

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 35.2.030.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ – МСХА ИМЕНИ К. А. ТИМИРЯЗЕВА» (МИНИСТЕРСТВО  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ) ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 19.10.2023 № 12

О присуждении Ершовой Ирине Георгиевне, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Научно-технические основы разработки СВЧ-размораживателей молозива животных» по специальности 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки) принята к защите 19.07.2023 (протокол заседания № 9б) диссертационным советом 35.2.030.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева), Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, адрес: 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49 (приказ Минобрнауки России о создании совета № 837/нк от 12.07.2022).

Соискатель Ершова Ирина Георгиевна «20» февраля 1985 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Электрические регуляторы теплового насоса в системе поддержания микроклимата картофелехранилища» защитила в 2012 году в диссертационном совете, созданном на базе ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства».

С января 2023 года и по настоящее время обучается в докторантуре ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева при кафедре автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина Института механики и энергетики имени В. П. Горячкина (приказ от 18.01.2023 г. № А-10).

Работает старшим научным сотрудником лаборатории цифровых систем и роботизированных технических средств в молочном животноводстве в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина Института

механики и энергетики имени В. П. Горячкина ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, Просвирякова Марьяна Валентиновна, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», кафедра «Автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина», профессор.

Официальные оппоненты:

1. Цугленок Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Восточно-Сибирская ассоциация биотехнологических кластеров, первый вице-президент;

2. Попов Виталий Матвеевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный аграрный университет», кафедра энергообеспечения и автоматизации технологических процессов, заведующий кафедрой;

3. Титов Евгений Владимирович, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», кафедра «Электрификация производства и быта», ведущий научный сотрудник, профессор, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет», г. Ижевск,

в своем положительном отзыве, подписанном Лекомцевым Петром Леонидовичем, доктором технических наук, профессором, факультет энергетики и электрификации, деканом, и Ниязовым Анатолием Михайловичем, кандидатом технических наук, доцентом, кафедра энергетики и электротехнологии, заведующим кафедрой, утвержденном Коконовым Сергеем Ивановичем, доктором сельскохозяйственных наук, профессором, проректором по научной работе и стратегическому развитию,

указала, что представленная диссертация 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. Диссертационная работа Ершовой Ирины Георгиевны «Научно-технические основы разработки СВЧ-размораживателей молозива животных», соответствует паспорту научной специальности 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки).

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам, представляемым на соискание ученой степени доктора технических наук, и соответствует критериям, прописанным в пунктах 9, 10, 13 и 14 «Положения ...», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», 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).

Соискатель имеет 77 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 77 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликована 21 работа, 18 патентов на изобретения и 3 монографии. Общий объем опубликованных работ составляет 80,75 п.л., из которых 60,5 п.л. принадлежат соискателю.

Наиболее значительные научные работы из числа рецензируемых научных изданий:

1. Ershova, I. G. Heat treatment of fat-containing raw materials with energy of electromagnetic radiation / I. G. Ershova, M. V. Belova, D. V. Poruchikov // International research journal. – 2016. – № 9. – С. 38-40.
2. Ершова, И. Г. Результаты исследования кормовой ценности молозива после дефростации эндогенным нагревом // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 12. – С. 50-61.
3. Ершова, И. Г. СВЧ-установка с тороидальным резонатором для дефростации молозива животных в непрерывном режиме / И. Г. Ершова, О. В. Михайлова, А. А. Тихонов, Г. В. Новикова, Н. К. Кириллов // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 10 (137). – С. 81-93.
4. Новикова, Г. В. Научно-технические основы разработки установок с СВЧ-энергоподводом для переработки сырья агропредприятий / Г. В. Новикова, В. Ф. Сторчевой, М. В. Просвирякова, И. Г. Ершова, Н. Г. Горячева // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2023. – Т. 70. – № 1 (50). – С. 18-27.

5. Ершова, И. Г. Обоснование конструкции СВЧ-дефростера молозива животных / И. Г. Ершова, М. В. Просвирякова, Г. В. Новикова, В. Ф. Сторчевой // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3 (101). – С. 185-191.

