

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Цугленка Николая Васильевича на диссертационную работу Шевелева Александра Владимировича, выполненную на тему «Разработка СВЧ-воскотопок с обоснованием их параметров», представленную к защите в диссертационный совет 72.2.016.02 при Государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.2 – Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса

Актуальность темы диссертации и её связь с государственными научными программами и соответствие требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по техническим дисциплинам

По данным Федерального закона о пчеловодстве, развитие современных методов обработки меда, воска и сопутствующих продуктов пчелиной жизнедеятельности является важнейшим фактором поддержки малого бизнеса и укрепления позиций российских фермеров на внутреннем рынке и экспортных направлениях.

Пчелиный воск представляет собой ресурс высокой ценности как для самого пчеловодческого дела, так и для экономики государства в целом, учитывая тот факт, что около 80% произведённого воска используется самой отраслью пчеловодства. Современная ситуация характеризуется значительным числом пчеловодческих предприятий в Нижегородской области, достигающим отметки в 1387 хозяйств, каждое из которых ежегодно производит большие партии воскового материала. Например, небольшие хозяйства, содержащие от 50 ульев, получают свыше 250 кг воска ежегодно, в то время как крупные предприятия с сотнями пчелосемей обрабатывают объем сырья, превышающий половину тонны.

Их обработка с использованием микроволновых технологий открывает перспективы извлечения дополнительного объема качественного натурального меда и чистейшего воска, позволяя перевести продукцию в высшую ценовую категорию относительно необработанных забруса и поврежденных сот.

Применение СВЧ-технологий в пчеловодстве позволяет улучшать качество производимых товаров, снижает затраты на хранение и транспортировку, повышает конкурентоспособность отечественного рынка меда и воска.

Использование малогабаритных высокочастотных устройств повышает эффективность дезинфекции, обеззараживания и стерилизации продукции, улучшая её безопасность и потребительские качества.

В связи с этим диссертационная работа Шевелева Александра Владимировича, направленная на снижение эксплуатационных затрат при вытопке воска и отделении мёда, является, своевременной и обоснованной для применения на пасеках Российской Федерации с применением экологически безопасной СВЧ технологии с разработкой непрерывных СВЧ-воскотопок, и ее следует считать актуальной, имеющей важное народнохозяйственное значение.

Работа выполнена согласно плану НИР ГБОУ ВО НГИЭУ.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность и новизна

Достоверность и обоснованность научных положений диссертации подтверждаются корректным использованием стандартных методик и сертифицированного оборудования при проведении лабораторных и производственных испытаний, а также достаточно высокой сходимостью расчетных и экспериментальных данных изложенных в:

- разработанном способе вытопки пасечного воска воздействием ЭМП СВЧ позволяющем отделить и сохранить остаточную фракцию меда;
- разработанных зависимостях и методике согласования основных электродинамических параметров резонаторов различной конфигурации с удельной мощностью генератора и их влияния на скорость нагрева двухкомпонентного воскового сырья;
- технологии и конструкционном исполнении СВЧ-воскотопки.
- разработанной и изготовленной воскотопки не имеющей мировых аналогов, испытанной в производственных условиях при объеме перерабатываемого сырья в 580 кг с годовым экономическим эффектом в 20 970 руб.

Основные результаты диссертационного исследования по защищаемым положениям сформулированы и изложены в пяти общих выводах диссертации и автореферата.

Первый вывод основан на результатах теоретических исследований, достоверен, содержит новые сведения и подтверждает второе и третье защищаемые положения и содержит информацию о результатах исследования динамики нагрева воскового сырья с учетом изменения его диэлектрических и теплофизических параметров при воздействии ЭМП СВЧ позволили обосновать скорость нагрева воскового сырья и продолжительность технологического процесса в зависимости от напряженности электрического поля и удельной мощности в рабочей камере СВЧ-генератора.

Второй вывод обосновывает первое научное положение и основан на разработанном способ вытопки воскового сырья с отделением меда (5-7 %) путём воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты, реализуемый в двухрезонаторных СВЧ-воскотопках непрерывно-поточного действия переработки сырья в различных типах комбинированных резонаторов различного

конструктивного исполнения: в полусферическом резонаторе с общим основанием; в сферическом резонаторе; в тороидальном резонаторе; в цилиндрическом резонаторе-центрифуге, с последовательно состыкованными сферическими цилиндрическими резонаторами, оснащенными магнетронами воздушного охлаждения и уникальными транспортировочными элементами, центрифуги, вращающегося диска и нагнетательными шнековыми механизмами выполненными из диэлектрика, имеющими техническую новизну (патенты: № 2789490; № 2770496; № 2737142; № 2728659; № 2740095; № 2803541).

