

Радиоволновые установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения

*Г.В. Жданкин, к.э.н., Г.В. Новикова, д.т.н., профессор,
ФГБОУ ВО НГСХА; М. В. Белова, д.т.н.,
О.В. Михайлова, д.т.н., ГБОУ ВО НГИЭУ*

В соответствии с федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017–2025 гг., утверждённой 25.08.2017 г., производство высококачественных кормовых добавок из непищевых отходов убоя животных является актуальной задачей. В процессе убоя, обескровливания и потрошения животных и птиц накапливаются непищевые отходы. Из-за высокого содержания влаги в сырье (65–75%), являющейся хорошей средой для развития микроорганизмов, его варят в вакуумных котлах путём парового гидролиза, стерилизации и дальнейшего сепарирования жидкой фракции с большими затратами на электроэнергию (30 кВт·ч/т сырья) и пар (1200 кг/т сырья). Из-за длительности контакта сырья с высокотемпературным теплоносителем снижается качество кормового продукта, т.е. оставшаяся часть белка переходит в трудно расщепляемую форму. В настоящее время распространена технология экструзионной переработки биологических отходов, где в экструдере последовательно проходят операции перемешивания, сжатия, измельчения, нагрева, варки, стерилизации и формования продукта. Но при этом исходная влажность сырья не должна превышать 25%. Поэтому для агропредприятий малой и средней мощности разработка технологий и технических средств переработки непищевых отходов убоя животных, позволяющих производить белковый продукт при сниженных эксплуатационных затратах, актуальна.

Анализ новейших разработок ведущих мировых производителей СВЧ-установок для термообработки сырья позволяет выявить основные тенденции и перспективы развития рынка. Благодаря обеспечению резонаторно-лучевой электродинамической системы за счёт разделения объёмных резонаторов на две части и их передвижения нами создаются СВЧ-установки непрерывного режима работы [1–3].

Материал и методы исследования. Научно-методическая база исследования предусматривает решение комплекса взаимосвязанных задач:

- выявление эффективных моделей радиоволновых установок для непрерывного технологического процесса термообработки непищевых отходов убоя животных с наиболее приемлемыми конструкциями резонаторных камер для многокомпонентного сырья высокой влажности;

- согласование параметров электродинамической системы генератора и электрофизических характеристик многокомпонентного сырья с

конструкционно-технологическими параметрами и режимами работы СВЧ-установок;

- совмещение процессов термообработки непищевых отходов убоя животных с обезвоживанием путём центрифугирования, позволяющих снизить эксплуатационные затраты на производство белкового корма.

Результаты исследования. Торетические и экспериментальные исследования, направленные на разработку методик проектирования радиоволновых установок, получили развитие благодаря работам многих учёных [4–6].

Нами предлагается варить непищевые отходы животного происхождения в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) для повышения кормовой ценности белковой добавки. Для снижения эксплуатационных затрат на технологический процесс совмещены процессы термообработки и обезвоживания отходов убоя и переработки продукции животноводства.

Целью работы является повышение эффективности функционирования СВЧ-установок, обеспечивающих улучшение кормовой ценности белковых добавок, полученных путём термообработки непищевых отходов животного происхождения.

Объект исследования – технологические процессы, обеспечивающие термообработку многокомпонентного сырья, экспериментальные и опытные образцы СВЧ-установок; непищевые отходы животного происхождения.

Предметом исследования является выявление закономерностей воздействия ЭМП СВЧ на многокомпонентное сырьё высокой влажности для выявления рациональных режимов работы радиогерметичных установок в непрерывном режиме.

Исследование динамики нагрева многокомпонентного сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты. Удельные диэлектрические потери, следовательно, количество теплоты, выделяемое в единице объёма сырья, зависят от частоты и напряжённости электрического поля (E), от диэлектрических и физико-механических свойств сырья. С учётом изменения диэлектрических и физико-механических параметров, например крови, в процессе нагрева в ЭМП СВЧ определяли уравнение динамики её нагрева. Математическая зависимость температуры нагрева (T) крови от продолжительности (τ) воздействия ЭМП СВЧ описывается выражением:

$$T = \sqrt[1,88]{0,105 \cdot 10^{-5} \cdot E^2 \cdot \tau + 162,58}. \quad (1)$$

С учётом динамики нагрева сырья разработано несколько типов СВЧ-установок с разными конфигурациями резонаторных камер для производства белкового корма из непищевых отходов животного

происхождения. Разработаны резонаторы, обеспечивающие измельчение, обезвоживание и термообработку непищевых отходов убоя в периодическом и непрерывном режимах (рис. 1–9).

