УДК 637.5:621.365.5

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-ПЛАВИТЕЛЯ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ГУСИНОГО ЖИРОСЫРЬЯ

М.Е. Федоров, аспирант

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л. Я. Флорентьева», г. Нижний Новгород, Российская Федерация

maxim-fedorovnn@yandex.ru

Аннотация. Разработан непрерывно-поточный СВЧ-плавитель, обеспечивающий нагрев, вытопку и обеззараживание сырья при рациональном использовании электромагнитной энергии.

Abstract. A continuous-flow microwave melter has been developed that ensures the heating, melting, and sterilization of raw materials while making efficient use of electromagnetic energy.

Ключевые слова: непрерывно-поточный СВЧ-плавитель, нагрев, вытопка, обеззараживание сырья, электромагнитная энергия.

Keywords: continuous-flow microwave melter, heating, melting out, raw material decontamination, electromagnetic energy.

Введение

Переработка побочных продуктов птицеводства является перспективным направлением повышения ресурсной эффективности производства. Применение СВЧ-энергии позволяет интенсифицировать нагрев, сократить продолжительность обработки и повысить эффективность извлечения жира.

Цель работы – обоснование конструктивно-технических и энергетических параметров непрерывно-поточного СВЧ-плавителя, обеспечивающего нагрев, вытопку и обеззараживание сырья при рациональном использовании электромагнитной энергии. Перспективность применения СВЧ-технологий для термообработки различного сырья подтверждена многими исследованиями [1–10].

Основная часть

Исследования выполнялись применительно к системе «генератор–резонатор–сырье». В качестве рабочей частоты принята частота 2450 МГц, для которой в установке использованы три магнетрона типа 2М253К (JT) мощностью по 800 Вт. Суммарная номинальная выходная СВЧ-мощность составляет 2,4 кВт. Источники расположены симметрично с угловым смещением 120°, что способ-

ствует формированию интерференционного распределения электромагнитного поля в рабочем объеме. Рабочей камерой служит перфорированный усеченный конический резонатор объемом 64,9 л, размещенный внутри экранирующего цилиндрического корпуса.

Для выбора режима транспортирования учитывалась глубина проникновения СВЧ-волны в жиро-сырье. По расчетным данным, при повышении температуры от 25 до 120 °С глубина проникновения уменьшается от 4,4 до 0,6 см, тогда как тангенс угла диэлектрических потерь возрастает от 0,05 до 0,24. Следовательно, по мере нагрева способность сырья поглощать электромагнитную энергию увеличивается, а зона преимущественного энерговыделения становится более поверхностной. Поэтому шаг нагнетательного шнека согласован с условием формирования слоя сырья, не превышающего двух глубин проникновения волны. Конструктивная схема объединяет подачу, СВЧ-нагрев, вытопку и разделение сырья. В усеченном коническом резонаторе объемом 64,9 л осуществляется основной нагрев, а фторопластовый шнек внутри перфорированного цилиндра транспортирует шквару, извлекает остаточный жир и участвует в замедлении электромагнитной энергии. Цилиндрический керамический отражатель возвращает часть энергии в рабочую зону. При суммарной мощности трех источников 2400 Вт расчетная рекуперация составляет 173 Вт, или 7,2 %. Совместно с тремя выпуклыми керамическими зеркалами радиусом 100 мм он обеспечивает наиболее интенсивное расчетное поле.

В CST Microwave Studio плотность потока мощности составила 884,84–8848,34 Вт/м², среднее значение – около 4866,59 Вт/м², напряженность электрического поля – до 1,68 кВ/см. При частоте 2450 МГц и трех магнетронах по 800 Вт температура 100 °С достигается за 6 мин. Температура около 80 °С достаточна для вытопки жира, 100 °С – для термообработки и обеззараживания, а повышение до 120 °С нежелательно из-за возможного пригорания шквары и ухудшения товарных свойств продукта.

Расчетная масса единовременной загрузки определяется при заполнении резонатора на уровне 20 % его объема. При объеме 64,9 л (таблица 1) и плотности гусиного жиросырья 925 кг/м³ формируется партия, перерабатываемая за один шестиминутный цикл. При непрерывной работе это соответствует расчетной производительности до 120 кг/ч. Полученный показатель связан не только с объемом рабочей

камеры, но и с согласованием шага шнека, времени термообработки и режима СВЧ-воздействия.

