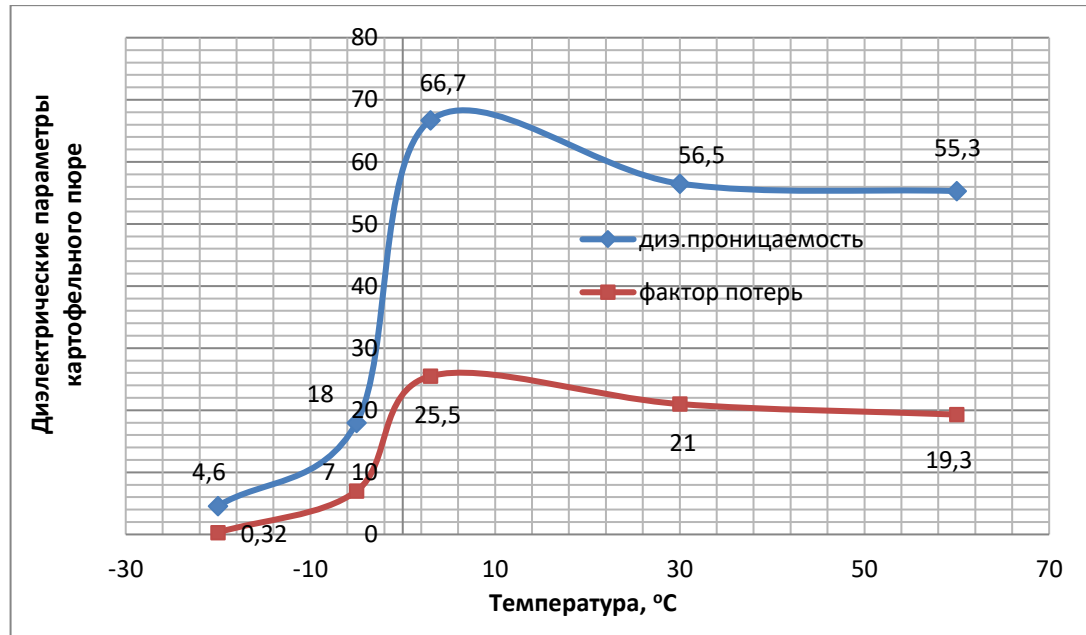


Рисунок 9.1 – Диэлектрические характеристики картофельного пюре в зависимости от температуры на частоте 3000 МГц (стр. 95, И.А. Рогов [200])

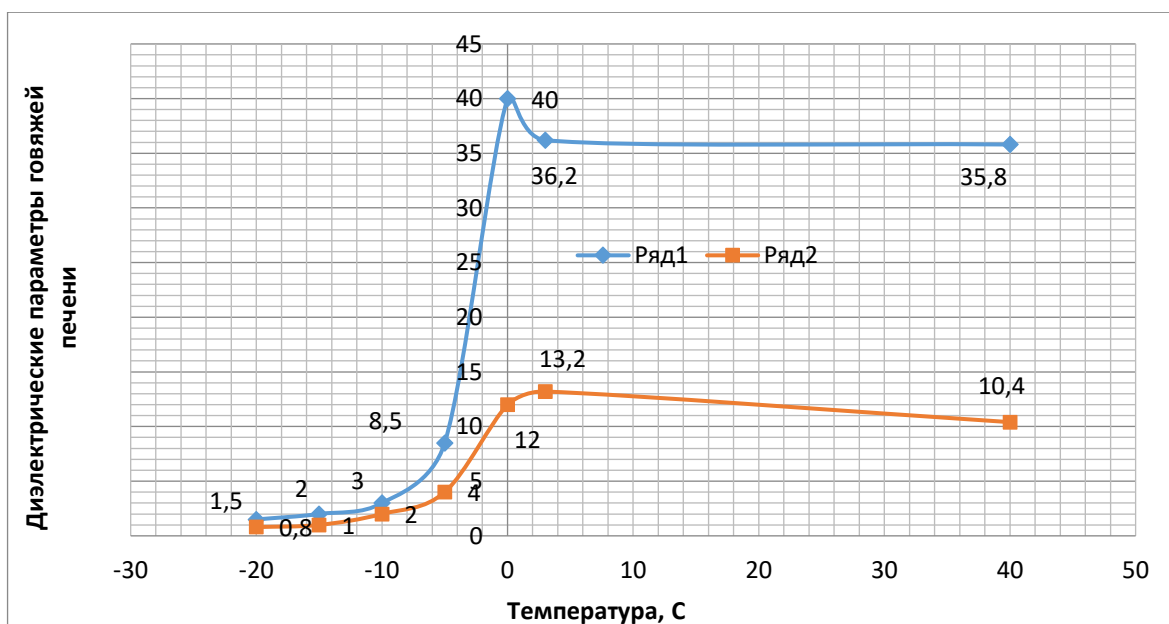


Рисунок 9.2 – Диэлектрические характеристики говяжьей печени в зависимости от температуры на частоте 2450 МГц (рис. 1-40, табл. 1-56, И.А. Рогов [200]), ряд 1 – диэлектрическая проницаемость, ряд 2 – фактор потерь

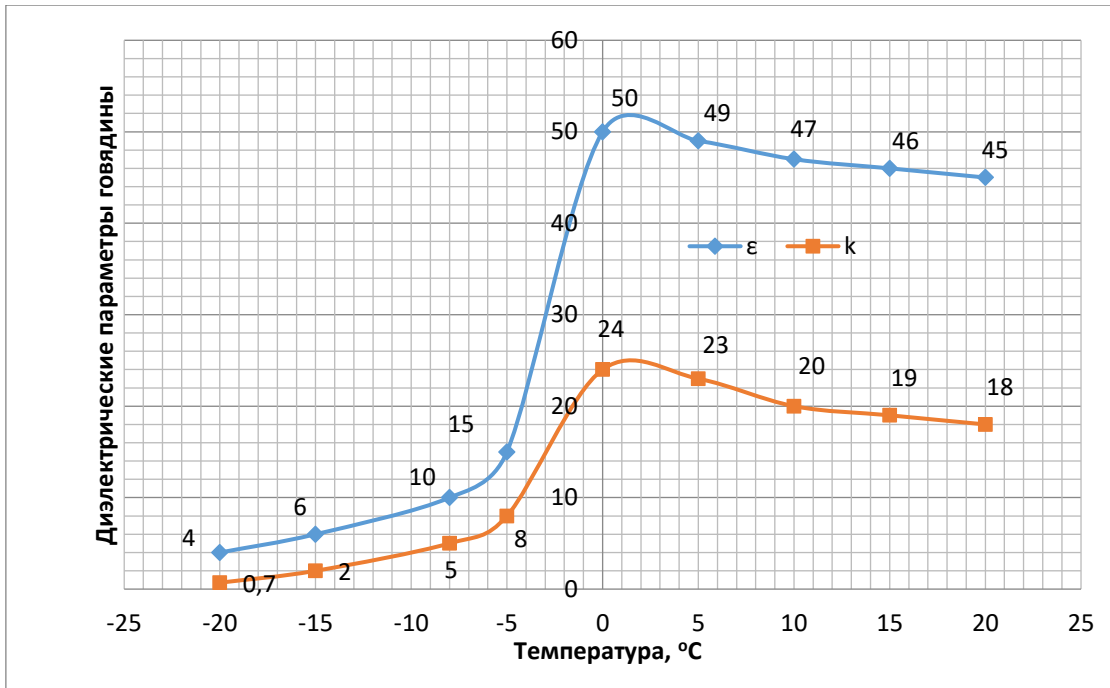


Рисунок 9.3 – Диэлектрические характеристики мышечной ткани говядины в зависимости от температуры на частоте 2400 МГц (рис. 1-38, табл. 1-56, И.А. Рогов [200])

Такое уменьшение величины диэлектрической проницаемости ϵ и фактора потерь k в области отрицательных температур объясняется изменением агрегатного состояния воды (рис. 9.4). Характер изменения диэлектрических характеристик *любого замороженного сырья* в интервале $-20 \dots 0$ °C подобен изменению диэлектрических характеристик льда в том же температурном диапазоне (из А. И. Рогова, стр. 72) [200]. Различие заключается в том, что влага в сырье представляет собой раствор различных солей с температурой замерзания ниже нуля. При понижении температуры сырья часть воды из раствора вымерзает, и его концентрация повышается, соответственно понижается температура замерзания раствора.

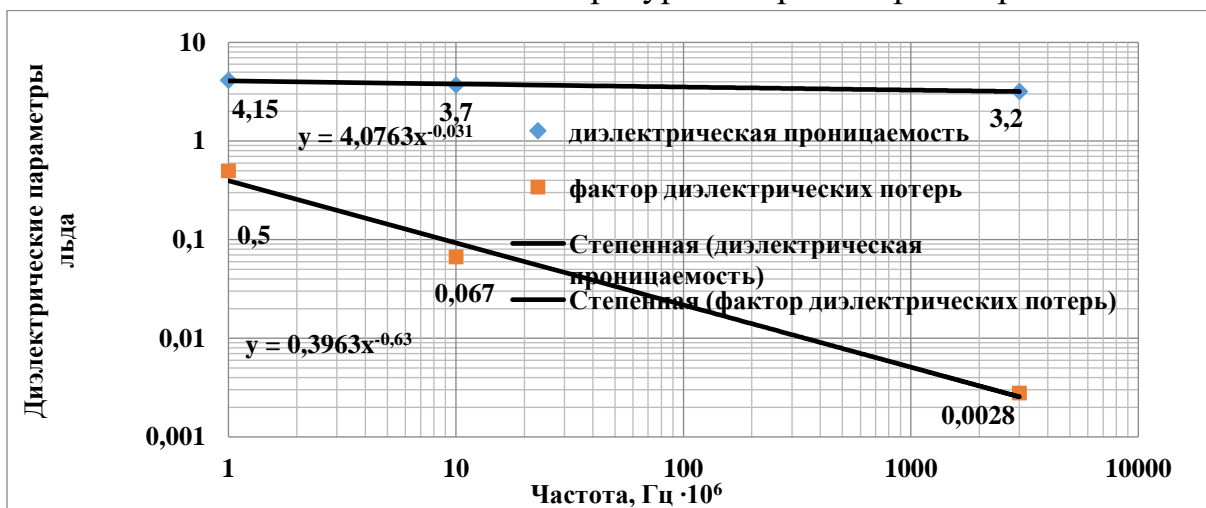


Рисунок 9.4 – Диэлектрические параметры водяного льда (-2 °C) от частоты ЭМП

Диэлектрическая проницаемость **крови** при частоте 2450 МГц равна 60 (рис. 9.5).

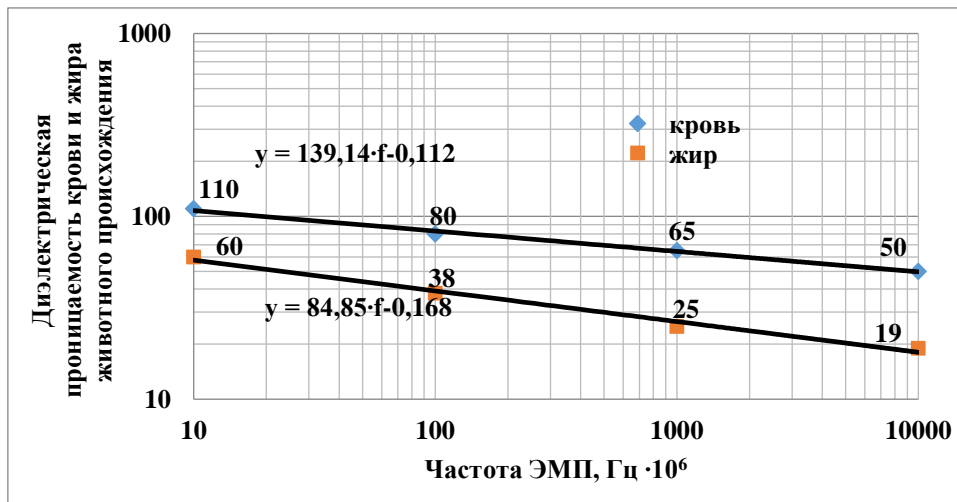


Рисунок 9.5 – Диэлектрические параметры крови (синим цветом) и жира животного происхождения (красным цветом) от частоты ЭМП при температуре $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$

релаксация полярных молекул воды еще не возникает. В этом частотном диапазоне электрофизические свойства тканей с высоким содержанием воды обусловлены средой с суспендированными в ней белковыми молекулами, обладающими более низким значением *диэлектрической проницаемости*.

Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости [200]:

$$(1/\varepsilon) \cdot (d\varepsilon/dT) = [(\varepsilon - 1) \cdot (\varepsilon + 2) / 3 \cdot \varepsilon] \cdot (1/\rho) \cdot (d\rho/dT).$$

В процессе замораживания сырья диэлектрическая проницаемость и фактор диэлектрических потерь (рис. 9.6) резко уменьшаются, максимальных значений достигают при температуре $0-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, в интервале температур 0 до $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ диэлектрическая проницаемость уменьшается с 52 до 8-10, фактор диэлектрических потерь с 24 до 4-5. При дальнейшем снижении температуры сырья до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ диэлектрическая проницаемость снижается до 2, а фактор диэлектрических потерь до 0,7-1,5. Такое уменьшение диэлектрической проницаемости и фактора потерь в области отрицательных температур объясняется изменением агрегатного состояния воды. Характер изменения диэлектрических характеристик сырья в отрицательном интервале температур подобен изменению характеристик льда в том же температурном диапазоне. Различие заключается в том, что влага в сырье представляет собой раствор различных солей с температурой замерзания ниже нуля. При этих частотах влияние клеточных мембран уже не сказывается (становятся

короткозамкнутыми), а релаксация полярных молекул воды еще не возникают.