Третий вывод основан на результатах экспериментальных исследований, достоверен, содержит новые сведения и подтверждает второе и третье защищаемое научное положение содержит оценку электродинамических параметров четырех резонаторов с обоснованием выбора полусферических резонаторов для эффективного функционирования СВЧ-воскотопки с экспериментальным обоснованием электродинамических параметров системы «генератор–резонатор–нагрузка», с собственной добротностью (71329–94794), нагруженной добротностью (44304–62324), напряженностью электрического поля (2,75–7,31 кВ/см), согласованными с объемом резонаторов (60 л), при нагреве меда до 45 °С и воска до 64 °С в СВЧ-воскотопки.

Четвертый вывод основан на результатах экспериментальных исследований, достоверен, содержит новые сведения и подтверждает третье защищаемое научное положение и информирует, что проведенные исследования показали высокую эффективность разработанной СВЧ-воскотопки непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами для переработки воскового сырья, при установлении оптимальных режимов эксплуатации: с производительностью аппарата 29 кг/ч, при варьировании удельной мощности генераторов при отделении меда до 0,9 Вт/г при вытопке воска до 1,15 Вт/г, обеспечивающая полную экстракцию продукта за 3 минуты при скорости нагрева 0,15 °С/с. Органолептическое тестирование показало превосходство опытных образцов воска над контрольными по цвету, аромату и структуре на изломе на четыре балла (оценочная шкала 24 балла). Микробиологическое исследование подтвердило значительное снижение бактериальной обсемененности (с 1,5 до 0,5 млн КОЕ/г) при оптимальной продолжительности нагрева и уровне мощности. Практические испытания подтвердили предполагаемые энергозатраты (0,13 кВт·ч/кг) и надёжность конструкции, обеспеченную специальным устройством слива (запределный волновод диаметром 3,06 см и длиной 9 см), а также диэлектрическим материалом начальных и конечных витков шнека, обеспечивающим радиогерметичность.

Пятый вывод основан на результатах экспериментальных исследований, достоверен, подтверждает третье защищаемое научное положение и содержит сведения по годовой экономии денежных средств за счет снижения эксплуатационных затрат и продажи дополнительного объема меда от внедрения разрабо-

танной СВЧ-установки в 20970 руб. при объеме перерабатываемого сырья 580 кг.

Значимость результатов исследований для науки и практики.

Предложенные теоретические зависимости и методика согласования электродинамических параметров системы «генератор резонатор–сырье» с удельной мощностью генераторов, электрофизическими параметрами двухкомпонентного воскового сырья и скоростью его нагрева не имеют аналогов. Результаты исследования динамики нагрева двухкомпонентного воскового сырья при воздействии электромагнитного поля сверхвысокой частоты и электродинамических параметров системы с резонаторами разной конфигурации служат основой для определения наиболее эффективных режимов функционирования СВЧ-воскотопок.

Практическая значимость заключается в создании СВЧ-воскотопка непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами и испытании и использовании в сельскохозяйственном производстве. Производственные испытания проведены в ООО «МАКОШЬ».

Новизна технологических и технических решений подтверждена 6-ю патентами на изобретения.

Оценка содержания диссертационной работы, ее завершенности в целом и качества оформления рукописи.

Диссертационная работа выполнена на 214 страницах компьютерного текста и содержит 150 страниц основного текста, в том числе титульный лист (1 с.), содержание (4 с.), введение (7 с.), 76 рисунков, 36 таблиц и 12 приложений.

Во введение представлена общая характеристика работы, цель, объект, предмет и методику исследований, обоснование актуальности. Отмечена новизна, практическая значимость, апробация работы и задачи исследования.

В первом разделе «Оценка современного состояния исследуемой темы» проанализированы объемы производства пчеловодческой продукции в РФ, приведен обзор существующих воскотопок и требований, предъявляемых к качеству пчеловодческой продукции, рассмотрены физические характеристики воска, приведены и выводы по главе.

Во втором разделе «Теоретическое обоснование конструктивно технологических параметров СВЧ-воскотопок» содержатся: особенности тепловой обработки воскового сырья; расчет электродинамических параметров системы «генератор-резонатор-сырье»; результаты исследования напряженности ЭП в сырье при разных объемах загрузки воскового сырья; интерференция волн в полусферическом резонаторе; трехмерное моделирование системы «генератор-резонатор-сырье» в программе CST Microwave Studio и выводы по главе

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 и выводы по главе.

