

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и стратегическому развитию Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет», доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
Коконев Сергей Иванович

« 29 »

2023



## ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет» на диссертационную работу Ершовой Ирины Георгиевны на тему: Научно-технические основы разработки СВЧ-размораживателей молозива животных, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.2 – Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки) в диссертационный совет 35.2.030.03 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева».

### **Актуальность темы диссертационных исследований**

В настоящее время на фермах крупного рогатого скота собирают молозиво от здоровой коровы, замораживают для хранения, по мере необходимости перед кормлением размораживают, разогревают до 38-39 °С и выпаивают телят. Процесс дефростации в традиционных размораживателях длительный, продолжающийся в течение 1,5-2 ч., при этом важно сохранить иммунологическую ценность молозива. Так, кормовая ценность молозива животных снижается на 10-30 %, в том числе содержание иммуноглобулинов – на 8-10 %.

Поэтому разработка научно-технических основ проектирования сверхвысокочастотных размораживателей, заменяющих традиционный способ дефростации и разогрева молозива в пароводяной смеси на микроволновую технологию, для сохранения его кормовой ценности, *актуальна*. Рассматриваемая работа посвящена концепции комплексного подхода к решению задач конструктивно-технологического проектирования и разработки радиогерметичных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с резонаторами, разделяющими процессы дефростации и разогрева молозива животных с изменяющимся агрегатным состоянием для сохранения его кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах.

## Соответствие паспорту научной специальности

Диссертационное исследование соответствует следующим пунктам паспорта специальности 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса: п. 1. Электрофизические свойства сельскохозяйственных биологических объектов, продуктов и материалов как объектов электротехнологий. Электрические, электромагнитные и магнитные воздействия на свойства продуктов, материалов и биологических объектов в технологических процессах АПК; п. 2. *Электротехнологии*, освещение и облучение *в технологических процессах АПК*; п. 5. *Электрооборудование*, системы электроснабжения, автоматизированный электропривод, автоматизированный контроль и управление для мобильных установок, беспилотных аппаратов, *технологических машин и поточных линий в АПК*.

## Научная новизна полученных результатов

*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 конфигурации 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 ферме КРС.

### **Обоснованность научных положений, выводов диссертации и достоверность**

Обоснованность и достоверность теоретических исследований, выводов в работе подтверждаются экспериментальными исследованиями с применением современной сертифицированной измерительной техники, а также выполненной проверкой адекватности результатов моделирования электромагнитных полей и результатов исследования электродинамических параметров в оригинальных резонаторах. Основные результаты научных исследований сформулированы в пяти выводах.

**Первый вывод** о необходимости разработки методологических основ конструктивно-технологического проектирования СВЧ-оборудования с резонаторами, разделяющими процессы дефростации и разогрева молозива животных при изменении агрегатного состояния для сохранения его кормовой ценности, аргументирован, достоверен.

**Второй вывод**, касающийся необходимости совершенствования технологии дефростации и разогрева сырья воздействием ЭМП СВЧ с учетом фазового перехода в двухрезонаторных СВЧ-размораживателях, аргументирован, информативен, достоверен.

**Третий вывод** связан с теоретическим обоснованием параметров электродинамической системы с оригинальными резонаторами, разработкой аналитических зависимостей, описывающих 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 в процессе воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты; 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.

Они позволили выявить эффективные конфигурации резонаторов в соответствии с критериями проектирования и комплексно оценить основные параметры электродинамической системы. Результаты исследования аргументированы и являются достоверными и теоретически значимыми.

**Четвертый вывод**, касающийся разработки модели функционирования многогенераторных размораживателей непрерывно-поточного действия со сдвоенными резонаторами для отдельной тепловой обработки молозива животных в разных дозах в зависимости от агрегатного состояния, достоверен. Новизна технических решений защищена 18 патентами.

**В пятом выводе** приведен комплекс эффективных конструктивно-технологических параметров и режимов работы разработанного двухрезона-

торного СВЧ-размораживателя, производительностью 30 кг/ч. Параметры обоснованы с учетом выявленных эмпирических зависимостей, регрессионных моделей и результатов исследований органолептических, биохимических, физико-химических, микробиологических показателей молозива животных, характеризующих его кормовую ценность. Вывод имеет практическое значение, актуален, достоверен.

**Шестой вывод** свидетельствует о результатах апробирования в производственных условиях двухрезонаторного СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия, содержащего коаксиальный резонатор с передвижными диэлектрическими контейнерами, состыкованный с коническим резонатором, и запредельные волноводы, его размораживание и разогрев молозива животных. Обоснована экономическая эффективность применения СВЧ-размораживателя в фермерском хозяйстве.