Анализ диэлектрических параметров замороженных субпродуктов [200]

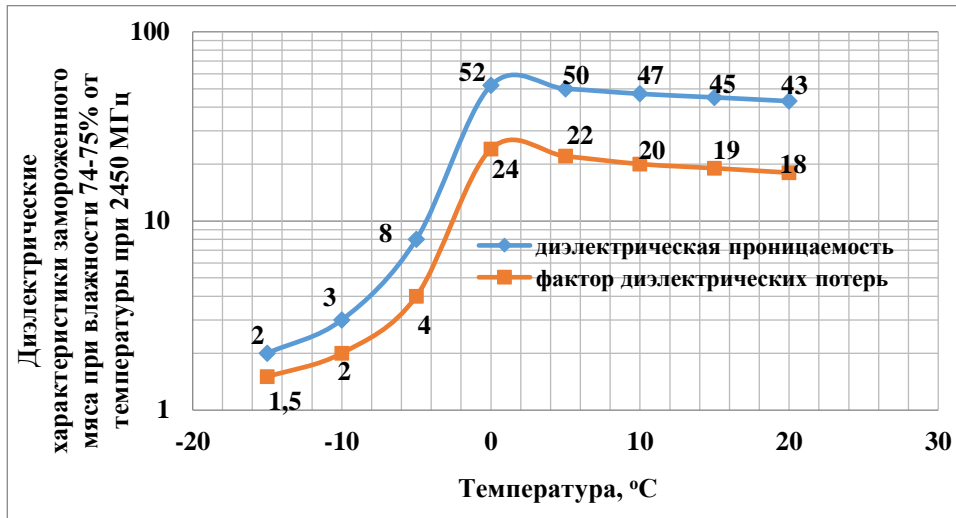
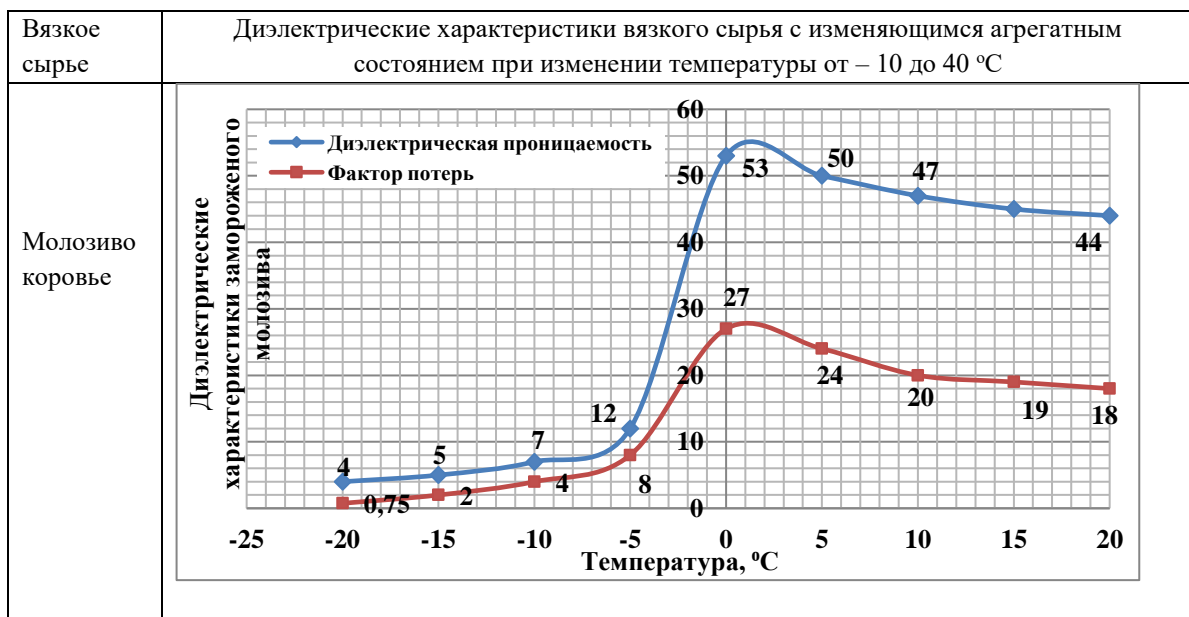
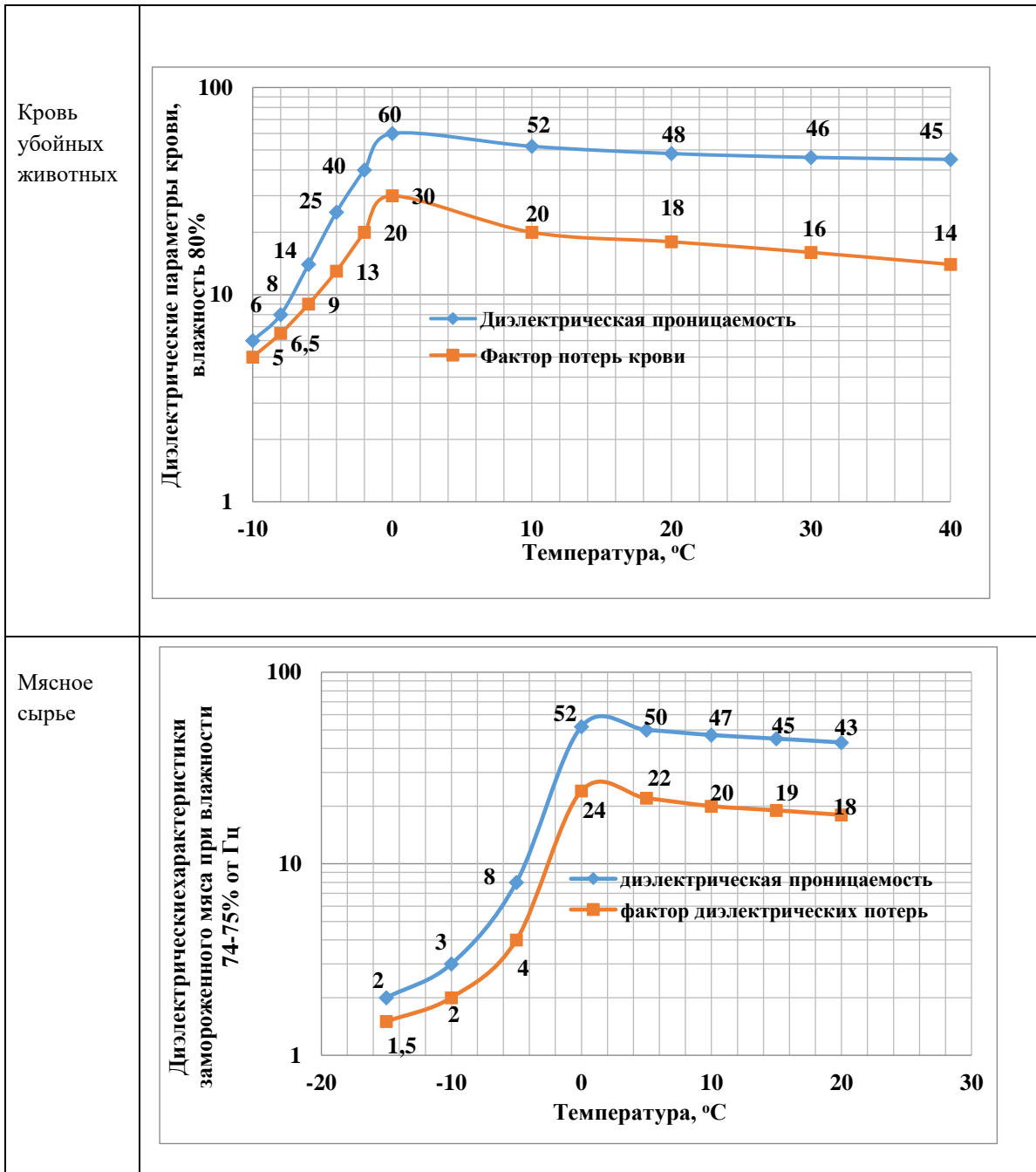


Рисунок 9.6 – Зависимость диэлектрических характеристик от температуры мясного сырья при частоте 2400 МГц

Удельная теплоемкость крови равна 3,88 кДж/(кг · °C), а замороженной крови – 2050 Дж/(кг · °C), теплопроводность крови при температуре 30°C равна 0,478 Вт/(м · °C), а температуропроводность при той же температуре – $12,4 \cdot 10^{-3}$ м²/с [200]. Плотность крови КРС 1050-1060 кг/м³, замороженной крови 917 кг/м³. Диэлектрические параметры вязкого сырья животного происхождения (теоретические исследования) также приведены на рис. 9.7-9.10.





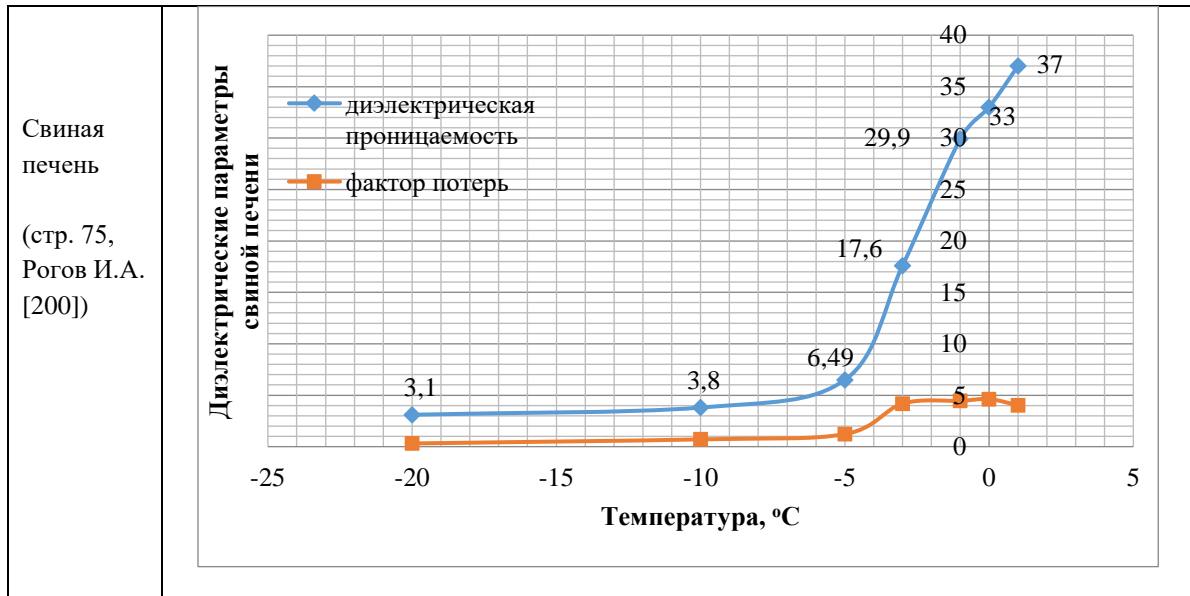


Рисунок 9.7 – Изменение диэлектрических параметров вязкого сырья от температуры: 1) коровье молозиво; 2) мясное сырье; 3) свиная печень [200]

Диэлектрические характеристики говяжьих почек от температуры при частоте 2400 МГц представлены на рисунке 9.8, говяжьего языка – на рисунке 9.9 (стр. 76, И. А. Рогов [200]).

