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.

Abstract. The study examines the influence of specific power, processing duration, and phase correction on the efficiency of microwave processing of fat-containing raw materials.

Ключевые слова: СВЧ-обработка, удельная мощность, фазовая коррекция, эффективность жиросодержащего сырья.

Keywords: Microwave processing, specific power, phase correction, efficiency of fat-containing raw materials.

Введение

Переработка жиросодержащего сырья птицеводства требует снижения микробной обсеменённости при минимальных энергозатратах и продолжительности нагрева. СВЧ-обработка обеспечивает объёмный подвод энергии, позволяя ускорить нагрев и совместить его с обеззараживанием. Основной проблемой остаётся неравномерность распределения электромагнитного поля, вызывающая зоны перегрева и недогрева. Исследования, проведенные различными авторами, посвящены применению СВЧ-энергии при термической обработке различных видов сырья [1–10], что свидетельствует о значительном потенциале данного способа воздействия. Для её устранения исследована фазовая коррекция с использованием диэлектрического керамического зеркала.

Цель работы – определить влияние удельной мощности, продолжительности обработки и фазовой коррекции на эффективность СВЧ-обработки жиросодержащего сырья.

Основная часть

Экспериментальная оценка показала выраженное снижение ОМЧ при переходе от исходного состояния к обработанному продукту. В исследованном диапазоне режимов микроволновое воздействие обеспечивало уменьшение микробной численности на 3–4 порядка, а при сочетании рациональных параметров снижение достигало 4–5 порядков. Таким образом, эффективность процесса определяется не только самим фактом СВЧ-нагрева, но и интенсивностью подвода энергии и условиями её распределения в сырье.

Для количественного описания изменения микробной численности использована экспоненциальная зависимость

$$N = N_0 \cdot e^{-kt}, \quad (1)$$

где N – текущая микробная численность, 10^6 КОЕ/г; N_0 – исходная микробная численность; k – коэффициент инактивации, $с^{-1}$; t – продолжительность обработки, с.

Аппроксимация экспериментальных результатов позволила получить коэффициенты инактивации 0,00619 $с^{-1}$ при 2,67 Вт/г, 0,00883 $с^{-1}$ при 4 Вт/г и 0,0134 $с^{-1}$ при 8 Вт/г. Представленные значения показывают последовательное увеличение скорости инактивации микроорганизмов с ростом удельной мощности. Следовательно, повышение интенсивности энергоподвода сокращает время, необходимое для достижения требуемого санитарного эффекта.

Рисунок 1 позволяет сопоставить полученные коэффициенты непосредственно. В отличие от исходного представления результатов в виде кривых изменения ОМЧ во времени, здесь использовано столбчатое сравнение кинетических характеристик процесса, что наглядно показывает различие эффективности трёх энергетических режимов.

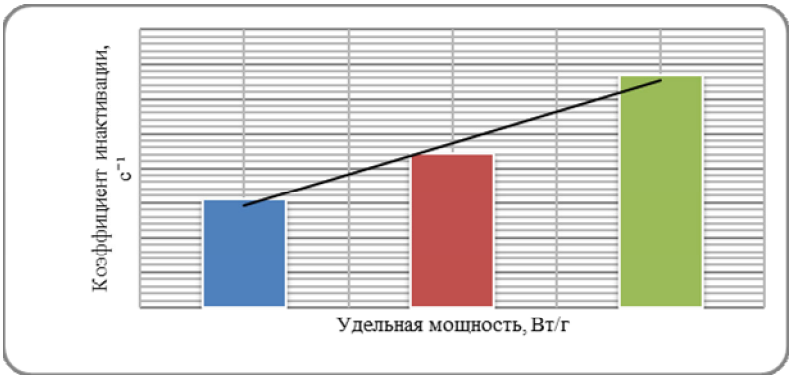


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента инактивации от удельной мощности СВЧ-обработки

Продолжительность обработки также оказывает влияние на санитарный результат, однако после достижения определённого температурного уровня дальнейшее увеличение времени воздействия становится менее эффективным. При длительной обработке возрастает риск ухудшения органолептических характеристик, поэтому предпочтение следует отдавать интенсивному кратковременному нагреву. В исследовании рациональным признан режим около 7 Вт/г при продолжительности 50 с.