1. Сверхвысокочастотная установка с цилиндрическими резонаторами для варки непищевых отходов животного происхождения в периодическом режиме (рис. 1) содержит внутри цилиндрического экранирующего корпуса перфорированный диск-ротор из неферромагнитного материала. На вращающемся диске-роторе по периферии жёстко закреплены цилиндрические резонаторы с перфорированными основаниями, внутри которых с помощью фиксаторов установлены съёмные термостойкие диэлектрические контейнеры с силиконовым покрытием и перфорированными крышками. На открывающейся крышке экранирующего корпуса смонтированы генераторные блоки.

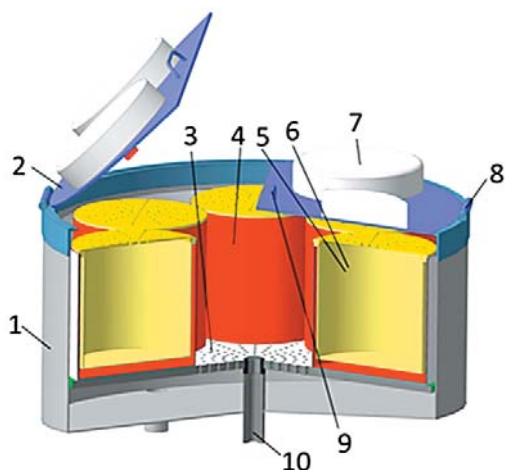


Рис. 1 – Установка с передвижными цилиндрическими резонаторами

2. Сверхвысокочастотная установка для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме (рис. 2) содержит рабочую камеру с механизмом фиксации и регулирования её угла наклона. Рабочая камера представлена в виде закрытого экранирующего корпуса, внутри которого по поперечному сечению параллельно установлены вращающиеся цилиндрические резонаторы, удерживающиеся на осях и ободках, прикреплённых к корпусу. При этом боковые поверхности резонаторов образованы витками безосевых шнеков так, что сечение витков представлено как лезвия ножа. На неферромагнитные основания каждого резонатора по периферии установлен ведомый венец, входящий зацеплением с ведущей шестернёй, установленной на вал соответствующего электродвигателя, причём со стороны диэлектрических оснований резонаторов на корпус установлены СВЧ-генераторы. Патрубок для загрузки сырья пристыкован к диэлектрическому основанию первого резонатора, под которым на дне корпуса имеется мелкоячеистый фильтр, а под последним резонатором дно корпуса перфорировано, куда пристыкован выгрузной патрубок.

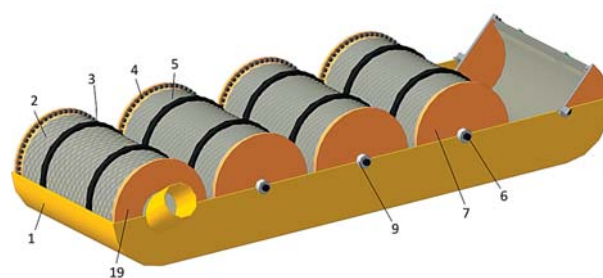


Рис. 2 – Установка с цилиндрическими барабанами-резонаторами из витков безосевого шнека в виде лезвия ножа

3. Многомодульная центробежная СВЧ-установка для термообработки сырья животного происхождения и отделения жидкой фракции (рис. 3) содержит цилиндрический корпус, внутри которого по периферии расположены рабочие камеры, состоящие из двух частей. Верхняя часть камеры из неферромагнитного материала представлена как соосно стыкованные периметрами большего и малого диаметров усечённые конические корпуса. Во внутреннем усечённом коническом корпусе к образующей пристыкована усечённая коническая часть резонатора, выполненная в виде тёрки с внутренней насечкой, а также установлен измельчающий механизм от волчка, а в нижней части рабочей камеры соосно расположены тарелка и поддон в виде усечённых конусов, установленных на вал электродвигателя. Причём образующая диэлектрической тарелки имеет прорези, а к кольцевому основанию неферромагнитного поддона, расположенного под наклоном, пристыкован сливной патрубок, и по центру имеется подставка в виде усечённого цилиндра, куда горизонтально установлена диэлектрическая тарелка с рёбрами жёсткости. В тарелку уложена и закреплена дисковая тёрка как основание конического резонатора. Сливные патрубки от всех рабочих камер направлены к центру корпуса, где расположена ёмкость для приёма жидкой фракции, а ёмкости для твёрдой фракции пристыкованы к образующей корпуса.

