УДК 621.365.5:637.12:638.1

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ЗАБРУСА НА ОСНОВЕ ОБЪЕМНОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВА

А.В. Шевелев, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Российская Федерация

Аннотация. В статье описан процесс повышающий энергоэффективность переработки забруса на основе объемного диэлектрического нагрева.

Abstract. The article describes a process that improves the energy efficiency of cappings processing based on volumetric dielectric heating.

Ключевые слова: энергоэффективность, нагрев, СВЧ-установка.

Keywords: energy efficiency, heating, microwave system.

Актуальность

Забрус является ценным многокомпонентным сырьем, содержащим воск, мед, прополис и другие компоненты, что усложняет его переработку. Традиционные способы характеризуются длительным нагревом, повышенными энергозатратами и образованием водно-восковой эмульсии. Перспективным решением является СВЧ-нагрев, обеспечивающий объемное и более интенсивное воздействие. Различия в диэлектрических свойствах компонентов забруса позволяют последовательно разжижать медовую фракцию и плавить воск, а непрерывно-поточная схема способствует сокращению продолжительности процесса и повышению производительности.

Исследование опирается на результаты разработки и анализа СВЧ-установок непрерывного действия для термообработки, измельчения, плавления и извлечения сельскохозяйственного сырья, представленные в работах [1-7], что позволяет обосновать выбор конструктивных решений, режимов СВЧ-нагрева и оценку энергетической эффективности предлагаемой технологии.

Результаты работы

Для переработки забруса рассмотрена двухстадийная организация процесса в объемном полусферическом резонаторе. На первой стадии обеспечивается нагрев медовой фазы до 45-50 °С. При этом мед разжижается и может быть отделен без достижения температуры плавления воска. На второй стадии энергетическое воздействие увеличивается, а температура восковой составляющей доводится

до 62-65 °С и выше, что обеспечивает переход воска в жидкое состояние. При последующем нагреве до 70-75 °С одновременно создаются условия для снижения микробной обсемененности. Такая последовательность позволяет разделить технологические операции и уменьшить нежелательное термическое воздействие на медовую фракцию.

Теоретическая оценка интенсивности объемного нагрева выполняется по зависимости

$$q = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon'' \cdot E^2, \qquad (1)$$

где q – объемная плотность мощности тепловыделения;

f – частота электромагнитного поля;

ε_0 – электрическая постоянная;

ε'' – мнимая часть комплексной диэлектрической проницаемости;

E – напряженность электрического поля.

При частоте $2{,}45 \cdot 10^9$ Гц интенсивность нагрева определяется диэлектрическими свойствами компонентов забруса. Влажная медовая фаза поглощает СВЧ-энергию интенсивнее воска, поэтому режим обработки зависит от мощности, продолжительности воздействия и состава сырья.

Рабочая зона включает загрузочное устройство, дозатор, шнековый транспортер, резонатор, магнетронный источник и систему отвода продукта. Полусферический резонатор диаметром 400–600 мм и шнековое перемещение сырья обеспечивают равномерность нагрева и непрерывность процесса.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика технологий переработки забруса

Показатель	Традиционная схема	СВЧ-схема
Продолжительность цикла	90-120 мин. и более	3-5 мин
Удельные энергозатраты	180-220 Вт·ч/кг	110-130 Вт·ч/кг
Температурные градиенты	до 20-30 °С	около 5-7 °С
Выход товарного воска	85-90 %	92-95 %
Снижение ОМЧ	40-50 %	60-75 %
Производительность	периодический режим	до 80-120 кг/ч

Сопоставление показателей (таблица 1) показывает эффективность объемного СВЧ-нагрева: удельные энергозатраты составляют 110-130 Вт•ч/кг, что на 35–40 % ниже традиционной технологии, а продолжительность цикла сокращается до 3-5 мин. Выход товарного воска достигает 92-95 % против 85-90 % при традиционной переработке.

Численное моделирование показало преимущества полусферической рабочей камеры: коэффициент неравномерности поля составляет 0,09-0,11 против 0,18-0,22 для цилиндрической, коэффициент вариации температурного поля - 0,08-0,10. Это снижает вероятность локального перегрева неоднородного сырья.

При удельной мощности 0,8-1,2 Вт/г медовая фаза нагревается до 45-50 °С за 60-90 с. После ее отделения повышение мощности до 1,5 Вт/г обеспечивает плавление воска. При 72 ± 3 °С в течение 180-240 с микробное число снижается на 60-75 %. Стабильность процесса обеспечивается автоматическим регулированием мощности с учетом влажности сырья.

При переработке 1000 кг забруса энергозатраты составляют 120-130 кВт•ч против 200-220 кВт•ч при паровой схеме, экономия - 70-90 кВт•ч/т. Исключение воды снижает образование эмульсии и технологических стоков.