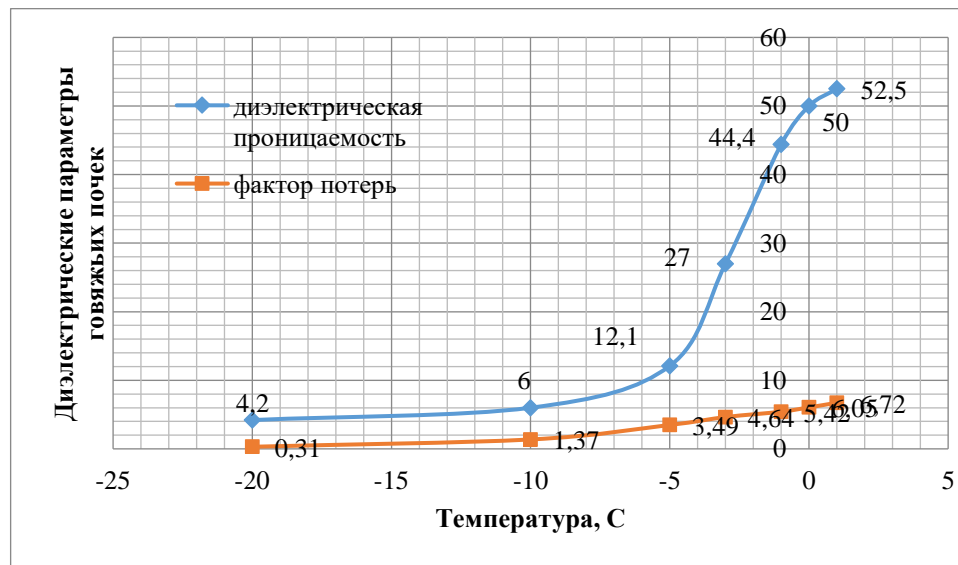


Рисунок 9.8 – Диэлектрические параметры *говяжьих почек* от температуры при частоте 2400 МГц

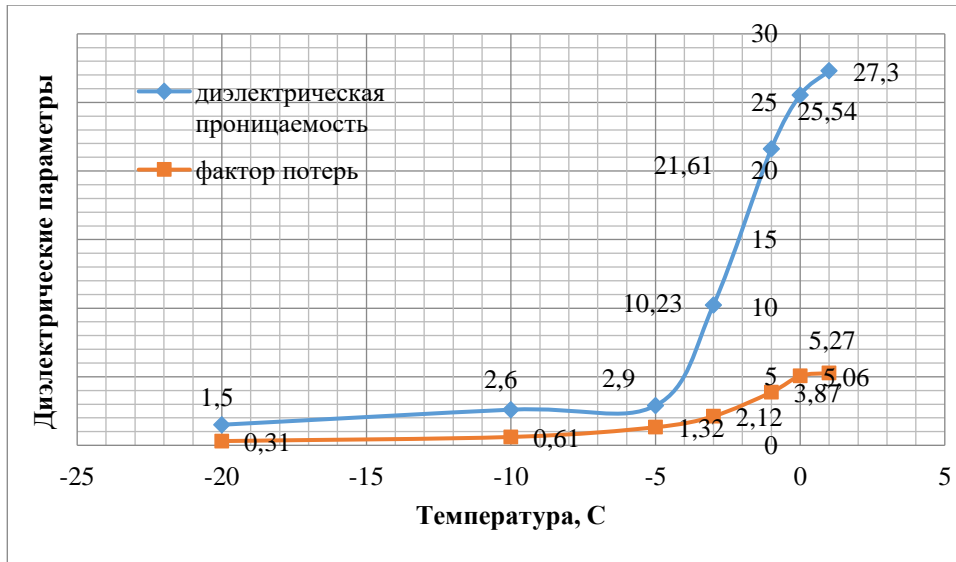


Рисунок 9.9 – Диэлектрические параметры *говяжьего языка* от температуры при частоте 2400 МГц

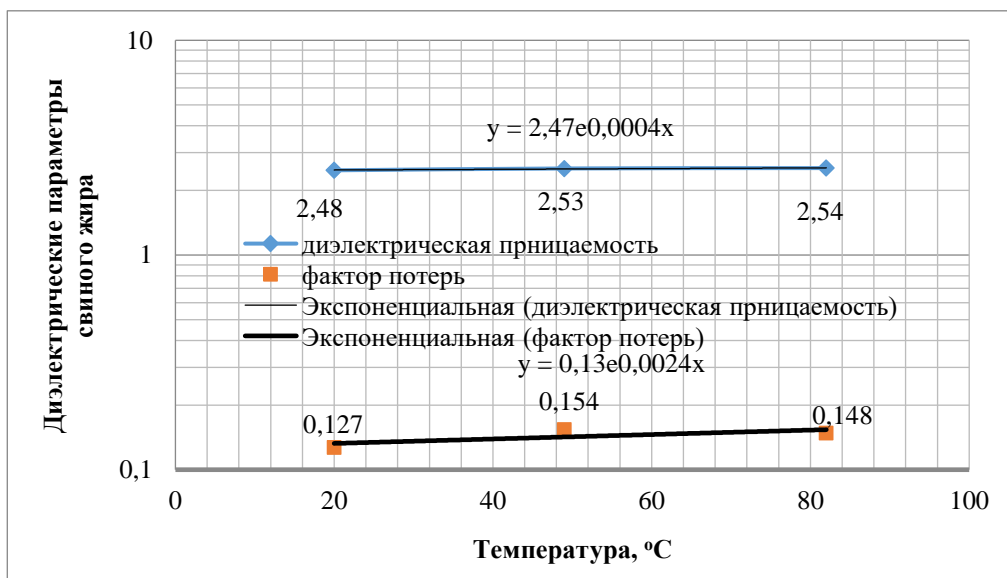


Рисунок 9.10 – Диэлектрические параметры *свиного жира* от температуры при частоте 2400 МГц

При отрицательных температурах в процессе дефростации диэлектрические характеристики повышаются, а при положительной температуре, т.е. в процессе разогрева сырья, их фактор диэлектрических потерь уменьшается.

Динамика размораживания.

Исследуемое сырье – кровь убойных животных

Аналогичные исследования проведем для размораживания крови убойных животных с учетом изменения диэлектрических параметров крови убойных животных в зависимости от температуры (рис. 9.11, 9.12).

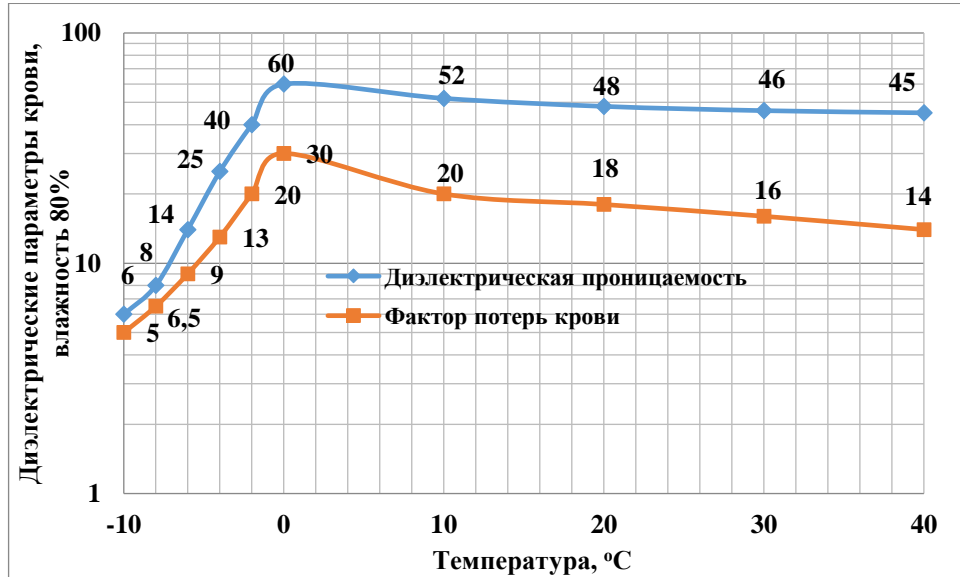


Рисунок 9.11 – Изменения фактора диэлектрических потерь замороженной крови убойных животных в зависимости от температуры

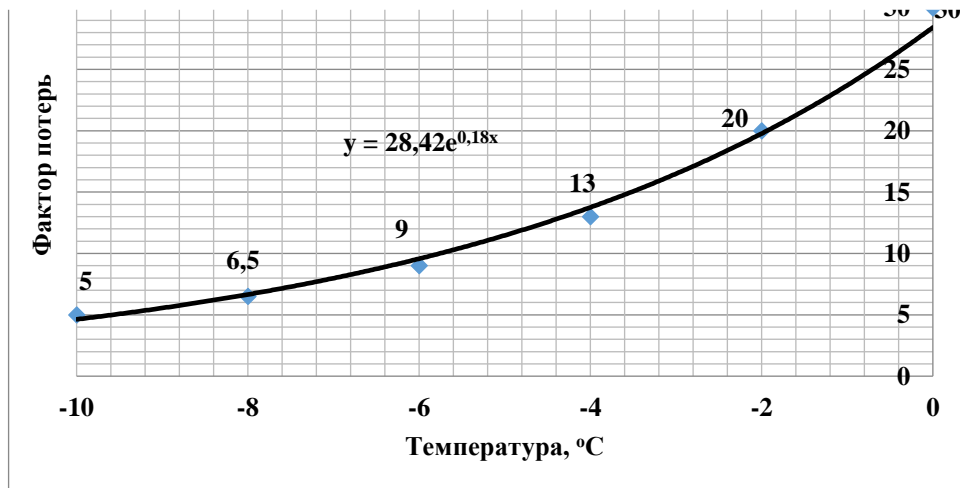


Рисунок 9.12 – Изменения фактора диэлектрических потерь замороженной крови убойных животных в зависимости от температуры

При напряженности 1,2 кВ/см

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot (1,2 \cdot 10^3)^2 \quad (-10 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$= 9790 \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 13 \cdot (1,2 \cdot 10^3)^2 \quad (-4 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$= 25454 \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot (1,2 \cdot 10^3)^2 \quad (-2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$= 39168 \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 30 \cdot (1,2 \cdot 10^3)^2 \quad (-0,5 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$= 58741 \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

При напряженности 0,6 кВ/см

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot (0,6 \cdot 10^3)^2 \quad (-10 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$= 2447 \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 13 \cdot (0,6 \cdot 10^3)^2 \quad (-4 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$= 6363 \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot (0,6 \cdot 10^3)^2 \quad (-2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$= 9790 \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

$$P_{y\partial} = 5,55 \cdot 10^{-11} \cdot f \cdot k \cdot E^2 = 0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 30 \cdot (0,6 \cdot 10^3)^2 \quad (-0,5 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$= 14685 \text{ Вт} / \text{м}^3.$$

Графики удельной мощности, выделяемой в единице объема крови убойных животных в зависимости от его температуры при разных напряженностях ЭП, приведены на рис. 9.13.

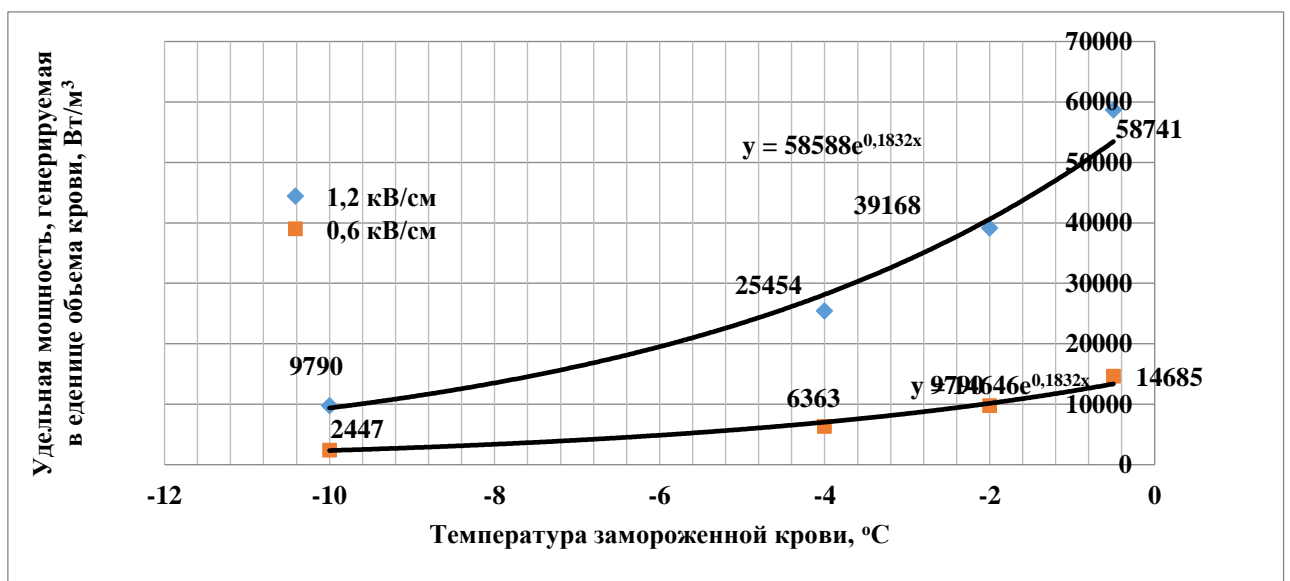


Рисунок 9.13 – Удельная мощность, выделяемая в единице объема крови в зависимости от его температуры при разных напряженностях ЭП: 0,6 кВ/см; 1,2 кВ/см

Известно, что удельная теплоемкость крови равна 3,88 кДж/(кг · °С), а замороженной крови 2050 Дж/(кг · °С), теплопроводность крови при температуре 30°С равна 0,478 Вт/(м · °С), а температуропроводность при той же температуре $12,4 \cdot 10^{-3}$ м²/с. Плотность крови КРС 1050-1060 кг/м³, замороженной крови 917 кг/м³. Вычислим продолжительность размораживания крови убойных животных:

$$\tau = \frac{T \cdot \rho \cdot C}{P_{y\delta} \cdot \eta} = \frac{T \cdot 917 \cdot 2050}{P_{y\delta} \cdot 0,76} = 2,47 \cdot 10^6 \cdot \frac{T}{P_{y\delta}}. \quad (9.1)$$

$$\tau = 2,47 \cdot 10^6 \cdot T / P_{y\delta} = 2,47 \cdot 10^6 \cdot 2,5 / 14685 = 420 \text{ с} = 7 \text{ мин. (если 1,2 кВ/см)}$$

$$\tau = 2,47 \cdot 10^6 \cdot T / P_{y\delta} = 2,47 \cdot 10^6 \cdot 2,5 / 58741 = 105 \text{ с} = 1,75 \text{ мин. (если 1,2 кВ/см)}.$$

Результаты теоретических исследований показывают, что полное размораживание крови при напряженности электрического поля 0,6 кВ/см возможно за 7 мин., если генерируется удельная мощность в единице объема сырья 15000 Вт/м³. При напряженности ЭП 1,2 кВ/см и удельной мощности 59000, продолжительность размораживания сократиться до 1,75-2 мин. При этом удельная мощность генератора 2400-2550 Вт.