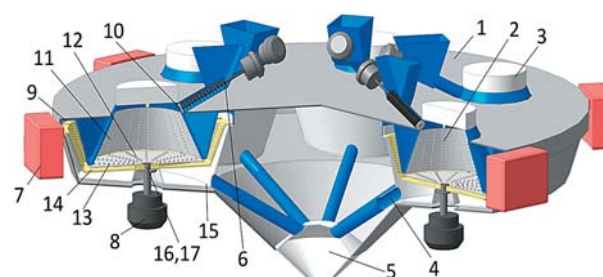


Рис. 3 – Установка с резонаторами в виде усечённого конуса-терки

4. СВЧ-установка со шнековым резонатором для термообработки непищевого сырья животного происхождения в непрерывном режиме (рис. 4) содержит цилиндрический корпус, выполненный

из двух половинок. Внутри нижней части корпуса расположен шнек. На винтовых поверхностях шнека имеются направляющие. Верхняя часть экранирующего корпуса открывается. На верхней части корпуса расположены загрузочный патрубок и СВЧ-генераторы. Загрузочный патрубок установлен с одной торцевой стороны корпуса, а с другого торца – выгрузной люк. Перфорированный лоток расположен на шнеке со стороны выгрузного люка.

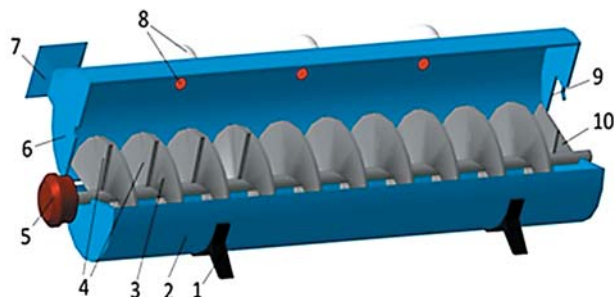


Рис. 4 – Установка со шнековым резонатором

5. Многоярусная СВЧ-установка для термообработки влажного сырья в непрерывном режиме содержит на монтажном столе поярусно расположенные цилиндрические корпуса (рис. 5). Внутри них соосно установлены цилиндрические перфорированные резонаторы с разными диаметрами. Основания резонаторов выполнены в виде тёрочных дисков с разными диаметрами, закреплённых на вертикально расположенный вал. Круглая поверхность стола служит нижним основанием цилиндрического

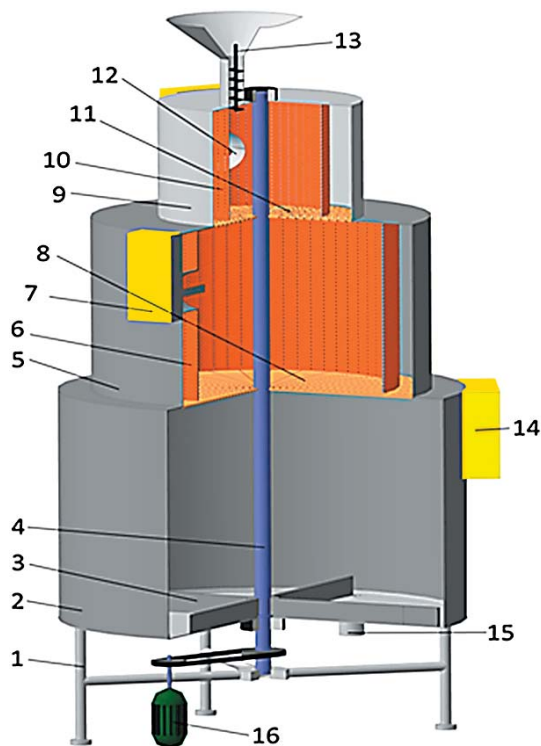


Рис. 5 – Установка с дифракционными поярусно расположенными цилиндрическими резонаторами

резонатора нижнего яруса, а над поверхностью расположен перемешивающий механизм. Нижними основаниями резонаторов являются тёрочные диски, диаметры которых больше диаметров резонаторов, соответствующих вышерасположенным ярусам. С боковой поверхности каждого экранирующего корпуса установлены СВЧ-генераторы. На верхнем основании корпуса первого яруса установлен измельчающий механизм с нагнетательным шнеком и загрузочной ёмкостью.