Производительность линии достигает 80-120 кг/ч при коэффициенте загрузки 0,75-0,85. Для установки мощностью 3-5 кВт при переработке 2-3 т/год расчетный срок окупаемости составляет 2-3 года. Снижение затрат достигается за счет экономии энергии, повышения выхода воска и уменьшения трудоемкости.

Качество воска сохраняется: температура плавления – 62-65 °С, кислотное число – 17-19 мг КОН/г, выход – 92-95 %. Снижение потерь и предварительное отделение меда способствуют сохранению характеристик продукции.

Для выбора режимов применялись планирование эксперимента и регрессионный анализ. Для первого резонатора изменяли удельную мощность 0,6-0,9 Вт/г, время 1,1-1,7 мин и содержание меда 5-7 %. Наибольшее влияние на температуру имели мощность - 45 % и продолжительность - 38 %, взаимодействие факторов - 12 %, содержание меда - менее 5 %. Для второго этапа влияние мощности и времени становится более сопоставимым вследствие изменения диэлектрических свойств сырья.

Заключение

Применение объемного диэлектрического нагрева обеспечивает интенсификацию переработки забруса, разделение медовой и восковой фракций, снижение энергозатрат и микробной обсемененности. Полусферический резонатор и шнековое перемещение способствуют равномерному и непрерывному нагреву. Рациональный ре-

жим включает нагрев меда до 45-50 °С, воска - до 62-65 °С, кратковременную обработку при 70-75 °С; продолжительность цикла составляет 3-5 мин, энергозатраты – 110-130 Вт•ч/кг, выход воска – 92-95 %, производительность – 80-120 кг/ч. Технология перспективна для малых и средних пчеловодческих хозяйств; дальнейшие исследования целесообразно направить на уточнение диэлектрических характеристик сырья, автоматизацию управления и моделирование при масштабировании установки.

Список использованной литературы

1. Новикова Г.В., Тихонов А.А., Михайлова О.В., Просвирякова М.В., Воронов Е.В., Сторчевой В.Ф., Фёдоров М.Е., Коршиков Д.Д. СВЧ-установка с коническим резонатором для термообработки при измельчении жиросодержащего мясного сырья в непрерывном режиме. Патент на изобретение RU 2831716 C1, 12.12.2024. Заявка № 2023132692 от 05.12.2023. - EDN: DSKUBK.

2. Новикова Г.В., Просвирякова М.В., Тихонов А.А., Михайлова О.В., Басонов О.А., Сторчевой В.Ф., Фёдоров М.Е. Измельчитель-плавитель жиросырья непрерывно-поточного действия с СВЧ-энергоподводом в тороидальный резонатор. Патент на изобретение RU 2828678 C1, 16.10.2024. Заявка № 2023113463 от 23.05.2023.- EDN: SBLDZH.

3. Новикова Г.В., Тихонов А.А., Просвирякова М.В., Михайлова О.В., Басонов О.А., Фёдоров М.Е., Меженина Е.И. СВЧ-плавитель жирового сырья с барабанным резонатором. Патент на изобретение RU 2828404 C1, 11.10.2024. Заявка № 2023120304 от 01.08.2023.- EDN: GVNUGU.

4. Поручиков Д.В., Просвирякова М.В., Тихонов А.А., Федоров М.Е. Микроволновая установка для термообработки мышечных желудков птиц в непрерывном режиме // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91. № 6. С. 834-842.- DOI: 10.17816/0321-4443-629341.

5. Тихонов А.А., Новикова Г.В., Просвирякова М.В., Михайлова О.В., Басонов О.А., Фёдоров М.Е., Коршиков Д.Д. СВЧ-установка непрерывно-поточного действия для извлечения жира из костей убойных животных. Патент на изобретение RU 2825331 C1, 26.08.2024. Заявка № 2023120303 от 01.08.2023. - EDN: MBTIXI.

6. Тихонов А.А., Просвирякова М.В., Федоров М.Е., Коршиков Д.Д., Монев А.А. Анализ вторичного мясного сырья убойных животных, выбор способа его термообработки и обеззараживания // В сборнике: Современные тенденции развития аграрной науки. Сборник трудов по итогам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, приуроченной к 10-летнему юбилею факультета перерабатывающих технологий. Нижний Новгород, 2024. С. 64–71. – EDN: UNETJS.

7. Федоров М.Е., Тихонов А.А., Михайлова О.В. Электродинамические аспекты СВЧ-вытопки гусиного жиро-сырья в резонаторной установке // В сборнике: Приоритетные направления развития науки и практики: вызовы и перспективы XXI века. Сборник статей по материалам 77-й международной научно-практической конференции ФГБОУ ВО Костромской ГСХА. Караваево, 2026. С. 523–530.- EDN: SHWRPI.