Результаты оценки преимущества разработанной СВЧ технологии переработки сырья по сравнению с базовыми способами

Технология переработки *вязкого сырья* животного происхождения (крови, жиродержащего сырья) включает: тепловую обработку (коагуляция, варка, стерилизация и вытопку); отделение жидкой фазы от массы. Для выполнения этих операций применяют отдельные размораживатели. Процессы переработки такого вязкого сырья энергоемкие. Режимы технологических процессов и конструкции установок определяются электромеханическими свойствами сырья и видом конечной продукции. Вязкость сырья влияет на коэффициент объемного заполнения рабочего органа.

Известны дефростеры и технологии для переработки *замороженного* мягкого жиродержащего сырья и замороженной крови убойных животных. Технология включает измельчение способом дробления и тепловую обработку для вытопки жира, а крови – для коагуляции белковой фракции.

Для извлечения жира из сырья при низких температурах используют электроимпульсную обработку. Тепловую обработку проводят при непосредственном контакте сырья с горячей водой или паром, а также теплота подводится кондуктивным методом (через стенку от горячей воды). Качество вытопленного жира и уничтожение патогенной микрофлоры зависит от температуры, продолжительности и способа тепловой обработки [114, стр. 322].

Удельная теплота (q , Дж/кг), необходимая для обработки вязкого сырья идет на нагрев, денатурацию белка, испарение влаги:

$$q = c_n \cdot (T_{пл} - T_n) + b_{жс} \cdot r_{жс} + c_k \cdot (T_k - T_{пл}) + a \cdot (T_k - T_n) + b \cdot r_b, \quad (9.2)$$

где c_n , c_k – теплоемкость сырья до и после плавления сырья, Дж/кг·°С;
 T_n , $T_{пл}$, T_k – температура сырья начальная, плавления сырья, конечная, С;
 $b_{ж}$ – массовая доля жира в сырье, кг/кг; $b_{жс}$ – массовая доля испарившейся воды, кг/кг; $r_{ж}$ – скрытая теплота плавления жира, Дж/кг (121-151 Дж/кг); r_b – скрытая теплота испарения воды, Дж/кг; a – энергия, идущая на денатурацию белка при изменении его температуры на 1 °С, Дж/кг·°С. ($a = 0,84-1,26$ Дж/кг·°С); теплоемкость жира до плавления $c_n = (1,3-3) \cdot 10^3$ Дж/кг·°С, после плавления $c_k = (1,3-3) \cdot 10^3$ Дж/кг·°С; скрытая теплота испарения воды $r_b = (2480-2,27 T) \cdot 10^3$ Дж/кг; T – температура испарения воды, °С.

Из формулы видно, что удельная теплота не зависит от способа подвода энергии, но продолжительность достижения необходимых температур в сырье определяется характеристиками процесса: видом подвода энергии; интенсивностью переноса теплоты и массы; соотношением объема, площади поверхности, размера сырья и его электрофизических параметров. Интенсифицировать процесс теплообмена можно, повышая температуру теплопередающей среды (до 120-130 °С), изменяя условия теплообмена, увеличивая поверхности передачи теплоты при постоянной массе сырья. Например, дробление замороженного сырья (25-30 мм) ускоряет внутренний перенос теплоты теплопроводностью. Дробить замороженное сырье можно до нагрева или совмещать с процессом нагрева, как например в плавителе жира АВЖ. Для тепловой коагуляции крови убойных животных существуют шнековые и пароконтактные установки. При размораживании теплофизические параметры вязкого сырья существенно изменяются. Поэтому продолжительность процесса размораживания и нагрева необходимо определить для двух фаз: 1) τ_1 – продолжительность нагрева до полного размораживания сырья; 2) τ_2 – продолжительность нагрева до конечной температуры сырья. Эти значения можно определить по критериальным соотношениям (методика Ивашова В. И):

$$\tau_1 = Fo_1 \cdot l_1^2 / a_1; \quad \tau_2 = Fo_2 \cdot l_2^2 / a_2, \quad (9.3)$$

где Fo_1, Fo_2 – критерии Фурье для первой и второй фаз нагрева сырья; l_1, l_2 – определяющие размеры частиц, м; a_1, a_2 – коэффициенты температуропроводности, м²/с.

Например, для жира свиного первой фазы $a_1 = (4,4-5) \cdot 10^{-8}$ м²/с, а для второй фазы $a_2 = (1,7-1,9) \cdot 10^{-6}$ м²/с. Численные значения критерия Фурье находят через критерий «Био», коэффициенты теплоотдачи (Вт/м²·°С) и теплопроводности сырья (Вт/м·°С). Коэффициенты теплопроводности жира свиного для первой фазы 0,186 Вт/м·°С, для второй – 0,58 Вт/м·°С.

При нахождении продолжительности процесса (τ) по темпу нагрева (m , 1/с) процесс также должен быть разделен на фазы: $\tau = \ln \theta_i / m_i$. Темп нагрева вязкого сырья по фазам: $m_i = \psi \cdot \alpha \cdot F / (c \cdot \rho \cdot V)$, (9.4)

где ψ – коэффициент неравномерности температурного поля; F – площадь поверхности теплообмена, м²; c – удельная теплоемкость вязкого сырья, Дж/кг·°С; V – объем материала, м³.

Коэффициент неравномерности температурного поля зависит от величины критерия «Био» по следующей эмпирической зависимости $\Psi = 0,981 \cdot e^{-0,128 \cdot x}$ (рис. 9.14).

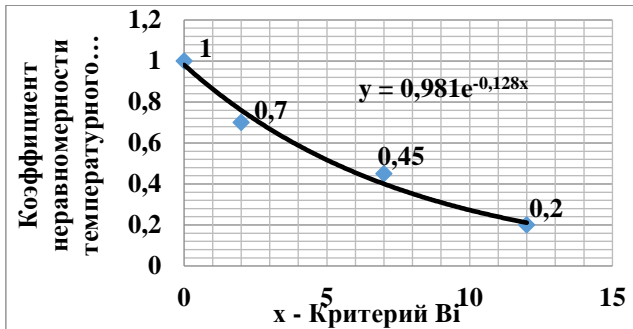





Рисунок 9.14 – Зависимость коэффициента неравномерности температурного поля от критерия

Величина темпа нагрева зависит от условий теплообмена и формы замороженного вязкого сырья. Если замороженное вязкое сырье имеет формы:

- цилиндра радиусом R и длиной l , то $m = 2 \cdot \psi \cdot \alpha / (c \cdot \rho \cdot R) \cdot (1 + R/l)$;
- плиты толщиной l , обогреваемой с двух сторон, то $m = 2 \cdot \psi \cdot \alpha / (c \cdot \rho \cdot l)$;
- шара радиусом R , то $m = 3 \cdot \psi \cdot \alpha / (c \cdot \rho \cdot R)$. (9.5)

При рассмотрении процесса разрушения жировых клеток и выделения жира из сырья путем *эндогенного нагрева*, продолжительность обработки уточняли по результатам экспериментальной проверки с учетом требований технологии. Установлено, что при размораживании сырья и вытопке жира с перемешиванием толстого слоя, эффективность диэлектрического нагрева ниже, чем при перемешивании дробленного в соответствии с глубиной проникновения сырья. При использовании существующих технологий после тепловой обработки вязкого сырья получают неоднородные дисперсные системы, состоящие из двух фаз. В жидкой неоднородной среде (в суспензии) могут быть вода, расплавленный жир, белковые ткани, шквара. Для разделения неоднородных систем используют процессы фильтрации, центрифугирования. В разработанных СВЧ-размораживателях по мере размораживания дробленного вязкого сырья (крови, жиросодержащего сырья) происходит фильтрация жидкой части суспензии, как только происходит изменение агрегатного состояния. Отфильтрованная часть суспензии окажется во втором резонаторе, где по мере необходимости поддержания температуры вытопленного жира можно включить генераторы на определенную мощность.

Хронометраж дефростации и разогрева вязкого сырья животного происхождения при мощности генератора 800 Вт приведен на рис. 9.15.

Хронометраж замораживания, дефростации и разогрева <i>крови свиной</i>			
<p>Сырье до и после замораживания в бутылке</p>  <p>объемом 0,5 л до температуры $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$</p>		<p>Продолжительность воздействия ЭМП СВЧ 2 мин., температура поверхности крови (Т) $6\text{ }^{\circ}\text{C}$</p> 	
<p>$\tau=4$ мин., $T=13\text{ }^{\circ}\text{C}$</p> 	<p>$\tau=5$ мин., $T=18\text{ }^{\circ}\text{C}$</p> 	<p>$\tau=5,5$ мин., $T=21\text{ }^{\circ}\text{C}$</p> 	<p>$\tau=6$ мин., $T=26\text{ }^{\circ}\text{C}$</p> 
<p>$\tau=7$ мин., $T=38\text{ }^{\circ}\text{C}$</p> 	<p>$\tau=7,5$ мин., $T=42\text{ }^{\circ}\text{C}$, часть крови свернулась</p> 	<p>$\tau=9,5$ мин., $T=55\text{ }^{\circ}\text{C}$, большая часть крови свернулась</p> 	<p>свернувшаяся кровь</p> 























Хронометраж дефростации и разогрева <i>масла сливочного</i>				
замороженное сырье, T= -10 °C 	$\tau=0,5$ мин.,  T=20°C	$\tau=1$ мин.,  T=39°C	$\tau=1,5$ мин.,  T=50°C	разогретое сырье 
Хронометраж дефростации и разогрева <i>жира говяжьего</i>				
замороженное сырье, T= -10 °C 	$\tau=1$ мин., T=10°C 	$\tau=1,5$ мин., T=35°C 	$\tau=2$ мин., T=40°C 	$\tau=2,5$ мин., T=45°C 
$\tau=3$ мин., T=50°C 	$\tau=3,5$ мин., T=55°C 	$\tau=4$ мин., T=80°C 	разогретое сырье 	выделившийся жир 
Хронометраж замораживания, дефростации и разогрева <i>печени куриной</i>				
Сырье до замораживания и после замораживания до температуры -10°C 	$\tau=1$ мин., T=10 °C 	$\tau=2$ мин., T=20 °C 		
$\tau=3$ мин., T=30 °C 	$\tau=5$ мин., T=38 °C 	$\tau=6$ мин., T=55°C 	разогретый продукт 	

Рисунок 9.15 – Хронометраж дефростации и разогрева: крови убойных животных, при удельной мощности генератора 1,6 Вт/г; сливочного масла, жирностью 82,5 %, при удельной мощности генератора 4,4 Вт/г; печени куриной, при удельной мощности генератора 1,6 Вт/г; жира говяжьего, при удельной мощности генератора 1,6 Вт/г

Результаты исследований динамики диэлектрического нагрева вязкого сырья приведены на рис. 9.16.

