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.

Ключевые слова: СВЧ-экструдер, переработка, рыбные отходы, жировая фаза, сухой экструдированный продукт.
Keywords: SHF-extruder, processing, fish waste, fatty phase, dry extruded product.

Введение

Переработка рыбного сырья сопровождается образованием отходов, содержащих воду, белки и жир, рациональное использование которых требует технологий, обеспечивающих снижение влажности, отделение жировой фазы и получение кормового продукта. Перспективным решением является совмещение объемного СВЧ-нагрева с транспортированием, уплотнением и экструзией. На этой основе разработан СВЧ-экструдер, рабочая камера которого объединяет функции нагрева, вытопки жира, обезвоживания и подготовки сырья к экструзии. Значительный объем исследований посвящен использованию СВЧ-энергии для термической обработки различных видов сырья [1–10], что подтверждает научно-практический интерес к развитию данного направления.

Основная часть

Анализ электрофизических свойств рыбного сырья показывает, что эффективность СВЧ-обработки зависит от состава и состояния материала. Диэлектрическая проницаемость и электропроводность изменяются в зависимости от температуры, содержания влаги и солей, степени свежести и частоты воздействия. Поэтому при проектировании СВЧ-аппарата необходимо учитывать неоднородность состава перерабатываемой массы.

Предлагаемый СВЧ-экструдер представляет собой непрерывно действующую систему. Основным элементом является рабочая камера-резонатор в виде неферромагнитной перфорированной перевернутой усеченной четырехгранной пирамиды, размещенной внутри наружной неферромагнитной прямоугольной призмы с наклонным основанием. Перфорация обеспечивает отвод жира и водяного пара, а наклонные поверхности – стекание жидкой фазы к патрубку с шаровым краном. В рабочей камере установлен неферромагнитный шнек с переменным шагом, выполняющий транспортирование, перемешивание и уплотнение сырья, а также функции диэлектрической замедляющей системы для формирования распределения СВЧ-поля. Уменьшение шага к выходу повышает механическое воздействие на материал. Подача сырья осуществляется через загрузочную

емкость с электроприводным ячеистым барабаном, обеспечивающим его дозированное распределение.

Для выравнивания распределения электромагнитной энергии предусмотрено керамическое зеркало фазовой коррекции. СВЧ-воздействие обеспечивают три магнетрона, расположенные под углом 120°: один на крышке и два на противоположных боковых стенках резонатора. Такое сочетание источников и шнека обеспечивает более равномерное воздействие электромагнитного поля на движущийся слой сырья. Технологическая последовательность работы аппарата представлена в таблице 1.

При прохождении сырья через рабочую камеру происходит объемный СВЧ-нагрев, сопровождающийся испарением влаги, вытопкой жира и изменением структуры материала. Жир и пар удаляются через перфорацию внутренней камеры, при этом жидкая фаза стекает по поверхностям наружной призмы и выводится из аппарата, а твердая масса продолжает перемещаться шнеком.

В выходной зоне уменьшение шага витков повышает степень уплотнения сырья, после чего оно поступает к ножу и матрице для экструзионного формования. Таким образом, операции «подача – СВЧ-нагрев — отделение жира и пара – уплотнение – экструзия» выполняются в одном технологическом блоке.

Таблица 1 – Технологические функции основных элементов СВЧ-экструдера

Этап	Основной элемент	Реализуемая функция
1	Загрузочная емкость и ячеистый барабан	Дозированная подача рыбных отходов
2	Перфорированная рабочая камера-резонатор	Объемный СВЧ-нагрев, вытопка жира и удаление пара
3	Шнек с переменным шагом	Транспортирование, перемешивание, уплотнение и воздействие на распределение СВЧ-поля
4	Наклонные поверхности наружной призмы	Сбор и отвод отделяемой жировой фазы
5	Нож, матрица и винтовое кольцо	Окончательная экструзия и формование продукта

Отличительной особенностью конструкции является объединение нагрева, дегидратации, отделения жировой фазы и экструзии в непрерывном процессе. В отличие от рассмотренных аналогов, разработанный аппарат сочетает шнековое транспортирование,

СВЧ-обработку, экструзию и отвод жира через перфорированную рабочую камеру.

Взаимодействие электрофизической и механической частей обеспечивает воздействие СВЧ-поля на перемещаемый и уплотняемый материал. Шнек задает время пребывания сырья в зоне обработки и участвует в формировании условий распространения электромагнитной энергии, а керамическое зеркало и трехточечная подача СВЧ-энергии способствуют распределению поля.

Объединение операций позволяет сократить число аппаратов и промежуточных транспортных операций, обеспечить непрерывную переработку и одновременное получение сухого экструдированного продукта и жировой фракции. Количественная оценка производительности, влажности продукта, степени извлечения жира и энергозатрат требует экспериментальных исследований.

Заключение

Разработанный СВЧ-экструдер объединяет в едином рабочем объеме транспортирование, СВЧ-нагрев, вытопку жира, удаление пара, уплотнение и экструзионное формование рыбных отходов. Электрофизическая часть включает перфорированный неферромагнитный резонатор, керамическое зеркало фазовой коррекции и три магнетрона под углом 120°, механическая – шнек с переменным шагом, загрузочный барабан, нож и матрицу. Конструкция обеспечивает одновременное отделение жировой фазы и получение сухого экструдированного продукта. Окончательная оценка эффективности требует экспериментального определения режимов обработки и технологических показателей продукта.

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. Микроволновый пастеризатор молока / Г.В. Новикова [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 6 (98). С. 126-133.

4. 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 на изобретение RU 2641705 C1, 22.01.2018. Заявка № 2016148587 от 09.12.2016. – EDN: LFQEUF.