

Е. В. Воронов¹
 Г. В. Новикова¹ ✉
 О. В. Михайлова¹
 П. В. Зайцев²
 М. В. Просвирякова³

¹ Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия

² Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Россия

³ Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия

✉ NovikovaGalinaV@yandex.ru

Поступила в редакцию:
26.12.2023

Одобрена после рецензирования:
11.03.2024

Принята к публикации:
27.03.2024

Evgeny V. Voronov¹
 Galina V. Novikova¹ ✉
 Olga V. Mikhailova¹
 Peter V. Zaitsev²
 Maryana V. Prosviryakova³

¹ Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russia

² Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia, 29 K. Marx Str., Cheboksary, Russia

³ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

✉ NovikovaGalinaV@yandex.ru

Received by the editorial office:
26.12.2023

Accepted in revised:
11.03.2024

Accepted for publication:
27.03.2024

Сравнительный анализ установок для термообработки непищевого мясного сырья воздействием электрофизических факторов

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Цели работы — разработка радиогерметичных установок и обоснование эффективной конструкции рабочей камеры, обеспечивающей комплексное воздействие электрофизических факторов на непищевое мякотное сырье для сохранения кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах. Научные задачи: 1) разработать установки с разными конструктивными исполнениями резонаторов; 2) провести сравнительный анализ рабочих камер по основным параметрам; 3) оценить технико-экономические показатели эффективной установки по отношению к базовому варианту.

Методы. Воздействие электрофизических факторов на сырье реализовано в резонаторах с магнетронами и генераторами частоты импульсно-моделированных высокочастотных колебаний 110 кГц, где высокопотенциальным электродом служит лампа бактерицидного потока.

Результаты. Разработано несколько радиогерметичных установок непрерывно-поточного действия с сверхвысокочастотным (СВЧ) энергоподводом в нестандартные резонаторы, внутри которых реализовано комплексное воздействие электрического поля высокой напряженности, бактерицидного потока УФ-лучей и озона для снижения бактериальной обсемененности продукта и нейтрализации запаха при термообработке сырья, размеры которых согласованы с глубиной проникновения волны.

Особенности конического и биконического резонаторов обеспечивают радиогерметичность при непрерывном режиме работы за счет отсечения вершины на уровне критического сечения, зависящего от угла наклона образующей конуса, позволяют сохранить стоячую волну внутри резонатора. Совмещенные магнетронного и цилиндрического резонаторов повышает эффективность взаимодействия электронного потока с полем СВЧ, а увеличение индуктивного объема, который является «резервуаром» энергии, повышает собственную добротность резонатора.

Квазиторoidalный резонатор, представленный как конический резонатор в тороидальном резонаторе, обладающий малыми габаритными размерами и металлоемкостью, обеспечивает в кольцевом пространстве бегущую волну, а в коническом — стоячую. Высокая напряженность электрического поля в конденсаторной части резонатора и коронный разряд в торе способствуют обеззараживанию сырья.

Ключевые слова: резонаторы, озонирование, бактерицидный поток, коронирующие иглы, электрогазоразрядные лампы, магнетроны, источники килогерцовой частоты

Для цитирования: Воронов Е.В., Новикова Г.В., Зайцев П.В., Михайлова О.В., Просвирякова М.В. Сравнительный анализ установок для термообработки непищевого мякотного сырья воздействием электрофизических факторов *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 123–131.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-123-131>

© Воронов Е.В., Новикова Г.В., Зайцев П.В., Михайлова О.В., Просвирякова М.В.

Comparative analysis of installations for heat treatment of non-food pulp raw materials by the influence of electrophysical factors

ABSTRACT

Relevance. The objectives of the work are to develop radio-hermetic installations and substantiate the effective design of the working chamber, which provides a comprehensive effect of electrophysical factors on non-food pulp raw materials to preserve feed value at reduced operating costs. Scientific tasks: 1) to develop installations with different designs of resonators; 2) to conduct a comparative analysis of the working chambers according to the main parameters; 3) to evaluate the technical and economic indicators of an effective installation in relation to the basic version.

Methods. The effect of electrophysical factors on raw materials is realized in resonators with magnetrons and frequency generators of pulse-modeled high-frequency oscillations of 110 kHz, where a bactericidal flux lamp serves as a high-potential electrode.