Таблица 1 – Основные расчетные показатели СВЧ-плавителя

Показатель	Значение
Объем резонатора, л	64,9
Количество магнетронов, шт..	3
Мощность одного магнетрона, Вт	800
Суммарная СВЧ-мощность, Вт	2400
Напряженность электрического поля, кВ/см	1,68
Время достижения 100 °С, мин	6
Производительность, кг/ч	до 120
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,0589
Рекуперируемая СВЧ-мощность, Вт	173
Коэффициент рекуперации, %	7,2

Энергетическая оценка установки учитывает непосредственное электропотребление магнетронов, электроприводов, вентиляторов охлаждения и цепей сигнализации. Для трех магнетронов анодная мощность принята равной 3,6 кВт, мощность цепей накала – 0,104 кВт, а непосредственно подводимая к магнетронам мощность – 3,704 кВт. С учетом двух электродвигателей суммарной мощностью 3,0 кВт, трех вентиляторов по 120 Вт и четырех сигнальных индикаторов расчетная мощность учтенных потребителей составляет 7,066 кВт. При производительности 120 кг/ч удельные энергетические затраты без учета потерь высоковольтных блоков питания равны 0,0589 кВт·ч/кг.

Экспериментальная программа предусматривала контроль температуры сырья, частоты вращения шнека, мощности СВЧ-установки, массы перерабатываемого материала и плотности потока электромагнитной энергии. Для этого использовались фототахометр DT-2234B, измеритель ПЗ-33-М, тепловизор UNI-T PRO Professional Thermal Imager, пирометр Testo 835 и электронные весы. Обработка результатов проводилась с использованием методов математической статистики и регрессионного анализа, включая планы второго порядка. В совокупности результаты расчетного и экспериментального этапов показывают, что рациональность конструкции определяется не отдельным параметром, а согласованностью электродинамической, теплотехнической и транспортной частей установки. Наибольший эффект достигается при сочетании

объемного СВЧ-нагрева, симметричного расположения генераторов, ограничения загрузки резонатора 20 % его объема и применения системы переотражения энергии.

Заключение

Разработан и обоснован непрерывно-поточный СВЧ-плавитель с тремя магнетронами по 800 Вт и перфорированным усеченным коническим резонатором объемом 64,9 л. Объемный СВЧ-нагрев в сочетании с диэлектрическим шнеком объединяет нагрев, вытопку и разделение сырья. При частоте 2450 МГц обеспечивается производительность до 120 кг/ч и нагрев до 100 °С за 6 мин, при удельных энергозатратах 0,0589 кВт·ч/кг. Цилиндрический керамический отражатель обеспечивает рекуперацию 173 Вт СВЧ-энергии, что соответствует 7,2 %. Совместное применение отражателя и трех выпуклых зеркал радиусом 100 мм обеспечивает наиболее благоприятное распределение электромагнитного поля.

Список использованной литературы

1. Исследование и разработка установки для предпосадочной обработки клубней картофеля воздействием электрофизических факторов / А.И. Котин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1 (52). С. 89-93.- DOI: 10.12737/article_5cceddba27b897.07399726.

2. СВЧ-установки для термообработки яиц / О.В. Михайлова [и др.] . М., 2025. - EDN: SEDSKY.

3. Осокин В.Л., Коробков А.Н., Белов А.А., Михайлова О.В., Новикова Г.В. Сверхвысокочастотная установка для обеззараживания сыпучего сырья в непрерывном режиме. Патент RU 2641705 C1, 22.01.2018. Заявка № 2016148587 от 09.12.2016.

УДК 637.5:621.365.5

ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ И ФАЗОВОЙ КОРРЕКЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СВЧ-ОБРАБОТКИ ЖИРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

А.А. Тихонов, канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л. Я. Флорентьева», г. Нижний Новгород, Российская Федерация

tichonov57@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрено влияние удельной мощности, продолжительности обработки и фазовой коррекции на эффективность СВЧ-обработки жиросодержащего сырья.