

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ДВУХРЕЗОНАТОРНЫХ СВЧ-ВОСКОТОПОК  
НЕПРЕРЫВНО-ПОТОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ**

**А.В. Шевелев, соискатель,**

**О.В. Михайлова, д-р техн. наук, профессор,**

**М.В. Просвирякова, д-р техн. наук, доцент**

*ГБОУ ВО «Нижегородский инженерно-экономический университет»,  
г. Княгинино, Россия*

*Аннотация:* Предложена новая технология термообработки воскового сырья с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты в двухрезонаторных установках непрерывно-поточного действия. Разработана методика согласования электродинамических параметров системы «генератор-резонатор-сырье», позволяющая обосновать конструктивные и технологические параметры воскотопок. Приведены результаты моделирования в CST Microwave Studio и экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность разработанной конструкции СВЧ-воскотопки с полусферическими резонаторами.

*Abstract:* A new technology for the thermal treatment of wax raw materials has been proposed, utilizing the energy of an ultrahigh-frequency electromagnetic field in continuous-flow two-resonator installations. A methodology for synchronizing the electrodynamic parameters of the "generator-resonator-raw material" system has been developed, allowing for the justification of the structural and technological parameters of wax melters. Results of modeling in CST Microwave Studio and experimental studies are presented, confirming the effectiveness of the developed microwave wax melter design with hemispherical resonators.

*Ключевые слова:* пчелиный воск, СВЧ-воскотопка, объемный резонатор, электродинамические параметры, добротность.

*Keywords:* beeswax, Microwave wax melter, cavity resonator, electrodynamic parameters, quality factor.

### **Введение**

Одной из задач развития пчеловодства в РФ, согласно Федеральному закону № 490-ФЗ, является развитие научно-технической и инновационной деятельности в этой сфере. Значительную часть производимого воска (до 80%) пчеловодческие хозяйства расходуют на собственные нужды, поэтому эффективность его переработки напрямую влияет на рентабельность. Традиционные паровые воскотопки не позволяют отделить и сохранить остаточную фракцию меда (5–7%), растворяя ее в воде, и имеют низкую производительность [1]. Целью настоящего исследования являлась разработка двухрезонаторных СВЧ-воскотопок непрерывно-поточного дей-

ствия для термообработки воскового сырья с отделением остаточной фракции меда и обоснование их параметров.

### **Основная часть**

Теоретической основой работы послужила теория распределения ЭМП сантиметрового диапазона в двухкомпонентном сырье с изменяющимися электрофизическими параметрами. Для компьютерного моделирования распределения ЭМП в резонаторах использовалась программа CST Microwave Studio. Экспериментальные исследования проводились с применением стандартных методик, активного трехфакторного и рототабельного планирования эксперимента. Обработка данных осуществлялась в программах MS Excel и STATISTICA 12. Была разработана авторская методика согласования электродинамических (ЭД) параметров системы «генератор-резонатор-сырье» [2], включающая 12 последовательных шагов для расчета собственной и нагруженной добротности резонаторов, напряженности электрического поля (ЭП) в резонаторе и в сырье, удельной мощности и производительности установки. В результате исследований был разработан способ вытопки воска воздействием ЭМП СВЧ [3], реализованный в нескольких конструктивных исполнениях двухрезонаторных воскотопок (патенты РФ № 2770496, 2737142, 2728659, 2740095). Наиболее эффективной признана конструкция с полусферическими резонаторами (патент № 2770496). С помощью разработанной методики были оценены ЭД-параметры четырех типов резонаторов (таблица 1). Моделирование в CST Microwave Studio для полусферических резонаторов подтвердило высокую напряженность поля в сырье (4,64 и 25 кВ/см) и значения нагруженной добротности (53759 и 55765) [4]. Эффективные режимы работы были выявлены путем многокритериальной оптимизации. Для первого резонатора: удельная мощность 0,9 Вт/г, продолжительность воздействия 1,7 мин. Для второго: удельная мощность 1,15 Вт/г, продолжительность 3 мин. Производительность установки составила 29 кг/ч, удельные энергозатраты – 0,13 кВт·ч/кг.

Таблица 1 – Значения ЭД-параметров разработанных резонаторов

Конструкционное исполнение СВЧ-воскотопки	ЭД-параметры 1-го и 2-го резонаторов				
	Суммарная мощность генераторов, кВт	Собственная добротность	Нагруженная добротность	Напряженность в резонаторе, кВ/см	Напряженность в сырье, кВ/см
Полусферические резонаторы	0,85 / 1,7	79254/ 79254	49246 / 52175	3,06 / 6,11	4,88 / 11,4
Сферический резонатор в кольцевом	0,85 / 1,7	94794 / 71329	58878 / 46927	3,65 / 5,5	5,84 / 10,44
Цилиндрический резонатор со сферическим	0,85 / 1,7	71329 / 94794	44304 / 62364	2,75 / 7,31	7,31 / 13,87
Цилиндрические резонаторы	0,85 / 1,7	80224	51892 / 52783	3,09 / 6,18	5,57 / 11,5

### Заключение

Разработанная методика и конструктивные решения открывают новые перспективы для повышения энергоэффективности и качества обработки воскового сырья в пчеловодстве. В целом, данное решение может существенно повлиять на развитие технологий переработки воска и улучшение экономических показателей в отрасли.

#### Список использованной литературы

1. Shevelev, A. Justification of structural and technological parameters of micro-wave installations for heat treatment of wax raw materials / A. Shevelev, G. Novikova, M. Prosviryakova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 604. – P. 012008. DOI: 10.1088/1755-1315/604/1/012008
2. Шевелев, А.В. Согласование электродинамических параметров с объемом резонатора СВЧ-воскотопки / А.В. Шевелев // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 5 (156). – С. 70–81.
3. Пат. 2789490 Российская Федерация, МПК C11B 11/00. Способ вытопки воска с отделением меда / А.В. Шевелев, М.В. Просвирякова, Г.В. Новикова и др.; патентообладатель НГИЭУ. – № 2022111579; заявл. 28.04.2022; опубл. 28.08.2023, Бюл. № 4.
4. Шевелев, А.В. Теоретическое обоснование электродинамических параметров СВЧ-установки с полусферическими резонаторами для вытопки воска / А.В. Шевелев, М.В. Просвирякова, Г.В. Новикова и др. // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 10 (125). – С. 46–56.