



УТВЕРЖДАЮ:

Ректор

ФГБНУ ВО Удмуртский ГАУ

А.А. Брачихин

» август 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ) на диссертационную работу Шевелева Александра Владимировича «Разработка СВЧ-воскотопок с обоснованием их параметров», представленную к защите в диссертационный совет 72.2.016.02 на базе ГБОУ ВО НГИЭУ на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.2 - Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки).

Актуальность избранной темы

Российское сельское хозяйство готовится совершить качественный скачок благодаря новой стратегии устойчивого роста до 2030 года. Правительство делает ставку на высокие темпы развития науки и техники, направленные на улучшение технологий первичной переработки сельскохозяйственной продукции прямо на местах производства. Особое внимание уделено научным исследованиям, предназначенным для улучшения производительности агропредприятий, что позволит российскому сельскому хозяйству стать ещё более эффективным, конкурентоспособным и экологически чистым.

Использование СВЧ-технологий обеспечивает значительное улучшение качественных характеристик производимой продукции, снижает издержки на хранение и транспортировку, а также усиливает конкурентоспособность отечественного медового рынка за счёт повышения органолептических свойств и санитарных показателей конечной продукции.

Создание малогабаритных установок сверхвысокочастотной переработки сельскохозяйственной продукции решает ряд сложных задач, стоящих перед агропромышленным комплексом России, обеспечивая продовольственную безопасность, благоприятную экологическую обстановку, увеличение рентабельности хозяйствующих субъектов и укрепление конкурентных преимуществ отечественных продуктов на мировых рынках.

Пчелиный воск – ценный ресурс, играющий важную роль как в самом пчеловодческом деле, так и в экономике страны, ведь почти 80% всего произведенного воска потребляется внутри отрасли. Сегодня Нижегородская область славится большим количеством пчеловодов – здесь насчитывается порядка 1387 пасечных хозяйств, каждый год производящих внушительные

объёмы воскового сырья. Даже маленькие хозяйства, имеющие лишь полсотни ульев, собирают больше 250 килограммов воска в год, тогда как крупные предприятия с несколькими сотнями семей производят и перерабатывают свыше полутонны воскового материала ежегодно.

Традиционно переработка большого объема воскового сырья проводится с помощью паровых воскотопок, что требует много труда и финансовых вложений. Между тем значительная доля исходного сырья представлена такими компонентами, как забрус и повреждённые соты с мёдом. Обычно эта продукция реализуется без дополнительной обработки. Современные микроволновые технологии открывают уникальные возможности: с их помощью можно извлекать дополнительное количество качественного натурального мёда и чистого воска, что позволяет значительно повысить стоимость продукции.

Именно поэтому создание СВЧ-воскотопок непрерывного действия является одной из наиболее важных и перспективных задач. Благодаря таким установкам можно эффективно отделять воск от остатков мёда, одновременно снижая производственные затраты. Эта тема заслуживает особого внимания исследователей и обещает принести значительную пользу всей отрасли пчеловодства.

Поэтому представленная работа, по научному обоснованию СВЧ-воскотопок, способствующих снижению эксплуатационных затрат при вытопке воска и отделении мёда, представляет большой теоретический и практический интерес.

Достоверность результатов исследований

Результаты исследований, выводы и рекомендации автора достаточно обоснованы. Достоверность результатов исследований подтверждается сходимостью и воспроизводимостью теоретических и экспериментальных результатов исследований, применением при проведении экспериментов современных измерительных приборов и оборудования, теории распределения ЭМП сантиметрового диапазона в двухкомпонентном сырье с изменяющимися электрофизическими параметрами в процессе его воздействия, результатами исследований ЭД-параметров системы «генератор-резонатор-сырье», компьютерном моделировании распределения ЭМП в резонаторах различной конфигурации, экспериментальных исследованиях выявивших эффективные режимы работы СВЧ-воскотопки, обработкой экспериментальных данных с использованием апробированных методик, апробацией разработанной СВЧ-воскотопки на предприятии Нижегородской области.

Положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационном исследовании доложены и одобрены на международных научно-практических конференциях в России и за рубежом, одобрены и оценены дипломами, сертификатами, опубликованы в 21 печатной работе, в том числе: 9 работах в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации, 1 работе в международной реферативной базе данных и системе цитирования Web of Science, 6 патентах на изобретения.

Научная новизна и значимость работы

Научную новизну диссертации составляют:

- способ вытопки пасечного воска воздействием ЭМП СВЧ, отличающийся от паровых воскотопок тем, что термообработка воскового сырья с отделением остаточного меда происходит в двухрезонаторных СВЧ-установках непрерывно-поточного действия;
- результаты исследования динамики диэлектрического нагрева двухкомпонентного воскового сырья с учетом изменения его электрофизических параметров;
- методика согласования ЭД-параметров системы «генератор–резонатор–сырье», включающая математические выражения, описывающие взаимосвязь размеров резонаторов разных конфигураций с собственной и нагруженной добротностью, напряженностью электрического поля в резонаторе и сырье, скоростью его нагрева;
- результаты исследования основных ЭД-параметров системы «генератор–резонатор–сырье» в программе CST Microwave Studio.

Теоретическую значимость работы составляют: математические выражения, определяющих взаимодействие геометрии резонаторов различной конфигурации с собственной и нагруженной добротностью, величиной напряженности электрического поля в резонаторе и сырье, динамикой нагрева сырья, входящие в методику согласования электродинамических параметров системы «генератор-резонатор-сырье»; использование методов расчета и распространения электромагнитных полей сверхвысокой частоты в двухсоставных резонаторах; учет особенностей распространения волн при движении двухкомпонентного сырья через специализированные конструкции полусферических резонаторов с переменным шагом витков фторопластового шнека; выявление взаимного влияния физико-химических и электрофизических характеристик воскового сырья на основные конструктивные и технологические параметры непрерывно-поточных СВЧ-воскотопок, позволяющее открывать новые подходы к поддержанию стабильного температурного режима при обработке сложного состава сырья.

Практическая значимость работы заключается в том, что: разработан способ вытопки пасечного воска с отделением мёда при воздействии ЭМП СВЧ и конструкционные исполнения радиогерметичных СВЧ-воскотопок непрерывно-поточного действия с состыкованными резонаторами (патенты РФ на изобретение № 2770496, № 2737142, № 2728659, № 2740095, № 2789490, № 2803541); создан опытный образец СВЧ-воскотопки с полусферическими резонаторами прошедший производственную проверку в ООО «МАКОШЬ» Шатковского района Нижегородской области; результаты научной работы используются в учебном процессе ГБОУ ВО «Нижегородский ГИЭУ»; определены теоретически и экспериментально подтверждены режимы и основные конструкционно-технологические параметры СВЧ-воскотопок; получены результаты согласования ЭД-параметров СВЧ-воскотопок с разными конструкционными исполнениями резонаторов с

удельной мощностью генераторов, электрофизическими параметрами двух-компонентного воскового сырья и скоростью его нагрева; обработаны результаты исследования основных ЭД-параметров системы «генератор–резонатор–сырье» в программе CST Microwave Studio, позволившие согласовать эффективные ЭД параметры с конструкционно-технологическими параметрами воскотопок; представлены предложения для дальнейшего проведения научных исследований по созданию радиогерметичных СВЧ воскотопок с металлокерамическими резонаторами большей производительности и системой дистанционного автоматизированного управления процессом в режиме реального времени.

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 результатах исследования динамики нагрева воскового сырья с учетом изменения его диэлектрических ($\epsilon_r = 2.31\text{--}2.39$; $k = 1.16\text{--}5.3$; $\text{tg}\delta = 0.49\text{--}2.25$) и теплофизических параметров ($\rho = 442\text{--}970 \text{ кг/м}^3$, $C = 1.05\text{--}2.93 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$) в процессе воздействия ЭМП СВЧ позволяющих обосновать скорость нагрева воскового сырья и продолжительность технологического процесса в зависимости от напряженности ЭП аргументирован, достоверен.