6. СВЧ-установка со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья (рис. 6) содержит внутри полусферического корпуса, расположенного в вертикальной плоскости, по периферии окружности жёстко установлены нижние перфорированные полусферы, которые стыкуются верхними полусферами, образуя перфорированные сферические резонаторы. Через центр основания крышки корпуса в рабочую камеру направлен измельчающий механизм, вокруг которого внутри крышки установлены электрогазоразрядные лампы, запитанные от генераторов килогерцовой частоты. По центру корпуса установлен неферромагнитный диск так, что его край находится внутри сферических резонаторов, где на стыке полусфер имеется прорезь, размером больше, чем толщина диска с радиально направляющими и сырьём. Корпус содержит сливной патрубок, соединённый с перекачивающим насосом.

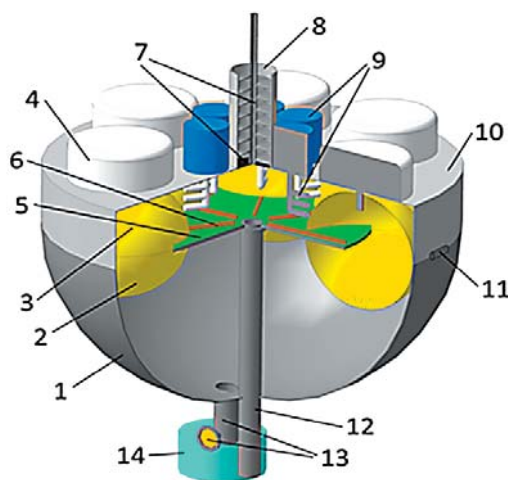


Рис. 6 – Установка со сферическими резонаторами

7. СВЧ-установка со сферическим резонатором для термообработки сырья животного происхождения в непрерывном режиме содержит в сферическом корпусе с приёмным и выгрузным патрубками вращающийся сферический резонатор с шаровым диэлектрическим поясом в верхней части (рис. 7). По вертикальной оси резонатора проложен диэлектрический вал. Верхние части корпуса и сферического резонатора максимально приближены друг к другу и имеют соосные отверстия для закрепления приёмного патрубка и диэлектрического

вала соответственно. С наружной стороны корпуса установлены измельчитель и СВЧ-генераторы. Сферический резонатор перфорирован, размеры отверстий перфорации и щелей согласованы с размерами частиц готовой продукции.

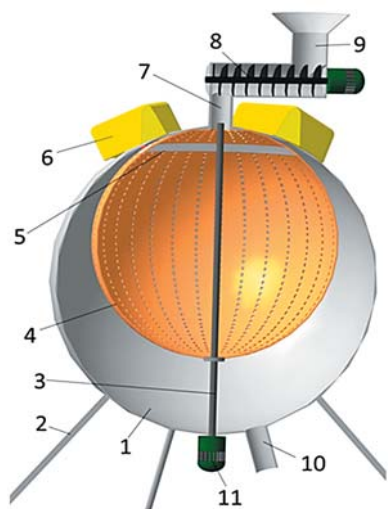


Рис. 7 – Установка со сферическим резонатором

8. СВЧ-установка с вращающимся цилиндрическим резонатором для термообработки сырья животного происхождения в непрерывном режиме представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого соосно расположен неферромагнитный цилиндр, выполненный в виде тёрки (рис. 8). Цилиндр жёстко установлен на диск, образуя ротор. Скорость вращения ротора изменяется. Корпус закреплён к амортизационным пружинам. На крышке корпуса установлены СВЧ-генераторы и приёмный патрубок, соединённый с пневмотранспортом и циклоном-разгрузителем. Под нижним основанием корпуса по центру установлен шатунный механизм, связанный через рычаг с кулачковым механизмом, который приводится в движение от электродвигателя. Амортизационные пружины, удерживающие экранирующий корпус, прикреплены к монтажным стойкам.