6. Ершова, И. Г. Способы и СВЧ техника для дефростации и разогрева молозива животных / И. Г. Ершова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 6 (132). – URL: <https://research-journal.org/archive/6-132-2023-june/10.23670/IRJ.2023.132.94> (дата обращения: 16.06.2023). – DOI: 10.23670/IRJ.2023.132.94.

7. Ершова, И. Г. Алгоритм исследования процессов дефростации и разогрева молозива животных / И. Г. Ершова // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 4 (142). – С. 39-54.

8. 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. 179-184.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступило 16 отзывов:

**1. Багаев Андрей Алексеевич**, доктор технических наук (05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве), профессор, заведующий кафедрой «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ). Отзыв положительный, содержит 5 замечаний дискуссионного характера.

**2. Бакиров Сергей Мударисович**, доктор технических наук (05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве), доцент, заведующий кафедрой «Электрооборудование, энергоснабжение и роботизация», и **Четвериков Евгений Александрович**, кандидат технических наук (05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве), доцент, доцент кафедры «Электрооборудование, энергоснабжение и роботизация», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологий и инженерии имени Н. И. Вавилова» (ФГБОУ ВО Вавиловский университет). Отзыв положительный, содержит 2 замечания уточняющего и 2 дискуссионного характера.

**3. Баранова Марина Петровна**, доктор технических наук (05.14.01 – Энергетические системы и комплексы), профессор, заведующий кафедрой системозенергетики, и **Бастрон Андрей Владимирович**, кандидат технических наук (05.20.02 – Электрооборудование и электротехнологии в АПК), доцент,

заведующий кафедрой электроснабжения сельского хозяйства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ). Отзыв положительный, содержит 2 замечания дискуссионного характера.

**4. Богданов Сергей Иванович**, кандидат технических наук (05.20.03 – Эксплуатация, восстановление и ремонт сельскохозяйственной техники), доцент, заведующий кафедрой «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий АПК», и **Дарманян Анатолий Петрович**, доктор технических наук (05.17.08 – Процессы и аппараты химической технологии), профессор, профессор кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий АПК», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ). Отзыв положительный, содержит 3 замечания дискуссионного характера.

**5. Буторин Владимир Андреевич**, доктор технических наук (05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве), профессор, профессор кафедры энергообеспечения и автоматизации технологических процессов, и **Басарыгина Елена Михайловна**, доктор технических наук (05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве), профессор, заведующий кафедрой «Математические и естественнонаучные дисциплины», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО ЮУрГАУ). Отзыв положительный, содержит 3 замечания дискуссионного характера.

**6. Волхонов Михаил Станиславович**, доктор технических наук (05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства), профессор, ректор, и **Бушуев Иван Валерьевич**, кандидат технических наук (05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства), доцент кафедры «Энергоснабжение и эксплуатация электрооборудования», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия» (ФГБОУ ВО Костромская ГСХА). Отзыв положительный, содержит 3 замечания уточняющего и 1 дискуссионного характера.

**7. Гордеев Александр Сергеевич**, доктор технических наук (05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств (в том числе по отраслям)), профессор, профессор кафедры агроинженерии и электроэнергетики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ). Отзыв положительный, содержит 1 замечание уточняющего и 1 дискуссионного характера.

**8. Зайцев Петр Владимирович**, доктор технических наук (05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве), профессор, профессор кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства, и **Шаронова Татьяна Вячеславовна**, кандидат технических наук (05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве), доцент, доцент кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ). Отзыв положительный, содержит 2 замечания уточняющего и 1 дискуссионного характера.

**9. Ларионов Геннадий Анатольевич**, доктор биологических наук (16.00.06 – Ветеринарная санитария, экология, зоогигиена и ветеринарно-санитарная экспертиза), профессор, профессор кафедры биотехнологий и переработки сельскохозяйственной продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ). Отзыв положительный, замечаний нет.