Отдельно установлено влияние фазовой коррекции. При отсутствии керамического зеркала разброс температуры по объёму сырья составлял ±18–22 °C. После введения элемента фазовой кор-

рекции данный показатель уменьшался до ±6–8 °C. Таким образом, изменение фазовых соотношений электромагнитных волн сопровождалось более равномерным распределением температуры и устранением выраженных зон недогрева. При одинаковых энергетических параметрах использование фазовой коррекции обеспечивало дополнительное снижение ОМЧ примерно на 1,0–1,5 порядка.

Испытания проводили при толщине слоя продукта 30–50 мм и массе загрузки 0,5 кг. Температуру контролировали тепловизионной камерой и инфракрасным пирометром. Полученные результаты указывают, что управление структурой электромагнитного поля следует рассматривать как самостоятельный инструмент повышения эффективности СВЧ-установки, а не только как конструктивное дополнение к источнику мощности.

С практической точки зрения сочетание повышенной удельной мощности с фазовой коррекцией позволяет уменьшить время достижения необходимого температурного состояния и одновременно снизить вероятность сохранения жизнеспособных микроорганизмов в локальных холодных зонах. Для проектирования оборудования это означает необходимость согласования энергетических параметров с электродинамическими характеристиками резонатора и свойствами перерабатываемого материала.

При рациональном режиме обработки отмечено сохранение органолептических показателей на уровне 4–5 баллов по оценённым характеристикам консистенции, цвета и запаха. Зафиксировано также повышение относительной массовой доли жира и белка, связанное с удалением части влаги при нагревании. Одновременно удельные энергетические затраты, по результатам исследования, снижались на 25–30 % по сравнению с традиционными вариантами тепловой обработки.

Заключение

Проведённые исследования подтверждают возможность применения СВЧ-обработки для ускоренной микробиологической стабилизации жиросодержащего сырья птицеводства. Основным фактором, определяющим скорость снижения ОМЧ, является удельная мощность: увеличение её значения сопровождается ростом коэффициента инактивации с 0,00619 до 0,0134 $с^{-11}$.

Установлено, что применение керамического элемента фазовой коррекции уменьшает температурную неравномерность с ±18–22

до ±6–8 °С и обеспечивает дополнительное снижение ОМЧ на 1,0–1,5 порядка при сопоставимых энергетических условиях. Рациональное сочетание параметров характеризуется удельной мощностью около 7 Вт/г и продолжительностью воздействия 50 с.

Полученные результаты показывают, что совместное управление интенсивностью СВЧ-энергоподвода и пространственным распределением электромагнитного поля позволяет одновременно повысить санитарную эффективность, сократить продолжительность обработки и снизить удельные энергозатраты на 25–30 %. Это может быть использовано при разработке электротехнологических установок для переработки вторичного жиросодержащего сырья.

Список использованной литературы

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

2. Воронов Е.В., Новикова Г.В., Михайлова О.В. [и др.]. Микроволновая установка с тороидальным резонатором для термообработки жиросодержащего вторичного мясного сырья. Патент на изобретение RU 2834683 C1, 12.02.2025. Заявка № 2024104764 от 27.02.2024. - EDN: KHPKEC.

3. Шевелев А.В. Согласование электродинамических параметров с объемом резонатора СВЧ-воскотопки // Вестник НГИЭИ. 2024. № 5 (156). С. 70-81.- DOI: 10.24412/2227-9407-2024-5-70-81

4. Шевелев А.В. Обеспечение электромагнитной безопасности проектируемой СВЧ-воскотопки // Социально-экономические проблемы развития муниципальных образований. материалы и доклады Междун. науч.-практ. конф. 2021. С. 168-170.

УДК 664.942:621.3

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СВЧ-ЭКСТРУДЕРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ РЫБНЫХ ОТХОДОВ

Д.Д. Коршиков, аспирант

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

tichonov57@mail.ru

Аннотация. Предложена конструкция СВЧ-экструдера для переработки рыбных отходов, использование которого позволит обеспечить одновременное отделение жировой фазы и получение сухого экструдированного продукта.

Abstract. The construction of the SHF-extruder is proposed for the processing of fish waste, the use of which will allow simultaneous separation of the fat phase and the receipt of a dry extruded product.