Results. Several continuous-flow radiohermetic installations with ultrahigh-frequency (microwave) power supply to non-standard resonators have been developed, inside which a complex effect of a high-intensity electric field, a bactericidal flow of UV rays and ozone is realized to reduce bacterial contamination of the product and neutralize odor during heat treatment of raw materials, the dimensions of which are consistent with the depth of penetration of the wave. Features of conical and biconic resonators – provide radio leakage in continuous operation by cutting off the tip at the level of the critical section, depending on the angle of inclination of the cone generator, and allow you to keep the standing wave inside the resonator. The combination of magnetron and cylindrical resonators increases the efficiency of the interaction of the electron flux with the microwave field, and an increase in the inductive volume, which is a “reservoir” of energy, increases the intrinsic quality of the resonator. A quasi-toroidal resonator, presented as a conical resonator in a toroidal resonator, having small overall dimensions and metal consumption, provides a traveling wave in the annular space, and a standing wave in the conical space. The high electric field strength in the capacitor part of the resonator and the corona discharge in the torus contribute to the disinfection of raw materials.

Key words: resonators, ozonation, bactericidal flow, corona needles, electric gas discharge lamps, magnetrons, kilohertz frequency sources

For citation: Voronov E.V., Novikova G.V., Zaitsev P.V., Mikhailova O.V., Prosviryakova M.V. Comparative analysis of installations for heat treatment of non-food pulp raw materials by the influence of electrophysical factors. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 123–131 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-123-131>

© Voronov E.V., Novikova G.V., Zaitsev P.V., Mikhailova O.V., Prosviryakova M.V.

Введение/Introduction

Высокая значимость переработки непищевого мякотного сырья для фермерских хозяйств [1] актуализирует важную задачу по разработке технологии и технических средств с источниками электромагнитных излучений. Существующие традиционные технологии с использованием конвективного нагрева сырья горячей водой или острым паром и установки для термообработки непищевого мякотного сырья с СВЧ-энергоподводом не позволяют в полном объеме обеззараживать и нейтрализовать неприятный запах сырья от жвачных животных [2–5]. В них предусмотрена термообработка воздействием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты, но не предусмотрены узлы для озонирования воздуха и обеспечения бактерицидного потока УФ-лучей [6]. Для обеззараживания и нейтрализации запаха концентрация озона в воздухе должна быть достаточно высокой, которую обеспечивают специальными озонаторами, в изолированных от персонала помещениях [7].

Анализ особенностей гибридной электротехнологической СВЧ-установки для обработки материалов в сельском хозяйстве [8] показывает возможность функционирования СВЧ-установки высокой эффективности. Но они предназначены для нетепловой модификации нитей в поле бегущей волны. Поэтому разработка инновационной технологии и технических средств переработки непищевого мякотного сырья с удалением неприятного запаха при термообработке и обеззараживании для сохранения кормовой ценности в условиях фермерских хозяйств актуальна [1–8].

Предлагаемая технология термообработки непищевого мякотного сырья предусматривает озонирование воздуха в объеме резонатора с источниками электромагнитного поля сверхвысокой частоты и бактерицидного потока УФ-лучей, при которых достигается эффект термообработки с обеззараживанием и нейтрализацией неприятного запаха непищевого мякотного сырья. Озонирование воздуха происходит путем коронирования бактерицидных ламп УФ-излучением, подключенных к источнику частоты импульсно-моделированных высокочастотных колебаний, которые являются высокопотенциальными электродами рабочего конденсатора между коронирующими неферромагнитными иглами.

Техническая проблема — низкая эффективность установок для термообработки вторичного мясного сырья с обеззараживанием и нейтрализацией неприятного запаха, решается путем разработки установок с СВЧ-энергоподводом в резонаторы нестандартных конструкций, обеспечивающие высокую напряженность электрического поля, озонирование и воздействие бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей при непрерывном режиме работы.

Цели работы — разработка радиогерметичных установок и обоснование эффективной конструкции рабочей камеры, обеспечивающей комплексное воздействие электрофизических факторов на непищевое мякотное сырье для сохранения кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах.

Научные задачи: 1) разработать установки с разными конструктивными исполнениями резонаторов; 2) провести сравнительный анализ рабочих камер установок по основным электродинамическим параметрам; 3) оценить технико-экономические показатели эффективной установки по отношению к базовому варианту.

Материалы и методы исследования/ Materials and methods

Объект исследования — нестандартные резонаторы, позволяющие реализовать комплексное воздействие электромагнитного поля сверхвысокой частоты, озона, бактерицидного потока УФ-лучей на сырье в непрерывном режиме при высокой напряженности электрического поля с обеспечением электромагнитной безопасности.

Исследуемое сырье — камеры желудка крупного рогатого скота, полученные после убоя в 2022–2024 гг. из фермерского хозяйства «КФХ Пирогова Р.А.» Нижегородской области. Трехмерное моделирование резонаторов нестандартных конструкций выполнено с помощью программы SolidWorks, Компас 3D V20 (ООО «АСКОН-Custemb1 проектирования», Россия).

Исследования электродинамических параметров нестандартных резонаторов, а именно напряженности электрического поля, собственной добротности с резонатора с учетом диэлектрических свойств непищевого мякотного сырья на частоте 2450 МГц проводились в научно-исследовательской лаборатории «Электроэнергетика и электротехника» Нижегородского инженерно-экономического университета.