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; обоснование 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 и выводы по главе.

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 и выводы по главе.

В приложениях представлены: акты, подтверждающие внедрение результатов НИР в хозяйстве и в учебном процессе, отражающие практическое применение результатов научных исследований; порядок изготовления СВЧ-воскотопки с полусферическими резонаторами; принципиальная электрическая схема управления СВЧ-воскотопкой; результаты экспериментальных исследований; рекомендации по эксплуатации СВЧ-воскотопки; копии патентов РФ, соавтором которых является соискатель; протоколы испытаний; дипломы.

Замечания по содержанию и оформлению диссертации.

Задачи, поставленные соискателем в начале исследований, выполнены. Текст диссертации изложен достаточно грамотным языком, материалы научных исследований сопровождаются схемами, таблицами, рисунками с применением современных компьютерных программ. Оформление диссертационной работы в целом соответствует требованиям нормативно-технической документации. Положительно оценивая диссертационную работу соискателя, считаю необходимым высказать следующие замечания.

Замечания по первому разделу.

1. В тексте диссертации изначально идёт речь о рабочей частоте СВЧ генератора 2450 МГц, (формула 1.4). Но в дальнейшем описании технологии речь идёт уже о длине волны, а не частоте и приводится для расчётов резонатора длина волны 12,24 см. Однако часть объёма в резонаторе занимает воск, ко-

торый имеет диэлектрическую проницаемость отличную от диэлектрической проницаемости воздуха, следовательно, скорость распространения волны будет уже не 299 792 км/с, а гораздо ниже.

2. Исходя из данных диэлектрической проницаемости воска по рис. 1.21, изменяющейся в пределах 2,35 - 2,31 в зависимости от температуры, можно рассчитать изменение скорости распространения электромагнитной волны. Скорость распространения электромагнитной волны в произвольной среде определяется по формуле $U=c/\sqrt{\epsilon_r}$, где c - скорость света, ϵ_r - диэлектрическая проницаемость среды. Отсюда следует, что скорость распространения электромагнитной волны в воске будет изменяться от 195942 км/с до 197232 км/с, изменится и длина волны. Следовательно, расчёт резонатора относительно длины волны 12,24 см является не однозначным и требует пояснения, как изменяется процесс плавления воска на других длинах волн в среде воска. Учитывая диэлектрическую проницаемость воскового сырья, стр.33, ($\epsilon_r = 2,39$) и мёда ($\epsilon_r = 2,94$), разница в возможных потребных размерах резонатора будет ещё больше, что скажется на согласовании рабочей полосы частот резонатора и генератора.

3. В типовых промышленных и бытовых воскотопках возможна загрузка целиком не очищенных рамок (рис. 1.4 ... 1.12) после откачки мёда в то время, как в предлагаемых СВЧ установках, необходимо загружать сырьё после ручной обработки рамок. Однако не описан процесс подготовки рамок для дальнейшей эксплуатации, что, вероятно, снижает экономическую составляющую применения воскотопок на основе СВЧ установок.

Замечания по второму разделу.

1. На странице 37 приведено «Для увеличения равномерности нагрева пчелиного воска можно возбуждать ЭМП в резонаторе 2–3 магнетронами, работающими на одной частоте или на разных частотах (например, 915 МГц и 2450 МГц...)». Возникает вопрос о выборе рабочей частоты магнетрона.

2. На страницах 36, 76 упоминаются «запределные волноводы» корректно ли это название? На странице 36 говорится, что «Резонаторная ЭД-система должна иметь устройства для непрерывной подачи сырья и выгрузки готовой продукции, обеспечивающие электромагнитную безопасность для обслуживающего персонала, например, запределные волноводы». Необходимы пояснения и уточнения.

3. Нет обоснования выбора типа магнетрона СВЧ генератора (стр. 37, 38). На странице 56 указано «...во втором резонаторе использовались магнетроны одной марки (работающие на одинаковой частоте, одной мощности, имеющие одинаковое анодное напряжение)», но не указана марка магнетронов.

4. Подвергается сомнению адекватность вычислений на стр. 56, определяющих оптимальное размещение пары магнетронов на поверхности полу-

сферического резонатора применительно к задаче идентификации пространственного распределения интерференционных экстремумов электромагнитных колебаний в среде, характеризующейся переменной величиной диэлектрической проницаемости, обусловленной свойствами исходного воскового сырья.