Перспективы дальнейшей разработки темы содержат новые направления использования полученных результатов при решении проблемы разработки методологии конструктивно-технологического проектирования и создания радиогерметичного сверхвысокочастотного размораживателя непрерывно-поточного действия с маломощными магнетронами с соблюдением электромагнитной безопасности, позволяющего ускорить технологический процесс, обеззараживать и сохранить кормовую ценность сырья при сниженных эксплуатационных затратах. Выводы конкретные и достоверные, представляют практическую значимость для фермерских хозяйств.

В заключении автор привел краткую оценку результатов проделанной работы, сформулировал выводы исследования, соответствующие поставленным задачам, перспективы дальнейшей разработки.

Научные положения, сформулированные диссертантом, и выводы основаны на современных методологических подходах, используемых в области электротехнологий и электрооборудовании агропредприятий.

В целом выводы раскрывают решение всех задач, сформулированных в работе, вытекают из основных положений диссертационной работы.

### **Значимость для науки и практики результатов исследований**

*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 магнетроном 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.

Изготовленный СВЧ-размораживатель и результаты научно-исследовательской работы апробированы на фермах КРС в Нижегородской области: ООО «АП Княгининское»; в Чувашской Республике: в СХПК «СОЮЗ», ГКФХ «Солдатова Эльвира Юрьевна», СХПК «НИВА», ОПХ «Ленинская искра». 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. Результаты научных исследований используются в учебном процессе Марийский ГУ, Нижегородская ГСХА, Костромская ГСХА, Казанский ГАУ, Ульяновская ГСХА, ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, Российский университет кооперации.

### **Оценка содержания диссертации**

Диссертация состоит из введения, пяти разделов с выводами, заключения, списка использованной литературы, приложений. Основная часть работы изложена на 329 страницах, содержит 160 рисунков и 76 таблиц.

**Введение** включает оценку актуальности исследуемой проблемы; степень ее проработанности, научную цель, гипотезу исследования, объект и предмет исследования, научную новизну, теоретическую и практическую зна-

чимость, положения, выносимые на защиту, степень достоверности; сведения о реализации и об апробации результатов исследования.

**В первом разделе** проанализированы и обобщены данные отечественных и зарубежных литературных источников, проведен аналитический обзор ресурсов и объемов сырья, технологий и технических средств, предназначенных для дефростации молозива, в том числе с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты, обоснованы электрофизические характеристики молозива животных. Обоснованы цель научного исследования и сформулированы задачи для ее достижения.

**Во втором разделе** представлена научно-методическая база исследований для решения комплекса взаимосвязанных задач, таких как выявление эффективных моделей СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с наиболее приемлемыми конструкциями объемных резонаторов для дефростации с учетом температуры фазового превращения молозива; согласование параметров электродинамической системы «генератор-резонатор» и электрофизических характеристик сырья с конструкционно-технологическими параметрами и режимами работы установок.

Приведены результаты исследования распределения и визуализация электромагнитного поля в объемных резонаторах разного конструкционного исполнения, плотности тока, и их собственной добротности. Дана оценка обеспечения электромагнитной безопасности двухрезонаторного СВЧ-размораживателя путем теоретического исследования распределения напряженности электрического поля и мощности потока излучений. Представлены результаты исследования динамики нагрева сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты при изменении электрофизических и физико-механических параметров в процессе размораживания и разогрева.

Приведен анализ разработанных конструкционных исполнений двух- и многорезонаторных многогенераторных СВЧ-размораживателей для дефростации и разогрева молозива. Установки оценены по соответствию их критериям проектирования, в том числе возможность обеспечения высокой собственной добротности резонатора и напряженности электрического поля, достаточной для низкотемпературного обеззараживания сырья при сохранении кормовой ценности и электромагнитной безопасности.

Представленные результаты наглядны и хорошо согласуются между собой и с теорией «Электромагнитные поля и волны».

**В третьем разделе** приведены научно-технические исследования разработки СВЧ-размораживателей молозива животных и методологические основы проектирования СВЧ-размораживателей с учетом возможности реализации всех критериев в конструктивных исполнениях резонаторов, способных выполнять одновременно функцию экранирующего корпуса, и обладающих минимальными эксплуатационными затратами, и позволяющих сохранить кормовую ценность молозива. Описаны разработанные СВЧ-размораживатели с оригинальными резонаторами, предусмотрены операционно-технологические схемы дефростации и разогрева молозива животных, замороженного различными видами и формами. Приведена методика разработки основных узлов многогене-

раторного радиогерметичного двухрезонаторного СВЧ-размораживателя непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения.