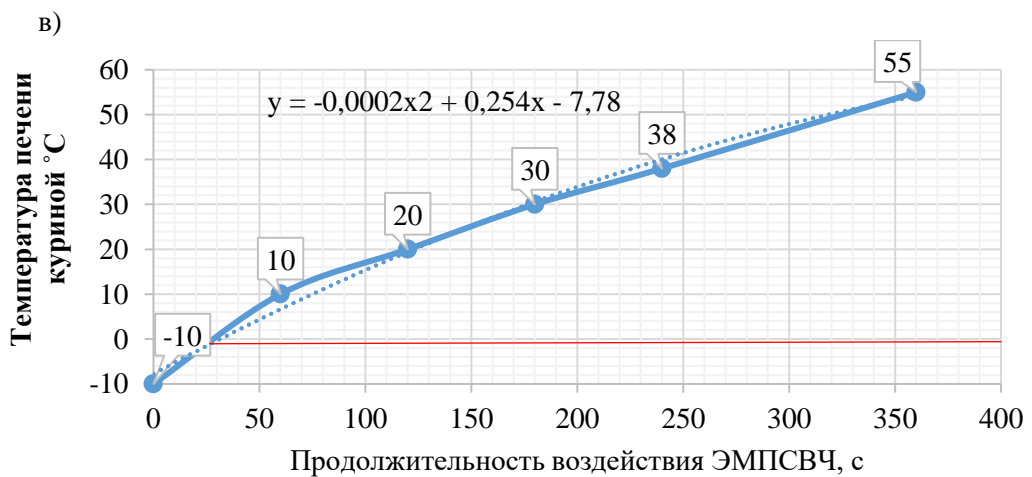
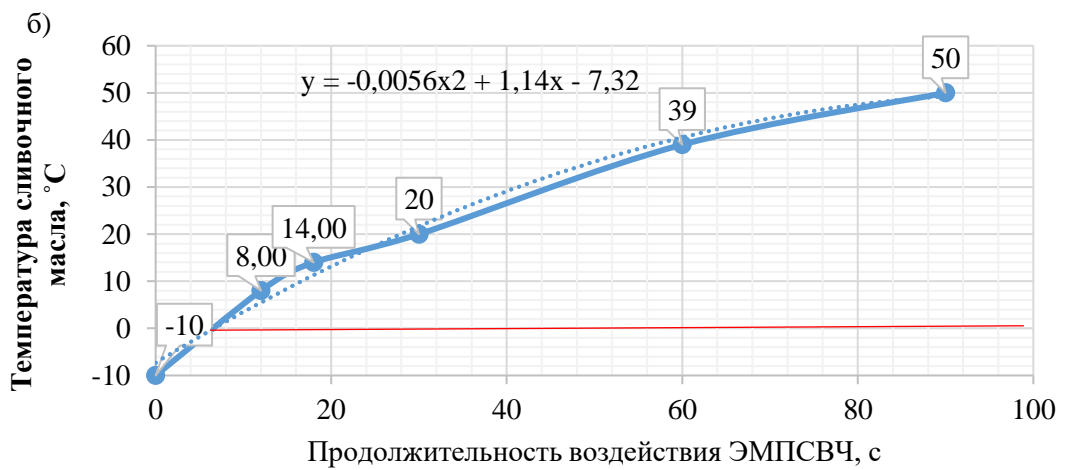
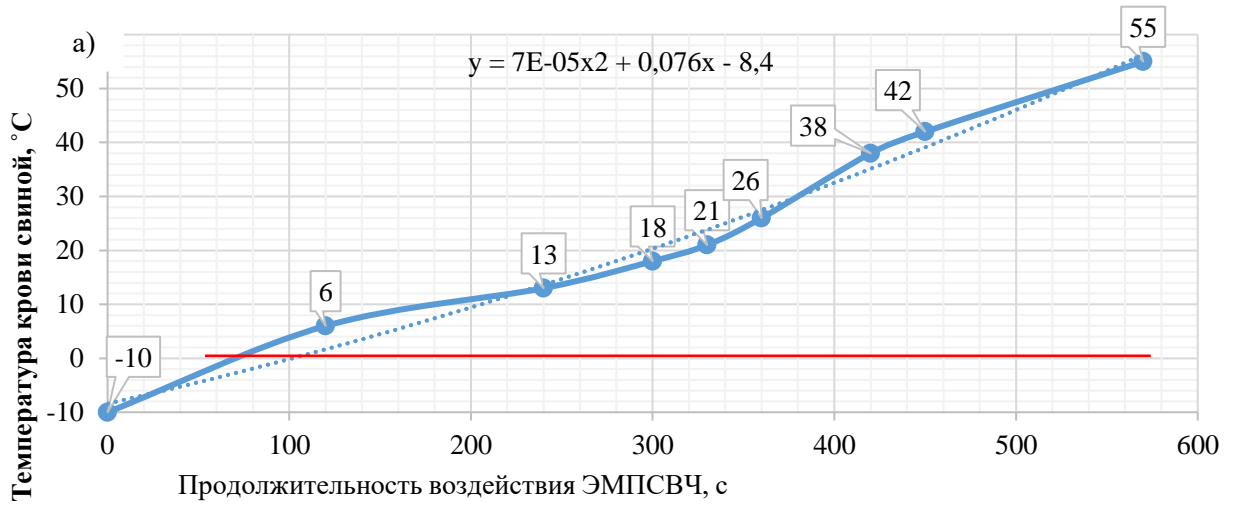




Рисунок 9.16 – Результаты экспериментальных исследований динамики диэлектрического нагрева: а) крови убойных животных, при удельной мощности генератора 1,6 Вт/г; б) сливочного масла, жирностью 82,5 %, при удельной мощности генератора 4,4 Вт/г; в) печени куриной, при удельной мощности генератора 1,6 Вт/г; г) жира говяжьего, при удельной мощности генератора 1,6 Вт/г

Результаты исследования показывают, что кровь убойных животных начинает переходить в жидкую фазу (размораживаться) при воздействии ЭМП СВЧ при удельной мощности генератора 1,6 Вт/г через 80-100 с; куриная печень – 25 с, говяжий жир – 20 с. Сливочное масло начинает переходить в жидкую фазу при воздействии ЭМП СВЧ при удельной мощности генератора 4,4 Вт/г через 7 с.

Технология размораживания крови должна быть аналогичной так и для молозива животных, для исключения коагуляции белка. СВЧ-размораживатель должен содержать вторую накопительную емкость без источников ЭМИ над объемным резонатором.

Проведен анализ диэлектрических параметров молозива (в ООО «СВВ») ГОСТ 20271.1-91 «Изделия электронные СВЧ методы измерения электрических параметров» волновым методом [284].

В результате эксперимента установлено, что фактор диэлектрических потерь замороженного сырья с **увеличением температуры** от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ **растет**, а при положительной температуре от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ **падает**.

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В РЕЗОНАТОРЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В КОАКСИАЛЬНОМ

РЕЗОНАТОРЕ СВЧ-РАЗМОРАЖИВАТЕЛЯ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ

[59, стр. 138]

Рассчитаем предельную энергию, накапливаемую в коаксиальном резонаторе на основном типе колебаний, с размерами $d = 0,86$ м; $D = 1,14$ м; $d_{\text{ср}} = 1,0$ м; $l = 0,355$ м. Максимально допустимая напряженность электрического поля в пустом резонаторе составляет 30 кВ/см. Электрическое поле основной волны в коаксиальном резонаторе имеет только радиальную составляющую:

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

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

$$W = \frac{\pi}{8} \cdot \varepsilon_a \cdot E_{\text{max}}^2 \cdot d^2 \cdot l \cdot \ln \frac{D}{d} = \frac{\pi}{8} \cdot 8,85 \cdot 10^{-14} \cdot (3 \cdot 10^4)^2 \cdot 86^2 \cdot 35,5 \cdot \ln \frac{114}{86} = 2,31 \text{ Дж}.$$

Максимальная напряженность электрического поля существует в середине резонатора, и она равна 1,2-1,5 кВ/см.

$$W = \frac{\pi}{8} \cdot \varepsilon_a \cdot E_{\text{max}}^2 \cdot d^2 \cdot l \cdot \ln \frac{D}{d} = \frac{\pi}{8} \cdot 8,85 \cdot 10^{-14} \cdot (1,5 \cdot 10^3)^2 \cdot 86^2 \cdot 35,5 \cdot \ln \frac{114}{86} = 5,78 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

Определим, какой тип колебаний в резонаторе является основным. В кольцевом резонаторе низшими типами являются колебания, имеющие наиболее простую структуру поля. Это основной тип колебания T_1 коаксиального резонатора и колебания E_{010} .

В коаксиальном резонаторе с указанными размерами, несколько раз превосходящими длину волны, существует много типов колебаний [202].

Это связано как с возможностью распространения различных типов волн, так как и с возможностью различного их направления по отношению к стенкам резонатора. Для обеспечения большей равномерности распределения электромагнитного поля в многомодовом резонаторе использовали ряд мер, которые привели к тому, что коэффициент равномерности ЭМП в резонаторе

равнялся 0,98. Наличие такого количества близких по частоте собственных мод приводит к перекрытию резонансных кривых отдельных мод. Это обеспечивает согласование генератора с резонатором. Чтобы возбудить в резонаторе необходимые виды колебаний с помощью прямоугольного волновода, ввод электромагнитной энергии следует разместить в области пучности магнитного поля соответствующей моды. Для увеличения числа возбуждаемых мод необходимо увеличить число вводов от трех магнетронов. В результате суммарная СВЧ мощность в резонаторе составляет $(800 \dots 850 \text{ Вт}) \cdot 3 = 2400 \dots 2550 \text{ Вт}$. Для повышения равномерности распределения суммарного ЭМП в резонаторе можно использовать разные способы. Существенное увеличение равномерности нагрева сырья возможно при использовании для возбуждения резонатора нескольких магнетронов. Размеры коаксиального резонатора позволяют размещать в ней одновременно до 28 бутылок с замороженным сыром. При такой нагрузке режим работы резонатора дает возможность в течение 1 часа размораживать 15 л молозива. При большой нагрузке добротность резонатора падает, и согласование ввода энергии с резонатором облегчается, а равномерность нагрева определяется способом перемещения сырья. Если линейные размеры резонатора во много раз превышает длину волны 12,24 см, то в резонаторе можно возбудить несколько собственных видов колебаний, имеющих различное расположение узлов и пучностей электрического поля, что приводит к существенному увеличению равномерности нагрева сырья. Для предотвращения перекачивания энергии из одного ввода (магнетрона) в другой следует располагать излучатели вблизи узла магнитного поля вида колебаний, возбуждаемого другим вводом. Для правильного выбора месторасположения вводов электромагнитной энергии в резонатор рассматривали распределение тангенциальной составляющей магнитного поля на стенке резонатора $x = 0$.

Для колебаний типа E : $H_x = 0$, $H_y = \sin(n \cdot \pi \cdot y/b) \cdot \cos(1 \cdot \pi \cdot z/c)$, $H_z = 0$;

Для колебаний типа H :

$$H_x = 0, H_y = [p \cdot m \cdot \pi^2 \cdot \sin(n \cdot \pi \cdot y/b) \cdot \cos(1 \cdot \pi \cdot z/c) / b \cdot c] / [(2 \cdot \pi / \lambda)^2 - m \cdot n / c]^2,$$

$$H_z = \cos(1 \cdot \pi \cdot y/b) \cdot \sin(m \cdot \pi \cdot z/c).$$

Из формул видно, что ввод энергии, в котором существует только компонента магнитного поля (прямоугольный волновод на волне H_{10}), может возбуждать в резонаторе колебания типа E и H . При этом вдоль оси Z резонатора возбуждаются колебания только типа H .

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

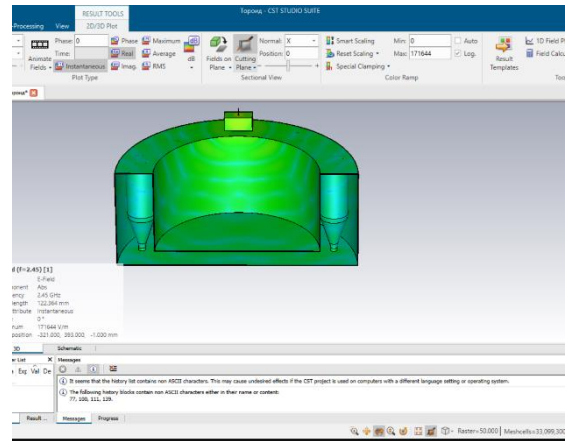
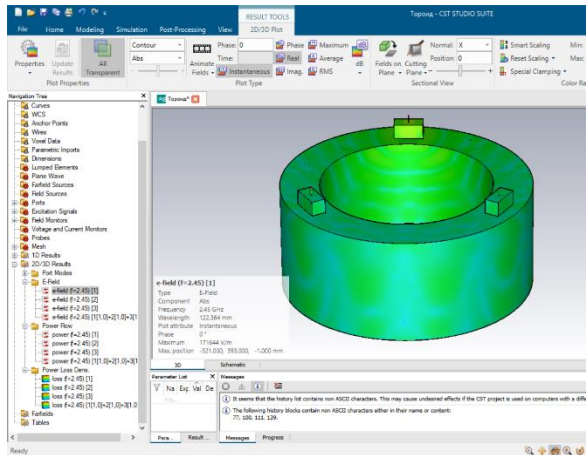
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ СТРУКТУР ЭМП В КОАКСИАЛЬНОМ И КОНИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРАХ СВЧ- РАЗМОРАЖИВАТЕЛЯ МОЛОЗИВА ЖИВОТНЫХ С НАГРУЗКОЙ

Из моделирования трехмерных структур электромагнитного поля (ЭМП) в коаксиальном резонаторе СВЧ-размораживателя молока животных с нагрузкой видно, что напряженность электрического поля достигает 1,7 кВ/см в кольцевом пространстве, при этом желтым цветом отмечено распределение ЭМП.

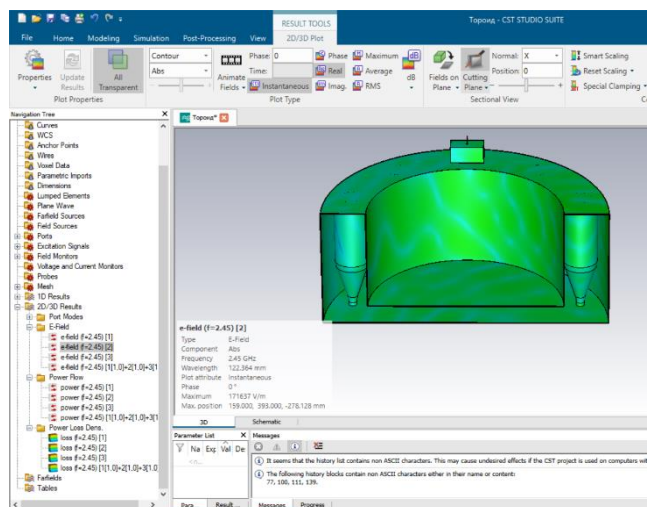
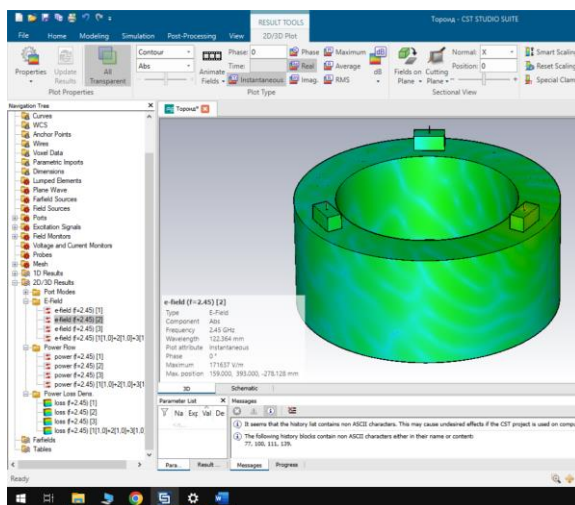
E-FIELD.