**10. Осокин Владимир Леонидович**, кандидат технических наук (05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве), доцент кафедры «Электрификация и автоматизация», и **Воронов Евгений Викторович**, кандидат экономических наук (35.00.00 – Сельское, лесное и рыбное хозяйство, 38.00.00 – Экономика и управление), директор инженерного института, доцент кафедры «Технический сервис», Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (ГБОУ ВО НГИЭУ, Княгининский университет). Отзыв положительный, содержит 5 замечаний дискуссионного характера.

**11. Пасин Александр Валентинович**, доктор технических наук (05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства), профессор, декан инженерного факультета, **Тихонов Александр Анатольевич**, кандидат технических наук (05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве), доцент, доцент кафедры «Технология металлов и ремонт машин», **Филатов Дмитрий Алексеевич**, кандидат технических наук (05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы), доцент, заведующий кафедрой «Прикладная механика, физика и высшая математика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный агротехнологический университет» (ФГБОУ ВО Нижегородский ГАТУ). Отзыв положительный, содержит 2 замечания уточняющего и 1 дискуссионного характера.

**12. Рудаков Александр Иванович**, доктор технических наук (05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства), профессор, профессор кафедры машин и оборудования в агробизнесе института механизации и технического сервиса, и **Лукманов Руслан Рушанович**, кандидат технических наук (05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства), доцент, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе института механизации и технического сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ»). Отзыв положительный, содержит 3 замечания уточняющего и 2 дискуссионного характера.

**13. Савиных Петр Алексеевич**, доктор технических наук (05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства), профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией механизации животноводства, и **Исупов Алексей Юрьевич**, кандидат технических наук (05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства), старший научный сотрудник лаборатории механизации животноводства, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока). Отзыв положительный, содержит 2 замечания уточняющего и 2 дискуссионного характера.

**14. Тимофеев Виталий Никифорович**, доктор технических наук (05.08.05 – Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)), доцент, заведующий кафедрой судовождения и судостроения, Институт морского и речного флота имени Героя Советского Союза М. П. Девятаева – Казанский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ИМРФ им. Героя Советского Союза М. П. Девятаева – КФ ФГБОУ ВО «ВГУВТ»). Отзыв положительный, замечаний нет.

**15. Фадеев Иван Васильевич**, доктор технических наук (05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве), доцент, заведующий кафедрой технических дисциплин, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева» (ФГБОУ ВО «ЧГПУ им. И. Я. Яковлева»). Отзыв положительный, содержит 2 замечания дискуссионного характера.

**16. Шкрабак Владимир Степанович**, доктор технических наук (05.20.03 – Эксплуатация, восстановление и ремонт сельскохозяйственной техники, 05.04.02 – Тепловые двигатели), профессор, профессор кафедры «Безопасность технологических процессов и производств», Федеральное государственное

бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО «СПбГАУ»). Отзыв положительный, содержит 1 замечание уточняющего характера.

В ходе защиты соискатель дал развернутые ответы на замечания.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией и компетентностью в данной отрасли, большим объемом результатов научных исследований и рядом публикаций по тематике исследований диссертационной работы:

[http://diss.timacad.ru/catalog/disser/dd/ershova/sv\\_opponent.pdf](http://diss.timacad.ru/catalog/disser/dd/ershova/sv_opponent.pdf)

[http://diss.timacad.ru/catalog/disser/dd/ershova/sv\\_ved\\_org.pdf](http://diss.timacad.ru/catalog/disser/dd/ershova/sv_ved_org.pdf)

**Цугленок Николай Васильевич**, доктор технических наук (05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве), профессор, член-корреспондент РАН, Восточно-Сибирская ассоциация биотехнологических кластеров, первый вице-президент.

Цугленок Н. В. является известным ученым в области применения воздействия электромагнитных излучений, спектра радиоволн и оптического диапазона для сушки и обеззараживания сырья АПК.

**Попов Виталий Матвеевич**, доктор технических наук (05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве), профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный аграрный университет», кафедра энергообеспечения и автоматизации технологических процессов, заведующий кафедрой.