5. На стр. 58 приведено «...расстояние между излучателями S_1 и S_2 должно быть меньше 30,6 см и кратное половины длины волны, т. е. можно принять 24,48 см», пояснение не вносит ясности, поскольку длина волны составляет 12,24 см. Возможно фраза сформулирована не корректно.

6. На стр. 40, в таблице 2.1, в первом столбце в последней строке отсутствует значение температуры.

Замечание по третьему разделу

1. В списке оборудования для измерений (стр. 79) не представлены необходимые документы – сертификаты соответствия указанных приборов требованиям лабораторного исследования и свидетельства их калибровки, подтвержденные аккредитованной метрологической лабораторией.

2. Как контролировалась и регулировалась температура сырья?

3. В главе 3 идет повтор некоторых рисунков к главе 2.

Замечания по четвертому разделу.

1. Таблица 4.2. нуждается в дополнительных пояснениях.

2. Судя по описанию экспериментов в 4 главе, производилась плавная регулировка мощности магнетронов, но описание регулировки мощности, не представлено.

3. Какой организацией проводились результаты органолептической оценки?

4. Чем отличается воск от воскового сырья? В описании диссертации используется два разных термина.

Замечания по пятому разделу.

1. Первоначальная идея отказа от парогенератора оказывается не реализованной, а цена установки однозначно возрастает примерно вдвое. Так же возникают дополнительные затраты на ручной труд при обработке рамок, что почти полностью исключалось при принятой технологии.

2. Вызывает вопрос применение методики Водяникова В.Т. для обоснования общей годовой прибыли. Для лучшей подачи работы можно было бы использовать стандартную методику.

Замечания по оформлению:

1. В тексте диссертации встречаются опечатки и редакционные погрешности, также имеют место отдельные опечатки в виде морфемного аграмматизма.

Отмеченные в отзыве замечания не имеют принципиального значения, поскольку они имеют частный характер и могут быть учтены в последующей работе соискателя.

Оформление диссертационной работы и её редактирование

Текст диссертационной работы грамматически и стилистически изложен достаточно грамотно, графические материалы выполнены в основном четкими схемами и рисунками. Вместе с тем по оформлению работы имеются следующие замечания:

- В тексте диссертации присутствуют орфографические ошибки.
- Не совпадает название раздела: в автореферате «Теоретическое обоснование конструкционно технологических параметров СВЧ-воскотопок»; в диссертации «Теоретическое обоснование конструкционно технологических параметров СВЧ-воскотопки».

Однако общее количество такого рода погрешностей и неточностей невелико и оформление работы в целом отвечает предъявляемым требованиям.

Полнота опубликования основных результатов работы в печати и соответствие содержания автореферата основным положениям диссертационной работы

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 21 печатной работе, в том числе: 9 работ опубликовано в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации, 1 статья в международной реферативной базе данных и системе цитирования Web of Science, 6 патентов на изобретения, которые вполне отражают ее содержание. В свою очередь в автореферате сконцентрированы основные положения диссертации, которые достаточно полно отражают суть проделанной работы.

В приложениях представлены: акты, подтверждающие внедрение результатов НИР в хозяйстве и в учебном процессе, отражающие практическое применение результатов научных исследований; порядок изготовления СВЧ-воскотопки с полусферическими резонаторами; принципиальная электрическая схема управления СВЧ-воскотопкой; результаты экспериментальных исследований; рекомендации по эксплуатации СВЧ-воскотопки; копии патентов РФ, соавтором которых является соискатель; протоколы испытаний; дипломы.

Заключение

Диссертационная работа Шевелева Александра Владимировича является завершенным научным трудом. Отмеченные в отзыве недостатки не имеют

принципиального значения, носят частный характер, направлены на повышение уровня научных исследований и могут быть учтены в будущей работе соискателя.

По актуальности, новизне исследований и полученным результатам, достаточной степени обоснованности и достоверности основных выводов и рекомендаций, а также по уровню внедрения диссертационная работа соответствует требованиям раздела II «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 824), а её автор Шевелев Александр Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.2 – Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса.

Официальный оппонент:
доктор технических наук,
(специальность 05.20.02 – Электрификация сельского хозяйства, профессор, член-корр. РАН директор АНО ДПО; Солнечно-земной энергетики и биоэнергетики



Н.В. Цугленок

5.09.2025 г.

Цугленок Николай Васильевич

660049, Россия, Красноярский край, г. Красноярск, ул. Перенсона д.9 кв.7.

Тел. +7-902-940-67-02

E-mail: ntsuglenok@mail.ru АНО ДПО; Солнечно-земной энергетики и биоэнергетики

Вх. 15.09.2025 г.