Второй вывод, касающийся разработки способа вытопки воскового сырья с отделением меда воздействием ЭМП СВЧ (патент № 2789490), реализованный в двухрезонаторных СВЧ-воскотопках непрерывно-поточного действия с магнетронами воздушного охлаждения, диэлектрическими транспортирующими механизмами в виде центрифуги, диска и нагнетательных шнеков аргументирован, достоверен. Вытопка воскового сырья с отделением 5–7 % меда происходит в комбинированных резонаторах разного конструктивного исполнения: 1) полусферические резонаторы с общим основанием (патент 2770496); 2) сферический резонатор в тороидальном резонаторе (патент 2737142); 3) цилиндрический резонатор-центрифуга со сферическим резонатором (патент 2728659); 4) последовательно состыкованные цилиндрические резонаторы (патент 2740095).

Третий вывод оценивает ЭД-параметры четырех резонаторов и обосновывает выбор состыкованных полусферических резонаторов для эффективного функционирования СВЧ-воскотопки. ЭД-параметры системы «генератор–резонатор–нагрузка», а именно собственная добротность (71329–94794), нагруженная добротность (44304–62324), напряженность ЭП (2,75–

7,31 кВ/см), согласованы с объемом резонаторов (60 л), удельной мощностью генераторов, производительностью СВЧ-воскотопки при нагреве до 45 °С меда и 64 °С пасечного воска. Результаты исследования аргументированы и являются достоверными и теоретически значимыми

Четвертый вывод оценивает эффективные режимы тепловой обработки воскового сырья в СВЧ-воскотопке, выявленные путем многокритериальной оценки процесса: производительность 29 кг/ч; удельная мощность генераторов 0,9 Вт/г при отделении меда от воскового сырья за 1,83 мин и 1,15 Вт/г при вытопке воска за 3 мин; скорость нагрева воска 0,15 °С/с. Результаты оценки органолептических показателей образцов вытопленного воска по 24-балльной шкале свидетельствуют, что цвет, запах и структура на изломе опытного образца на 4 балла выше контрольного образца (20 баллов); результаты микробиологических исследований вытопленного воска показывают снижение бактериальной обсемененности с 1,5 до 0,5 млн КОЕ/г при удельной мощности генератора не менее 1,15 Вт/г и продолжительности нагрева не менее 2,5 мин. В результате испытаний СВЧ-воскотопки непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами в пасечных условиях выявлено, что удельные энергетические затраты на вытопку воскового сырья с отделением меда составляют 0,13 кВт·ч/кг. Использование запредельного волновода диаметром 3,06 см и длиной 9 см для слива воска и меда, а также начальные и конечные витки шнека, выполненные из ферромагнитного материала, ограничивают распространение электромагнитной энергии СВЧ за пределы установки. Вывод аргументирован и достоверен.

В пятом выводе рассмотрен годовой экономический эффект от применения СВЧ-воскотопки производительностью 29 кг/ч в пасечных условиях составляет, составляющий 20970 руб. при объеме перерабатываемого сырья 580 кг за счет снижения эксплуатационных затрат и продажи дополнительного объема меда.

В заключении автор рекомендации и предложения производству, 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.

Рекомендации по использованию результатов исследований

Результаты исследований и изложенные в заключении диссертации общие выводы, позволяют на стадии проектирования и конструирования обосновать основные конструкционные и технологические параметры СВЧ-воскотопок непрерывно-поточного действия.

Основные теоретические и практические результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию в научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях при разработке новых устройств для вытопки воска и отделения меда.

Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка условных обозначений, списка литературы и приложений, изложена на 214 страницах компьютерного текста и содержит 150 страниц основного текста, включая библиографию из 164 наименований, 76 рисунков, 36 таблиц и 12 приложений.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулирована цель и задачи исследований, приведены научная новизна и практическая ценность работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе «Оценка современного состояния исследуемой темы» рассмотрены базовые способы вытопки воска, проанализированы объемы производства пчеловодческой продукции в РФ, приведен обзор существующих воскотопок и требований, предъявляемых к качеству пчеловодческой продукции, рассмотрены физические характеристики воска, сформулированы выводы по разделу указывающие на необходимость создания СВЧ-воскотопок непрерывно-поточного действия.