Попов В. М. является известным ученым в области разработки энерго-, ресурсосберегающих электротехнологий и технических средств инфракрасного и СВЧ воздействий на биологические объекты.

**Титов Евгений Владимирович**, доктор технических наук (05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве), доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», кафедра «Электрификация производства и быта», ведущий научный сотрудник, профессор,

Титов Е. В. является ведущим специалистом в области разработки защитных мероприятий по обеспечению электромагнитной безопасности при использовании источников электромагнитного поля широкого спектра волн в агротехнических и энергетических системах.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет», известна в области научных исследований и разработки электротехнологических облучательных установок



с УФ диодами, систем управления для реализации энергоэффективного освещения.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

*разработана* новая научная идея, обогащающая научную концепцию создания радиогерметичных двухрезонаторных СВЧ-размораживателей с магнетронами воздушного охлаждения и технологии размораживания и разогрева молозива животных в непрерывном режиме с сохранением кормовой ценности, предусматривающую методику реализации критериев проектирования техники с СВЧ энергоподводом в объемные резонаторы нестандартных конструкций, и оценку режимов работы для их эффективного функционирования;

*предложен* нетрадиционный подход к разработке объемных резонаторов для непрерывного режима работы радиогерметичных многогенераторных СВЧ размораживателей молозива животных;

*предложены математические выражения*, позволяющие:

- обосновать электродинамические (ЭД) параметры СВЧ-размораживателей со сдвоенными резонаторами нестандартных конфигураций, в том числе по программе CST Microwave Studio,

- оценить отклонения ЭД параметров от эффективных значений критериев проектирования,

- выявить, что напряженность ЭП в разработанных резонаторах колеблется в пределах 0,6...3,8 кВ/см, в том числе в конденсаторной зоне четвертьволнового тороидального резонатора, собственная добротность при равных объемах резонаторов составляет 4000...10000, плотность энергии электромагнитных волн при напряженности ЭП 0,6 кВ/см составляет  $9 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>, пороговая мощность равна 6,85 кВт, с учетом коэффициента затухания волны в сырье в течение его разогрева;

- оценить динамику нагрева сырья с изменяющимися диэлектрическими параметрами при тепловой обработке, в том числе с учетом изменения глубины проникновения волны в замороженное сырье, а именно:

с увеличением температуры от -12 до 0 °С она 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, так как его размеры, не превышающие глубины проникновения волны, поддерживаются за счет поярусно расположенных фторопластовых воронок;

*доказана* перспективность использования новой идеи разработки СВЧ-размораживателей со сдвоенными нестандартными резонаторами, обеспечивающими равномерное распределение электрического поля высокой напряженности 1,2...3,8 кВ/см для осуществления отдельных процессов дефростации и разогрева в непрерывном режиме при изменении агрегатного

состояния молозива животных, с соблюдением электромагнитной безопасности до уровня потока мощности излучений менее  $10 \text{ мкВт/см}^2$ , при сниженных эксплуатационных затратах до  $0,176 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}$ , и с сохранением кормовой ценности, в том числе иммуноглобулинов не менее  $50 \text{ г/л}$  по шкале Брикса;

*введен* новый термин: двухрезонаторный многогенераторный СВЧ-дефростер. Это установка для размораживания и разогрева замороженного сырья с состыкованными резонаторами с индивидуальными магнетронами для работы в непрерывном режиме.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

*доказаны* положения, вносящие вклад в расширение представлений о тепловой обработке замороженного сырья с изменяющимся агрегатным состоянием в электромагнитном поле сверхвысокой частоты, возбужденном в сдвоенных резонаторах нестандартных конфигураций магнетронами воздушного охлаждения, обеспечивающими электромагнитную безопасность при непрерывном режиме работы;

*применительно к проблематике диссертации эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов использованы:*