КОАКСИАЛЬНЫЙ РЕЗОНАТОР

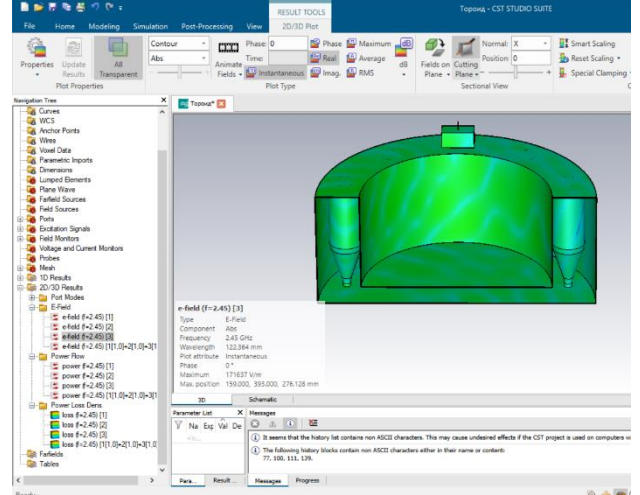
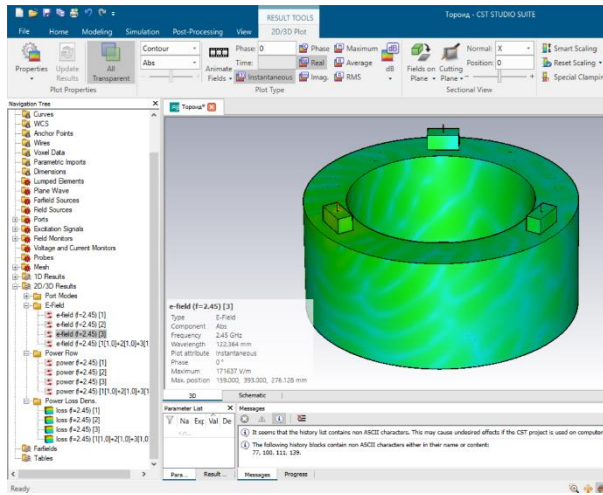
Первый генератор



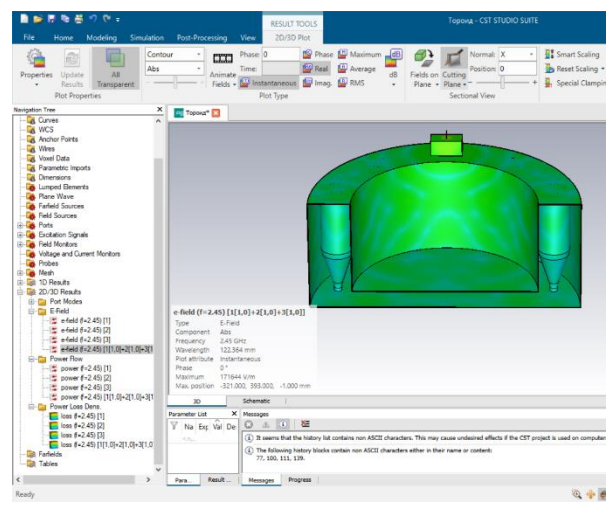
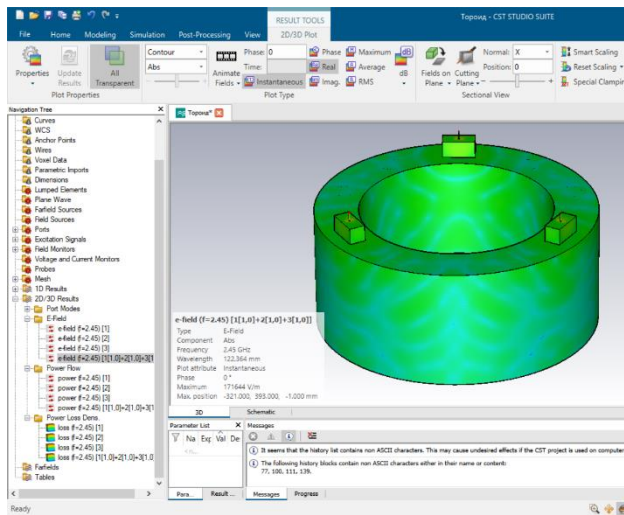
Второй генератор



Третий генератор

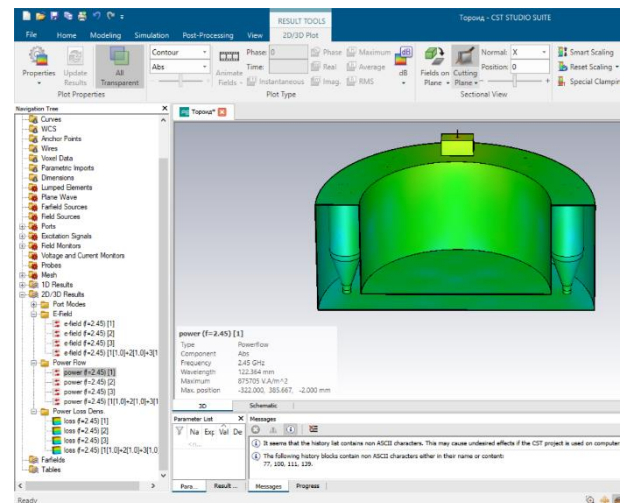
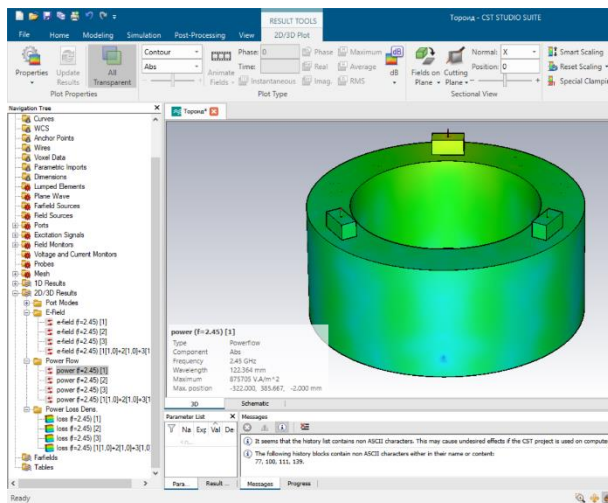


Три генератора

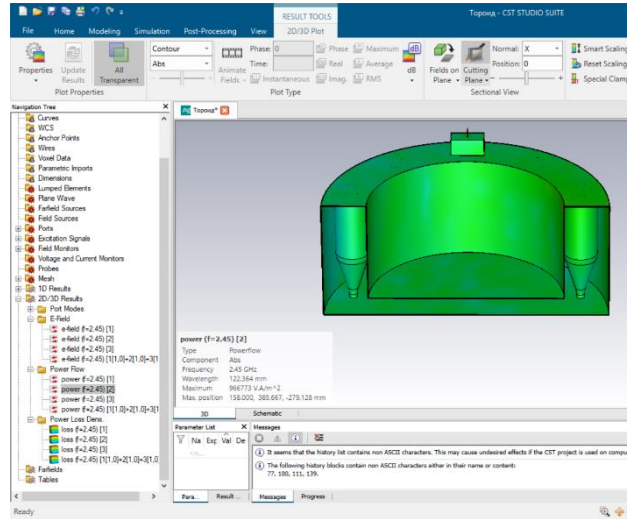
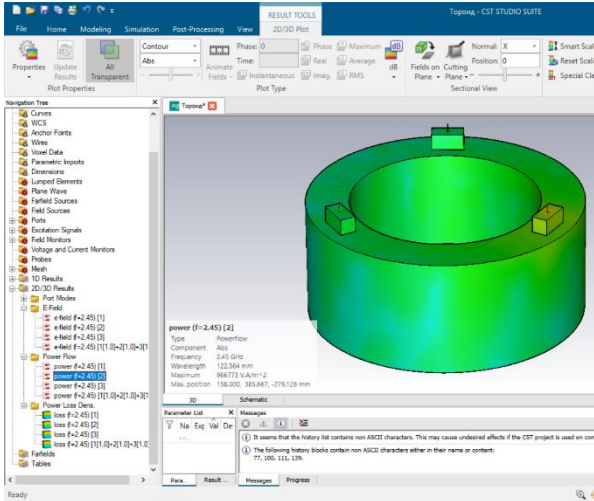


POWER FLOW

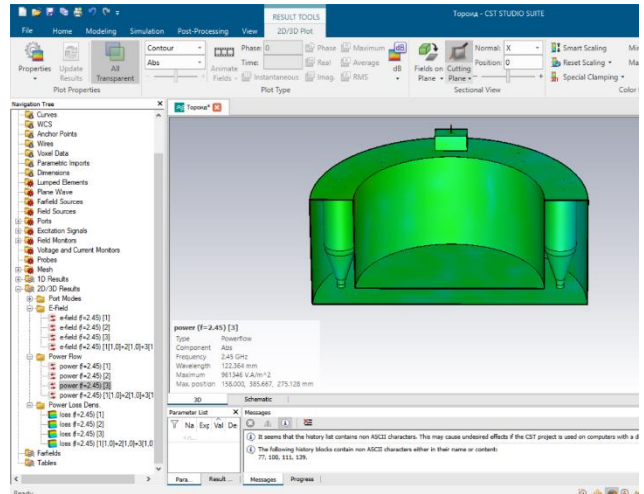
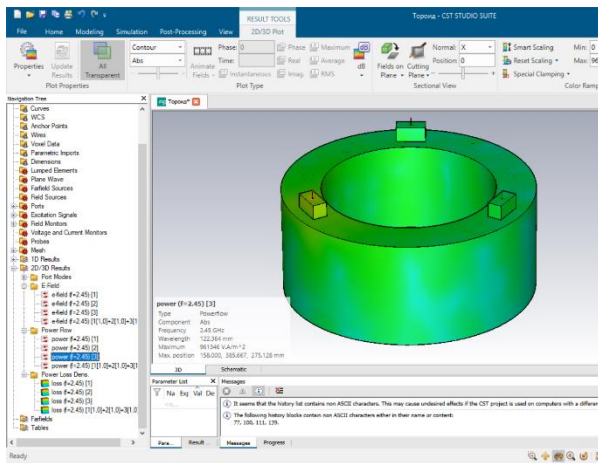
Первый генератор



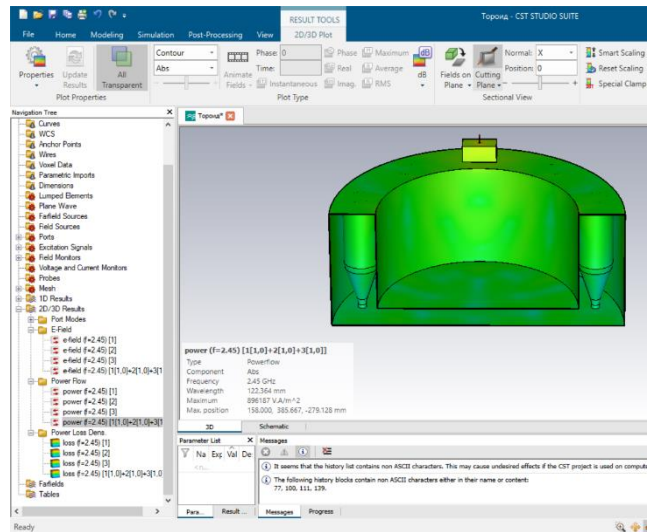
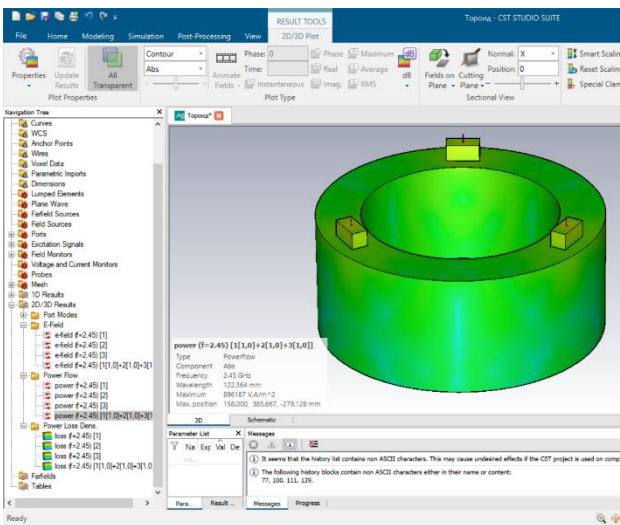
Второй генератор