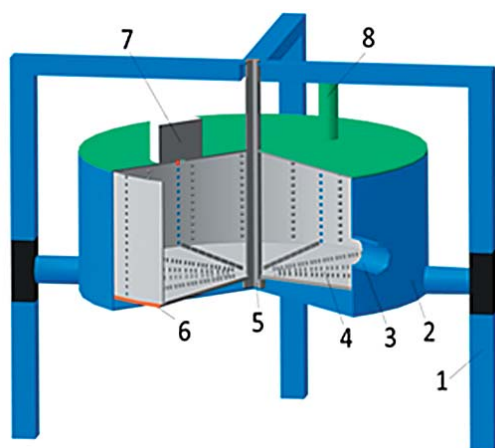


Рис. 8 – Установка с вращающимся цилиндрическим резонатором в виде тёрки

9. СВЧ-установка с цилиндрическим резонатором для термообработки обезвоженного сырья животного происхождения в непрерывном режиме. Разработанная и изготовленная СВЧ-установка (рис. 9) содержит цилиндрический корпус, внутри которого расположен цилиндрический резонатор. В этот резонатор направлено излучение трёх магнетронов. Причём магнетроны с волноводами установлены со сдвигом на 120 градусов с наружной стороны резонатора. Внутри резонатора расположен диэлектрический цилиндр, ограничивающий попадание сырья на волновод в процессе перемешивания с помощью вращающегося диска, расположенного на дне резонатора. Над цилиндрическим резонатором расположена центрифуга так, что жидкая фракция сырья сливается с периферии, а твёрдая фракция выгружается в диэлектрический цилиндр. Твёрдая фракция непищевых мягких отходов в цилиндрическом резонаторе подвергается воздействию ЭМП СВЧ, варится, обеззараживается и периодически выгружается через патрубок с шаровым краном.

Изготовлена установка с потребляемой мощностью 6 кВт, обеспечивающей производительность 45–50 кг/ч, при энергетических затратах 0,1–0,15 кВт·ч/кг. Мощность трёх генераторов – 3,3 кВт, мощность электродвигателя перемешивающего диска в резонаторе – 0,6 кВт, мощность электродвигателя вентилятора для охлаждения магнетрона – 0,24 кВт; мощность центрифуги – 0,32 кВт, мощность измельчающего механизма – 1,4 кВт.

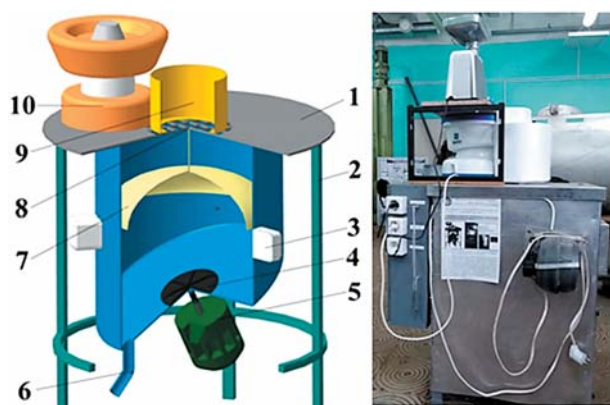


Рис. 9 – Установка с цилиндрическим резонатором и с тремя магнетронами

Вариация производительности разработанных установок возможна с использованием нескольких СВЧ-генераторов. Наличие нескольких источников в резонаторе обеспечивает равномерное распределение электрического поля в нём и соответственно равномерный нагрев сырья.

Выводы. Разработанные операционно-технологические схемы термообработки и обеззараживания непищевого мясного сырья воздействием ЭМП СВЧ и конструкционные схемы обеспечивают реализацию микроволновой технологии в непрерывном

режиме с соблюдением электромагнитной безопасности установок, оценённой по значению мощности потока излучений, не превышающей 10 мкВт/см^2 , при работе 8 часов в сутки.

Экономический эффект от применения СВЧ-установки для термообработки и обеззараживания непищевого мясного сырья в непрерывном режиме составляет в пределах 600 тыс. руб/год за счёт снижения эксплуатационных затрат.

Литература

1. Белова М.В., Жданкин Г.В., Новикова Г.В. Разработка сверхвысокочастотной установки контейнерного типа для термообработки крови и жиросодержащего сырья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (42). С. 74–78.
2. Жданкин Г.В., Новикова Г.В., Зиганшин Б.Г. Разработка рабочих камер сверхвысокочастотных установок для термообработки непищевых отходов мясного производства // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 1(50). С. 61–69.
3. Жданкин Г.В. Разработка и обоснование параметров многоярусной сверхвысокочастотной установки для термообработки влажного сырья в непрерывном режиме / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Б.Г. Зиганшин [и др.] // Научная жизнь. 2017. №4. С. 4–14.
4. Стрекалов А.В., Стрекалов Ю.А. Электромагнитные поля и волны. М.: РИОР: ИНФРА-М, 2014. 375 с.
5. Шамин Е.А., Б.Г. Зиганшин, Новикова Г.В. Разработка сверхвысокочастотной установки с цилиндрическими резонаторами для сушки пушно-мехового сырья в непрерывном режиме // Вестник НГИЭИ. 2017. № 9 (76). С. 57–64.
6. Цыганков А.В. Электротехнологические СВЧ-установки равномерного нагрева диэлектрических материалов на волноводах сложных сечений: дисс. ... канд. техн. наук. Саратов: СГТУ, 2003. 206 с.