Во втором разделе «Теоретическое обоснование конструктивно технологических параметров СВЧ-воскотопок» представлены: особенности тепловой обработки воскового сырья; результаты расчета электродинамических параметров системы «генератор-резонатор-сырье»; результаты исследования напряженности ЭП в сырье при разных объемах загрузки воскового сырья; представлены результаты расчета интерференции волн в полусферическом резонаторе; приведены результаты трехмерного моделирования системы «генератор-резонатор-сырье» в программе CST Microwave Studio; выводы по разделу указывающие на достижение собственной добротности в полусферическом резонаторе – 87700 и возможности достижения расчетной производительности СВЧ-воскотопки - 27,6 кг/ч, при нагреве в первом резонаторе 45 °С и 65 °С во втором, при напряженностях электрического поля в сырье 4,88 и 11,3 кВ/см соответственно.

В третьем разделе «Разработанные двухрезонаторные СВЧ-воскотопки непрерывно-поточного действия» содержатся: частные методики исследований и измерительная аппаратура; машинно-аппаратная схема переработки воскового сырья; приведены описания, технологические схемы, 3D модели и технические характеристики разработанных двухрезонаторных СВЧ-воскотопок непрерывно-поточного действия для отделения мёда и вытопки пасечного воска; выводы по разделу указывающие, что рациональной конструкцией для применения в пасечных условиях можно считать СВЧ-воскотопку с полусферическими резонаторами, с тремя магнетронами воздушного охлаждения по 850 Вт, с фторопластовым нагнетательным шнеком, шаг винта которого в каждом полусферическом резонаторе согласован с длиной волны в сырье.

В четвертом разделе «Результаты исследования технологического процесса вытопки пчелиного воска с отделением мёда» приведены: алгоритм проведения экспериментальных исследований процесса вытопки воска с отделением мёда в СВЧ-воскотопке с полусферическими резонаторами; обос-

нование основных режимов работы СВЧ-воскотопок непрерывно-поточного действия; сравнением удельных энергетических затрат на вытопку пасечного воска с отделением мёда в воскотопках; обеспечение электромагнитной безопасности обслуживающего персонала; выводы по разделу указывающие на то, что разработанные, запатентованные способ вытопки воска и двухрезонаторные СВЧ-воскотопки с магнетронами воздушного охлаждения, непрерывно-поточного действия мощностью 3,58–4,17 кВт и производительностью 17–29 кг/ч обеспечивают вытопку пасечного воска с отделением 7 % меда с обеззараживанием воска (ОМЧ ниже 500 тыс. КОЕ/г) при воздействии электромагнитного поля сантиметрового диапазона (12,24 см), напряженностью электрического поля в сырье 4–10 кВ/см при сохранении потребительских свойств меда и воска.

В пятом разделе «Экономическая эффективность применения СВЧ-воскотопки в условиях пасеки» содержатся: затраты на вытопку пасечного воска по базовому варианту; экономические показатели внедрения СВЧ-воскотопки непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами; выводы по разделу, указывающие на то, что годовой экономический эффект от применения СВЧ-воскотопки производительностью 29 кг/ч в пасечных условиях составляет 20970 руб. при объеме перерабатываемого сырья 580 кг за счет снижения эксплуатационных затрат и продажи дополнительного объема меда.

В заключении диссертационной работы представлены выводы по проведенным исследованиям, которые характеризуются целостностью, логической последовательностью, соответствуют поставленным задачам и в полной мере отражающие теоретические и практические исследования автора.