Третий генератор

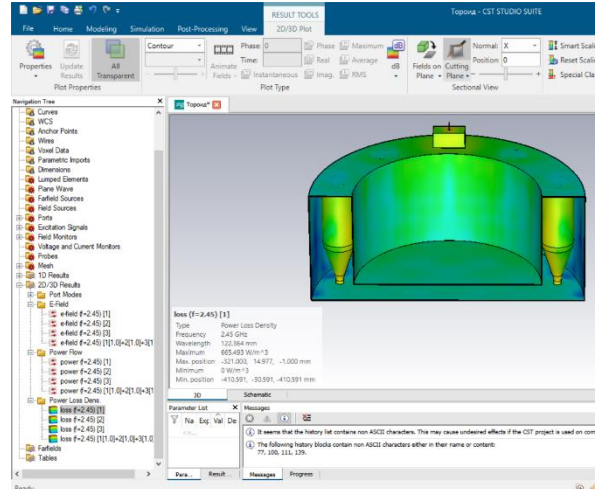
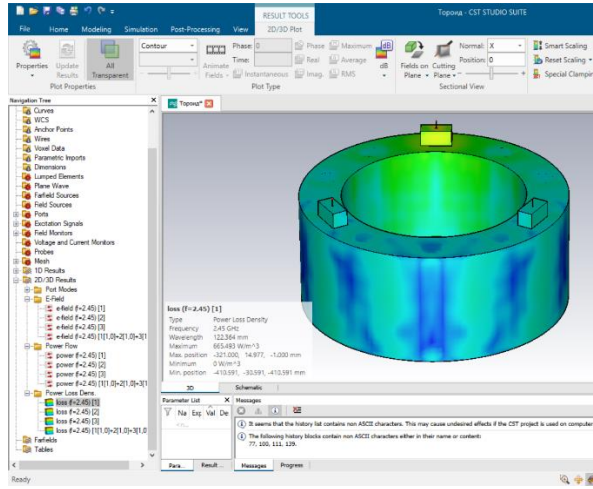


Три генератора

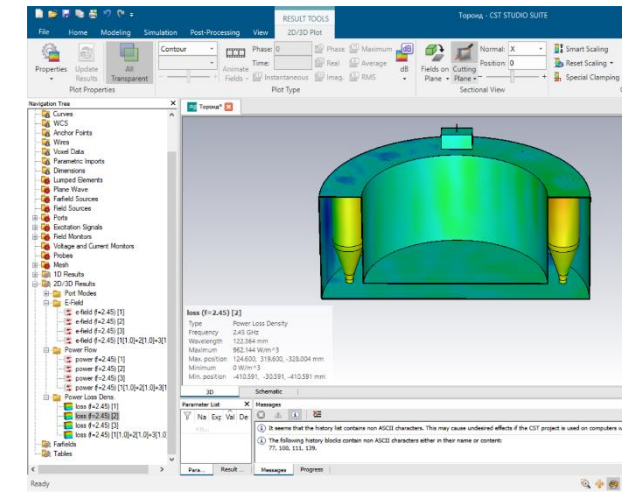
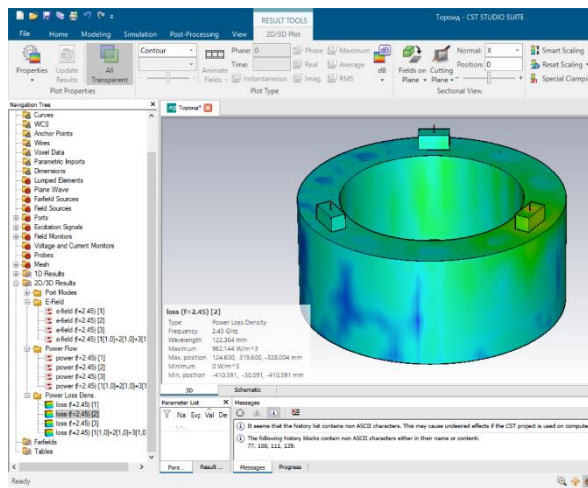


POWER LOSS DENS.

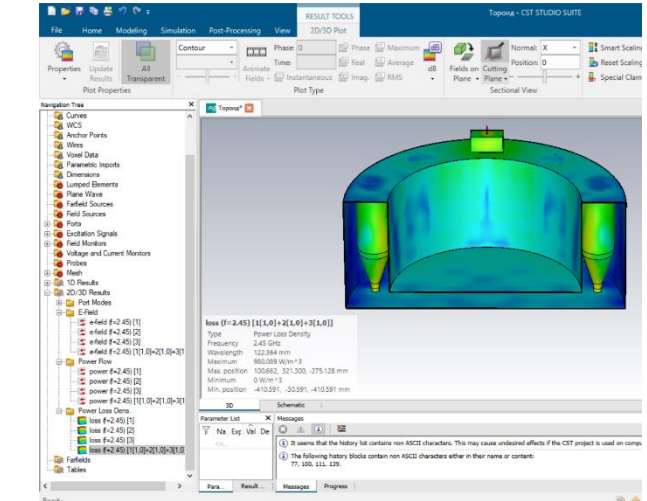
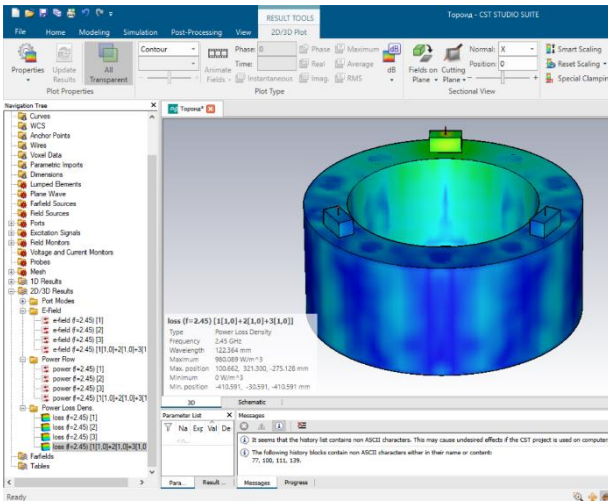
Первый генератор



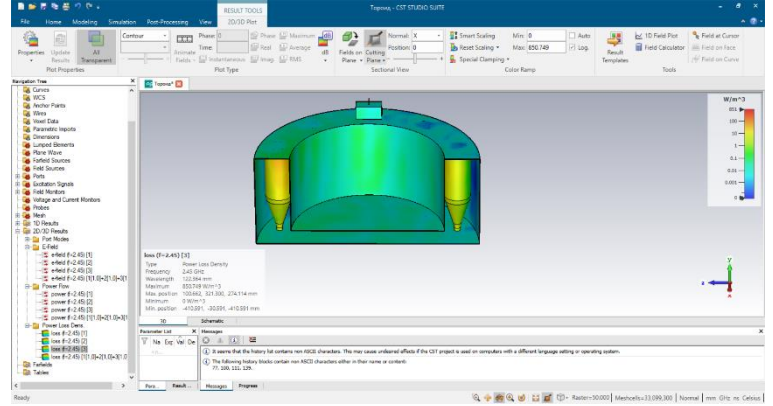
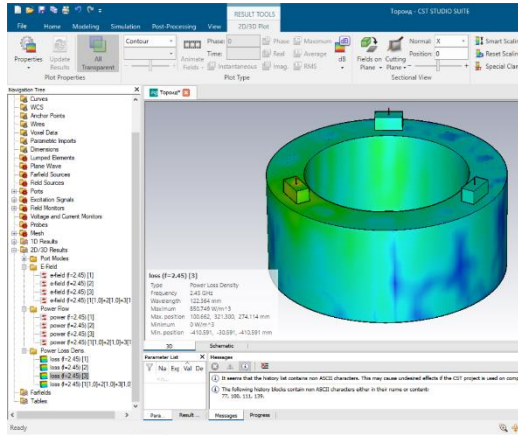
Второй генератор



Третий генератор

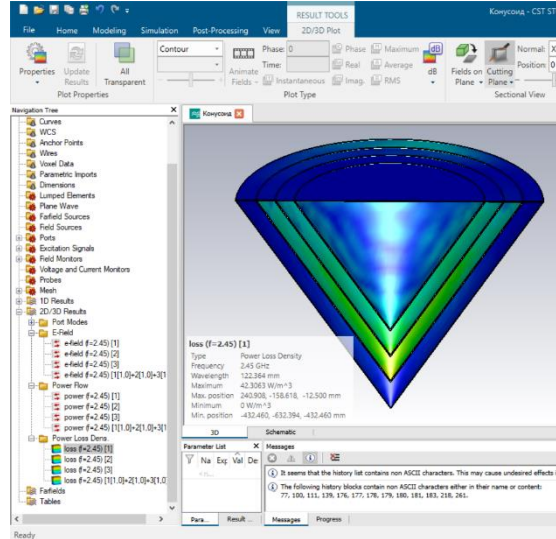
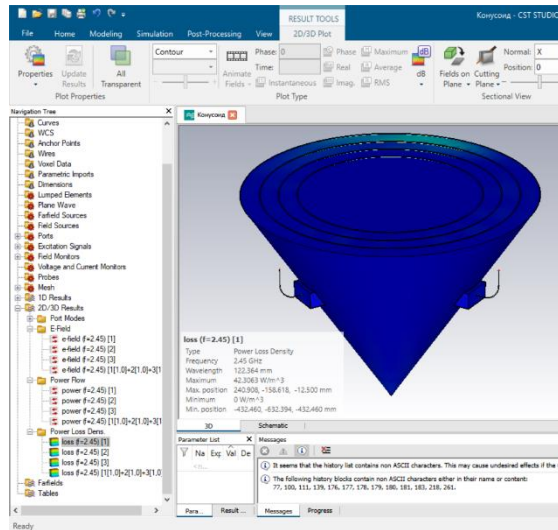


Три генератора

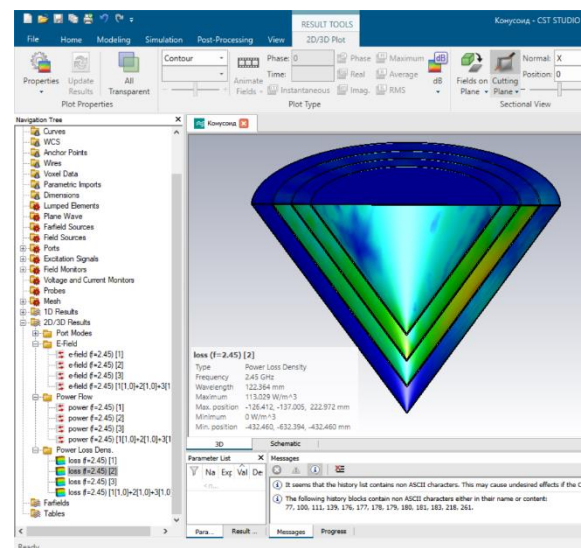
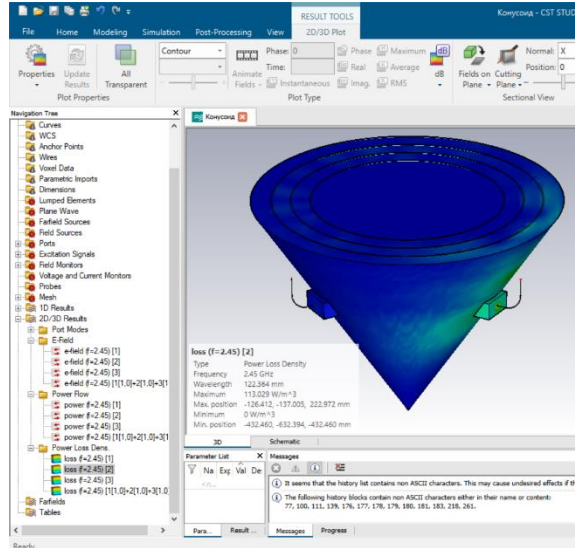


КОНИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР POWER LOSS DENS.