- комплекс существующих базовых результатов исследований электрофизических и теплофизических параметров молозива животных разного агрегатного состояния;
- методики исследований конструктивно-технологических параметров резонаторов и режимов работы СВЧ техники;
- теории активного планирования многофакторного эксперимента и регрессионного анализа многофакторных моделей;
- программные средства по параметрическому моделированию трехмерных структур в резонаторах нестандартных конфигураций: CST Microwave Studio 2018, SolidWorks, Компас 3D V20, пакет программ MS Office, включая Excel, Mathcad 14, STATGRAPHICS Plus для Windows;
- результаты исследований органолептических, биохимических, физико-химических, микробиологических показателей сырья, позволившие оценить кормовую ценность, в том числе содержание иммуноглобулинов IgG в молозиве животных после дефростации и разогрева в ЭМП СВЧ ( $28...41 \%$  по шкале Brix), общего микробного числа (менее  $500 \text{ тыс. КОЕ/г}$ );

*изложены:*

- элементы теории распределения электрического поля в нестандартных резонаторах, позволяющие согласовать ключевые параметры и режимы работы СВЧ-размораживателей со сдвоенными резонаторами, обеспечивающие эффективную тепловую обработку сырья;
- аналитические зависимости, описывающие распределения температурного поля в сырье при разных агрегатных состояниях от  $-20$  до  $38-39 \text{ }^\circ\text{C}$  и распределение волн на границе раздела между замороженным и жидким

сырьем, позволяющие определить коэффициент отражения волн, поглощаемую сырьем мощность при дефростации и разогреве;

- электродинамические параметры системы «генератор-резонатор-нагрузка», включая распределение напряженности электрического поля, собственную добротность нестандартных резонаторов;

*изучены* причинно-следственные связи распределения электромагнитного поля от конфигурации состыкованных резонаторов, обеспечивающих отдельные процессы дефростации и разогрева в непрерывном режиме;

*проведено* уточнение математических зависимостей, описывающих распределение электрического поля в резонаторах нестандартных конфигураций и динамику диэлектрического нагрева молозива при изменении их электрофизических параметров, обеспечивающих получение новых результатов по теме диссертации.

**Значения полученных соискателем результатов исследования, для практики подтверждается тем, что:**

*разработаны* микроволновая технология и СВЧ-размораживатель со сдвоенными резонаторами (обладающий технической новизной, патент № 2761810), производительностью 30 кг/ч и энергетическими затратами 0,176 кВт·ч/кг, *и апробированы* на ферме КРС в Нижегородской области ООО «АП Княгининское»; в Чувашской Республике: в СХПК «СОЮЗ», ГКФХ «Солдатова Эльвира Юрьевна», СХПК «НИВА», ОПХ «Ленинская искра»; ожидаемый годовой экономический эффект от применения СВЧ-размораживателя, балансовой стоимостью 120 тыс. руб. по отношению с базовым размораживателем составляет 323,35 тыс. руб. за счет снижения эксплуатационных расходов;

*внедрены* образовательные технологии в ФГБОУ ВО «Марийский ГУ», ФГБОУ ВО «Нижегородская ГСХА», ФГБОУ ВО «Костромская ГСХА», ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ», ФГБОУ ВО «Ульяновская ГСХА», ФГБОУ ВО «ЧГПУ им. И. Я. Яковлева», АНО ОВО Центросоюза РФ «Российский университет кооперации»;

*определены* перспективы научно-методического и практического использования математических моделей процессов дефростации и разогрева сырья с фазовым переходом при создании СВЧ-размораживателей с обоснованными конструктивно-технологическими параметрами объемных резонаторов, включая высокую собственную добротность 4000...10000, высокую напряженность электрического поля 1,2...3,8 кВ/см и электромагнитную безопасность до уровня потока мощности излучений менее 10 мкВт/см<sup>2</sup> при непрерывном режиме работы;

*создана* система практических рекомендаций по разработке многогенераторных радиогерметичных СВЧ-размораживателей со сдвоенными

резонаторами и с магнетронами воздушного охлаждения для непрерывного режима работы;

*представлены* предложения по дальнейшему совершенствованию технологии и конструктивного исполнения объемных резонаторов СВЧ-размораживателей с магнетронами воздушного охлаждения для реализации эффективных режимов дефростации и разогрева молозива животных, обеспечивающих сохранение кормовой ценности, в том числе, содержание иммуноглобулинов IgG в молозиве животных после дефростации и разогрева в ЭМПСВЧ составило 28...41 % по шкале Brix, ОМЧ менее 500 тыс. КОЕ/г, при сниженных эксплуатационных затратах до 0,176 кВт·ч/кг,

*выявлены* 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.