**В четвертом разделе** приводятся результаты экспериментальных исследований дефростации и разогрева молозива животных воздействием ЭМП СВЧ:

- динамики нагрева сырья; регрессионные модели;
- распределения температурного поля по поверхности сырья;
- органолептических, биохимических, физико-химических, микробиологических параметров молозива после дефростации и разогрева в базовом и разработанном СВЧ-размораживателе, в том числе содержание иммуноглобулинов в молозиве коровьем и козьем.

Приведены технические характеристики разработанного, созданного и апробированного двухрезонаторного СВЧ-размораживателя с результатами оценки электромагнитной безопасности.

**В пятом разделе** приведены результаты экономической оценки применения установок в фермерских хозяйствах по методу приведенных затрат. В качестве целевой функции такой оптимизации использовали интегральный эффект: доход от эксплуатации установки и кормовая ценность продукта.

**В заключении** представлена развернутая характеристика результатов диссертационных исследований, соответствующих поставленным задачам.

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.

Уровень решаемой проблемы в соответствии поставленными задачами и содержанием научной работы соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.2 – Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки). Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации, характеризуют результаты проведенных исследований.

#### **Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации**

Диссертационное исследование следует оценить положительно. Структура диссертации и автореферата соответствует требованиям, предъявляемым к научно-исследовательским работам. Принципиальных замечаний по содержанию работы, по оформлению диссертации и автореферата не имеется. В ходе изучения диссертационного исследования возникли следующие вопросы:

1. Каким образом обоснованы электродинамические параметры конструктивно-технологических схем СВЧ-размораживателей с нестандартными резонаторами?

2. Не в полной мере обоснованы условия использования диэлектрических резонаторов?

3. Не ясно, почему выбрали для изготовления СВЧ-размораживатель с коаксиальным и коническим резонаторами? Среди разработанных конструкций предлагается СВЧ-размораживатель с металлодиэлектрическим цилиндрическим резонатором с криволинейной поверхностью, который снижает потери энергии и обладает высокой собственной добротностью в силу своих особенностей.

4. Следовало бы представить график изменения содержания соматических клеток в молозиве животных в процессе обеззараживания.

5. Как обоснована производительность изготовленного образца СВЧ-размораживателя молозива животных?

6. Не ясно, почему собственную добротность нестандартных резонаторов определяли разными способами?

7. Какая контрольно-измерительная аппаратура используется при работе СВЧ-размораживателя?

8. Насколько процентов изменяется содержание иммуноглобулинов в коровьем и козьем молозиве после обработки в СВЧ-размораживателе?

9. В научной проблеме, в целях работы указано, что диссертационное исследование ориентировано на снижение эксплуатационных затратах. Однако, СВЧ-размораживатели с нестандартными резонаторами оцениваются по удельным энергетическим затратам на процесс размораживания. Как это объясняете?

Отмеченные недостатки не снижают актуальности и ценности представленной работы.

### Заключение

Диссертационная работа Ершовой Ирины Георгиевны на тему «Научно-технические основы разработки СВЧ-размораживателей молозива животных» на соискание ученой степени доктора технических наук по научной специальности 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки), является научно-квалификационной работой, выполненной самостоятельно, содержащей решение актуальной проблемы снижения кормовой ценности молозива животных вследствие длительности процесса дефростации и разогрева, для решения которой предусматривается развитие теоретических и методологических основ проектирования и разработки двухрезонаторных многогенераторных СВЧ-размораживателей непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения, позволяющих провести отдельные процессы дефростации и разогрева, с соблюдением электромагнитной безопасности, при сниженных эксплуатационных затратах, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие агропредприятий страны.

Учитывая достаточный объем научных исследований, их научную новизну, теоретическую и практическую значимость, а также уровень реализации и апробации полученных результатов, считаем, что диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 и 10 раздела II «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного правительством Российской Федерации от



24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор Ершова Ирина Георгиевна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки).

Автореферат, диссертация и отзыв рассмотрены и одобрены на заседании кафедры энергетики и электротехнологии факультета энергетики и электрификации ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», протокол № 1 от « 28 » августа 2023 г.

Отзыв подготовлен:

Доктор технических наук, профессор,  
декан факультета энергетики и электрификации,

 Лекомцев Петр Леонидович


Кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой энергетики и электротехнологии,

 Ниязов Анатолий Михайлович

Подписи, ученую степень, ученое звание и должности

П.Л. Лекомцева, А.М. Ниязова удостоверяю.

И.о. начальника управления кадровым делопроизводством  
Удмуртского ГАУ

 Набиева Екатерина Александровна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет».

426069, Россия, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 11.

+7 (3412) 58-99-48, rector@udsau.ru.