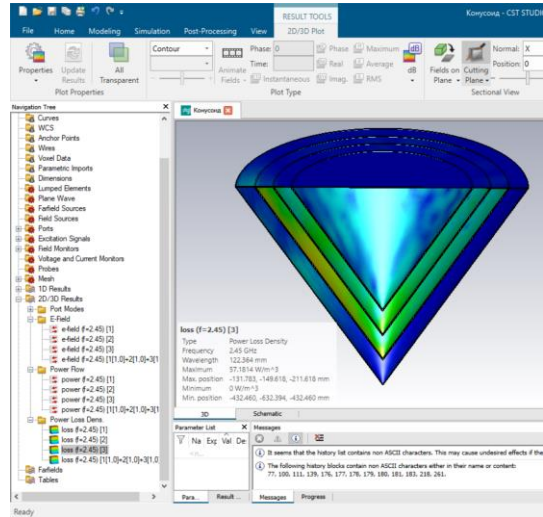
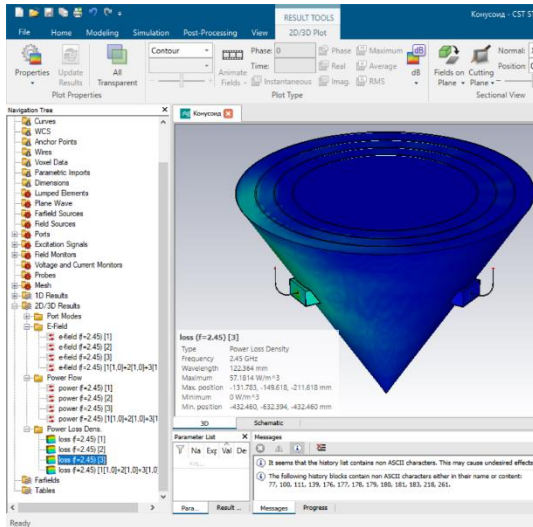
Первый генератор



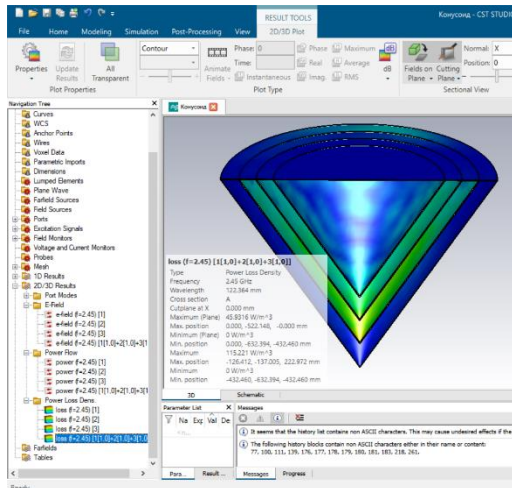
Второй генератор



Третий генератор

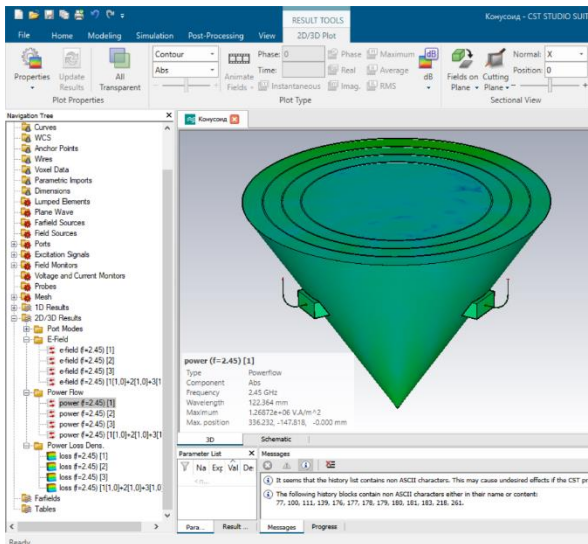


Три генератора

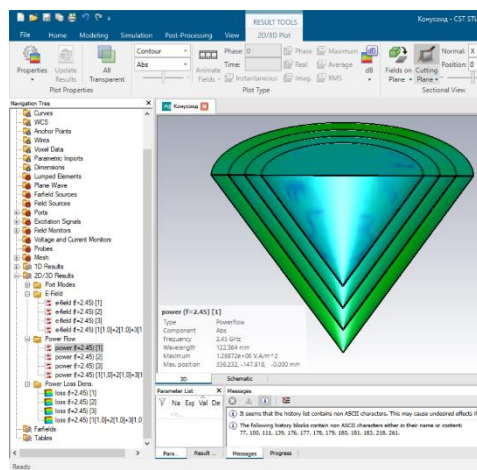
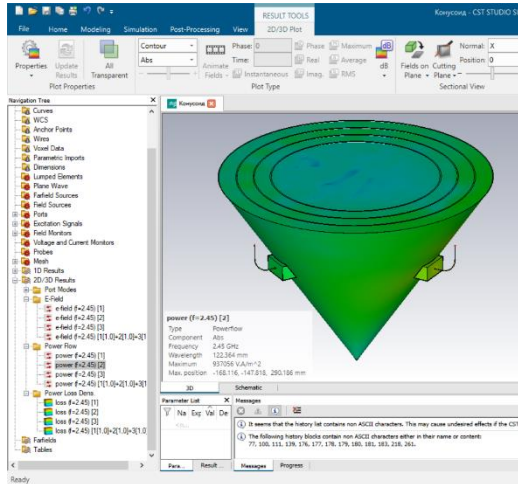


POWER FLOW

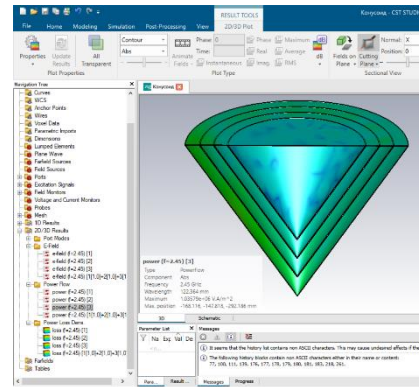
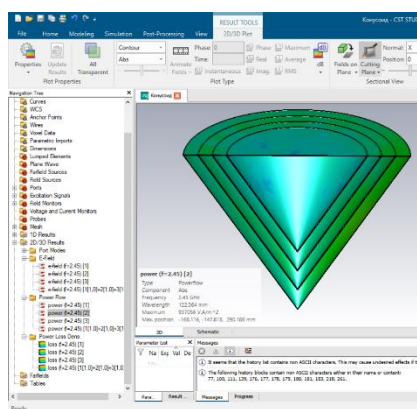
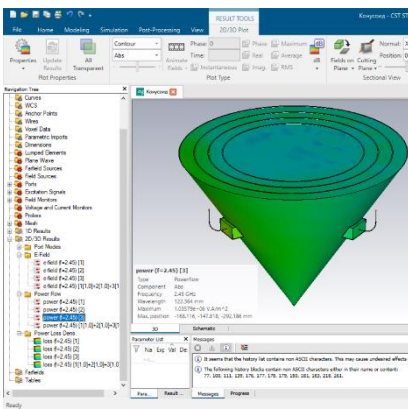
Первый генератор



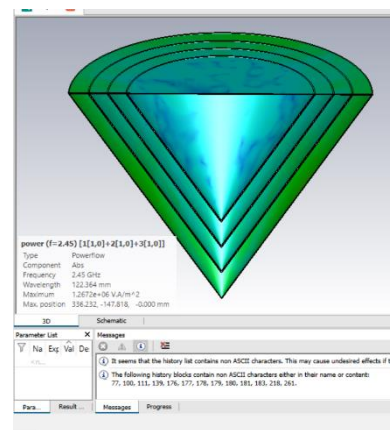
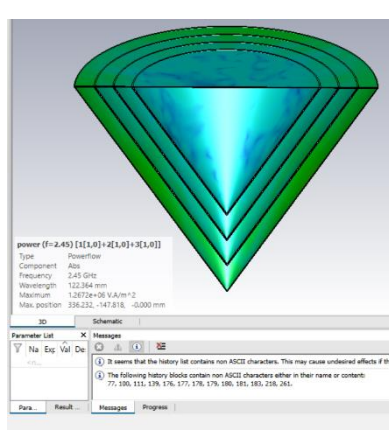
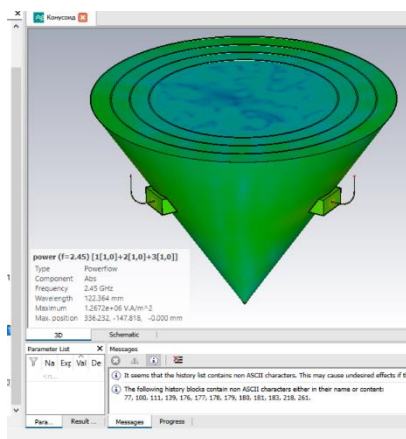
Второй генератор



Третий генератор

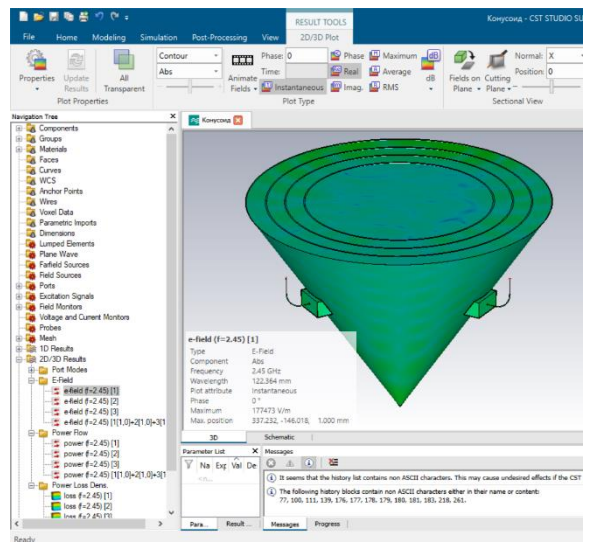
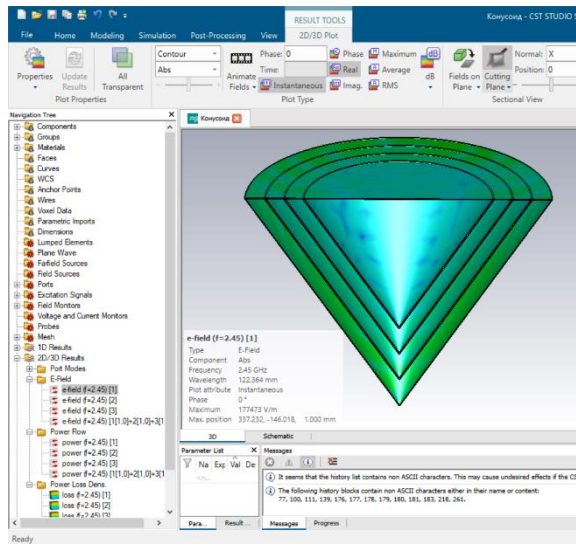


Три генератора

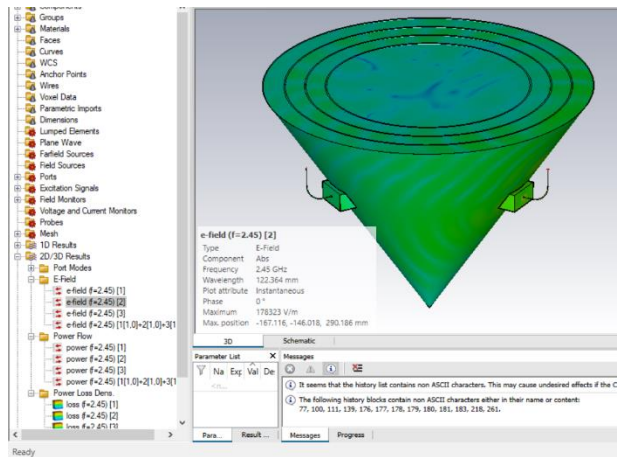
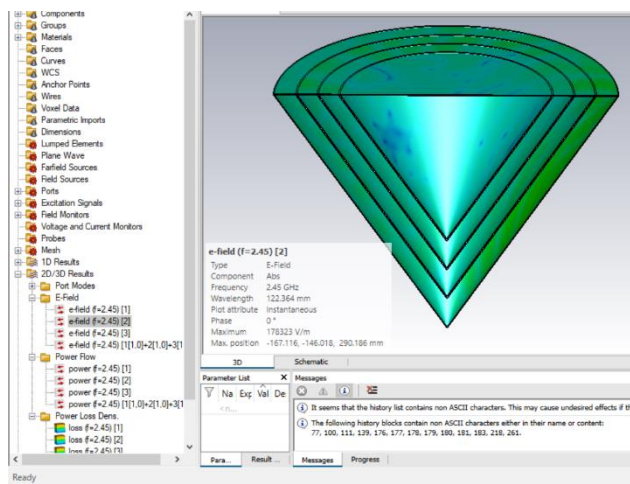


E-FIELD

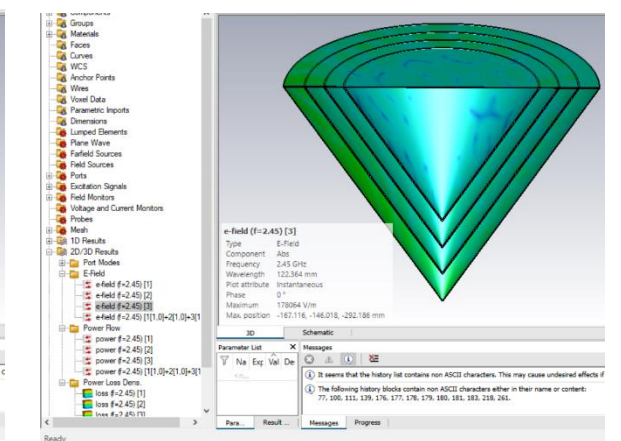
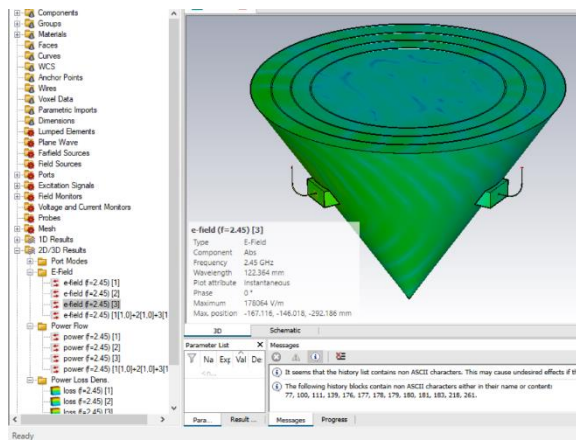
Первый генератор



Второй генератор



Третий генератор



Три генератора