В приложении приведены: акт апробации результатов научно-исследовательской работы в производственных условиях; акт об использовании в учебном процессе материалов диссертационной работы; порядок изготовления СВЧ-воскотопки с полусферическими резонаторами; хронометраж нагрева воскового сырья при разных удельных мощностях; протоколы оценки качества вытопленного воска и мёда; патенты, подтверждающие техническую новизну СВЧ-воскотопок и способа вытопки пасечного воска с отделением мёда; дипломы и сертификаты, подтверждающие участие автора в научных конференциях; расчёт электродинамических параметров СВЧ-воскотопок; принципиальная электрическая схема управления СВЧ-воскотопкой непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами; линейный многофакторный регрессионный анализ; рекомендации по эксплуатации СВЧ-воскотопки непрерывно-поточного действия; протокол измерений плотности потока энергии электромагнитного поля возле СВЧ-воскотопки.

Автореферат изложен на 20 страницах. Содержание автореферата соответствует предъявляемым требованиям и достаточно полно отражает основные положения и научные результаты диссертации, выносимые на защиту.

Замечания по диссертационной работе

1. Каким образом определена толщина поверхностного слоя алюминиевого корпуса резонатора в выражении (2.12)?
2. Как определяется удельная электропроводность меда в выражении (2.13)?
3. Каким образом обеспечивается равномерность нагрева пчелиного воска в СВЧ-воскотопке?
4. Как рассчитываются диэлектрические параметры воскового сырья, содержащего мед, и каким образом эти параметры влияют на глубину проникновения электромагнитной СВЧ-волны и проектирование подачи сырья в СВЧ-воскотопке?
5. В чем технологическое преимущество двухрезонаторной СВЧ-воскотопки с полусферическими резонаторами, по сравнению с остальными конструкциями воскотопок?
6. Каким образом обеспечена и электромагнитная безопасность процесса СВЧ-воскотопки?
7. Как СВЧ-воскотопка влияет на органолептические свойства воска и меда?
8. Добротность (2.12) и производительность (2.20) имеют одинаковое буквенное обозначение Q .

Завершенность и качество оформления диссертации

Диссертационная работа является завершенной, грамотно оформленной, содержит необходимые иллюстрации и таблицы, в полной мере отражающие полученные автором результаты исследований. По каждому разделу диссертации приведены соответствующие выводы. Содержание диссертационной работы соответствует поставленной цели и задачам исследований.

Диссертация и автореферат написаны технически грамотным языком, а структура и содержание автореферата отражает содержание диссертации.

Апробация результатов исследований и публикации

Основные положения диссертации и ее результаты доложены и одобрены на международных научно-практических конференциях в России и за рубежом.

По теме диссертации опубликована 21 научная работа, из них 9 – в ведущих рецензируемых журналах и 1 публикация в изданиях, индексируемых в международных базах данных, получено 6 патентов на изобретения. Общий объем публикаций по теме составляет 9,08 п.л., из которых 54 % принадлежит соискателю.

Заключение

Диссертационная работа Шевелева А.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований, изложены новые научно обоснованные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в повышение эффективности первичной переработки продукции пчеловодства.

Замечания, отмеченные в отзыве, носят частный характер. Направлены на повышение уровня научных исследований и могут быть исправлены в последующей работе соискателя.

В целом по уровню научной новизны, теоретической и практической значимости и реализации научных результатов, выводов и предложений, диссертационная работа Шевелева А.В. «Разработка СВЧ-воскотопок с обоснованием их параметров» отвечает критериям, изложенным в пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Шевелев Александр Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.2 - Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса.

Диссертационная работа, автореферат диссертационной работы, отзыв ведущей организации на диссертационную работу рассмотрены, обсуждены и одобрены на расширенном заседании кафедр «Энергетики и электротехнологии» и «Электротехники, электрооборудования и электроснабжения» ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ, протокол № 12 от 27 августа 2025 г.

Заведующий кафедрой «Энергетики и электротехнологии», д.т.н. по специальности 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве», профессор

Лекомцев
Петр Леонидович

Доцент кафедры «Электротехники, электрооборудования и электроснабжения», к.т.н., по специальности 05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве», доцент

Широбокова
Татьяна Александровна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ)

426069, Россия, ПФО, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, тел: +7(3412)58-99-47, E-mail: rector@udsau.ru, сайт: <https://udsau.ru/sveden/managers>

Подпись заверяю.
Начальник управления
кадрового делопроизводства
Удмуртского ГАУ



вх. 15.09.2025г.