**Оценка достоверности результатов исследований выявила:**

*для экспериментальных исследований* применялись сертифицированные электроизмерительные цифровые приборы и аппаратуры, обеспечивающие достаточную точность результатов, стандартная методика оценки воспроизводимости эффективных режимов работы размораживателей, численные методы решения задач при теоретической разработке математической модели процесса дефростации и разогрева молозива животных;

*теория* построена на использовании известных положений диэлектрического нагрева СВЧ диапазона, элементов теории электродинамических систем «генератор-резонатор» и распространения электромагнитных волн в объемных резонаторах разных конструкций, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

*идея базируется* на обобщении теории электромагнитного поля и передового опыта использования СВЧ техники для термообработки диэлектриков; на результатах исследований, подтверждающих обоснованность применения радиогерметичных резонаторов при непрерывном режиме работы;

*использовано* сравнение данных, полученных ранее по исследованию электрофизических параметров сырья (замороженного молока и мясного сырья, льда) с изменяющимся агрегатным состоянием и кинетики диэлектрического нагрева их, представленных в литературных источниках;

*использованы* современные методики сбора и статистической обработки информации; компьютерное моделирование при оптимизации конструктивных параметров резонаторов; современные методики исследования электродинамических параметров нестандартных резонаторов по программе CST Studio Suite, многокритериальные регрессионные модели для выявления эффективных режимов работы СВЧ-размораживателей; современные приборы при экспериментальных исследованиях.

**Личный вклад соискателя состоит в участии на всех этапах работы над диссертацией, включая:**

- анализ проблемы и определение путей совершенствования процессов дефростации и разогрева молозива животных;
- разработку новой концепции и методологии проектирования СВЧ-размораживателей;
- теоретические исследования параметров и режимов работы размораживателей с резонаторами нестандартных конфигураций с получением аналитических выражений;
- разработку программ и методик экспериментальных исследований со статистической обработкой данных и обобщением результатов;
- разработку конструкторской документации для изготовления образца СВЧ-размораживателя со сдвоенными резонаторами;
- апробацию результатов исследований на всероссийских, международных конференциях, и демонстрация СВЧ-размораживателя;
- апробацию технологии и СВЧ-размораживателя в условиях ферм КРС с оценкой технико-экономических показателей эффективности применения размораживателей и обоснованием выводов;
- подготовку к публикации 77 научных работ, в том числе 16 из перечня изданий, определенных ВАК РФ, 5 – в базах данных Scopus, 18 патентов на изобретения, 3 монографии.

Соискатель Ершова И. Г. ответила на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию по разработке многогенераторного радиогерметичного СВЧ-размораживателя со сдвоенными резонаторами, обеспечивающими в них равномерное распределение электрического поля высокой напряженности, позволяющими в непрерывном режиме отделить процессы дефростации и разогрева при фазовом переходе, ускоряя продолжительность подготовки обеззараженного молозива животных с сохранением его кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах.

На заседании 19 октября 2023 года диссертационный совет принял решение за разработку научного подхода к созданию радиогерметичных СВЧ-установок со сдвоенными резонаторами и магнетронами воздушного

охлаждения для реализации технологии дефростации и разогрева молозива животных в непрерывном режиме, и теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как новые научно обоснованные технические, технологические решения в области создания СВЧ техники для агропредприятий, присудить Ершовой Ирине Георгиевне ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук (по специальности рассматриваемой диссертации 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса, технические науки), участвующие в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Отари Назирович Дидманидзе

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Николай Николаевич Пуляев

19.10.2023