В СВЧ-установках № 5, 6 (рис. 5, 6) предусмотрен принцип комплексного воздействия электрофизических факторов для термообработки непищевого мякотного сырья. В резонаторе предусмотрены лампы бактерицидного потока УФ-лучей, запитанные от генераторов частоты импульсно-моделированных высокочастотных колебаний 110 кГц [9, 10], по аналогии аппарата «Дарсонваль АМД-Искра-4» (ООО «ПрофМТ», Россия). При подаче на электроды (лампа и иглы) высоковольтного синусоидального напряжения (0,5–5 кВ) килогерцовой частоты (110 кГц) в баллоне лампы газ ионизируется и приобретает свойства проводника. Излучение, испускаемое разрядом, имеет спектральную составляющую в УФ-диапазоне, область «С». Электрогазоразрядные лампы бактерицидного потока УФ-излучения при расположении на расстоянии 0,5–1 см от неферромагнитной щетки начинают коронировать с сопровождением длинных искр. Коронный разряд возникает у щетки с тонкими неферромагнитными иглками. Зона вблизи щетки характеризуется более высокими значениями напряженности электрического поля (менее 15 кВ/см), вокруг электрогазоразрядных ламп возникает свечение в виде короны, происходят ионизационные процессы и озонирование воздуха. При этом основными действующими факторами являются бактерицидный поток, синусоидальный ток килогерцовой частоты, высоковольтный (3,5 кВ) коронный разряд, обеспечивающий озонирование воздуха и выделение тепла. Использование тока килогерцовой частоты дает высокую стабильность коронирующего разряда, что позволяет использовать лампы с большой поверхностью и получать коронный разряд в большом объеме, без перехода его в дуговой разряд [11].

Для выявления эффективного конструкционного исполнения резонаторов проведен сравнительный анализ отклонений от среднего значения интервалов варьирования критериев, характеризующих параметры резонаторов (напряженность электрического поля, собственную добротность резонатора, радиогерметичность, равномерность нагрева сырья, металлоемкость, энергетические затраты на технологический процесс).

В программе CST Microwave Studio (CST Computer Simulation Technology, США) [12–14] проведены

исследования электродинамических параметров каждого разработанного резонатора нестандартной конструкции.

Технико-экономическая оценка эффективности установки проведена по сравнению с волчком-варильником с паровой рубашкой (обогревом глухим паром). В нем совмещаются процессы измельчения и тепловой обработки сырья.

Теоретическую базу исследований формируют научные публикации отечественных и зарубежных авторов, раскрывающие основные аспекты возбуждения электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) в объемных резонаторах разной конструкции [15–18].

Проектирование установок с источниками электрофизических факторов проведено по авторской методике [19].

Технико-экономические показатели рассчитывали, опираясь на существующие методики¹.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В соответствии с поставленной целью разработаны несколько вариантов установки (табл. 1) для термообработки непищевого мякотного сырья комплексным воздействием электрофизических факторов в условиях фермерских хозяйств.

1. Установка с сверхвысокочастотным подводом энергии для высокотемпературного формирования вторичного биологического сырья (рис. 1) содержит резонатор 4 в виде усеченного конуса, на большом основании которого имеется загрузочная емкость 1 с электроприводной неферромагнитной задвижкой-измельчителем 2. Со стороны малого основания резонатора предусмотрен кольцевой зазор 10. Внутри резонатора соосно расположен фторопластовый электроприводной винтовой шнек 3 с шагом не более чем две глубины проникновения волны.

Таблица 1. Варианты установки для термообработки непищевого мякотного сырья комплексным воздействием электрофизических факторов

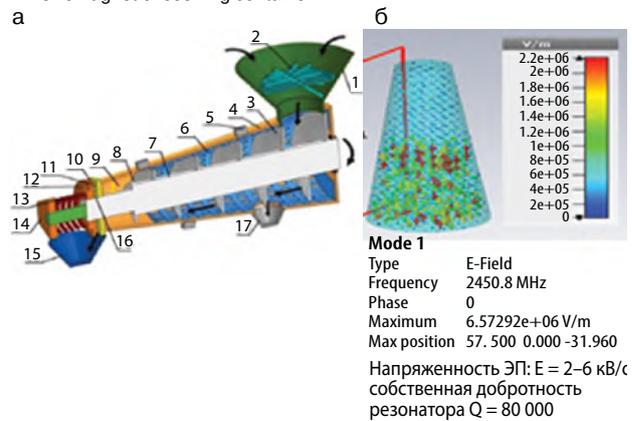
Table 1. Installation options for heat treatment of secondary meat raw materials under the complex influence of electrophysical factors

№ п/п	Наименование установки	Разработчики	Патент
1	Установка с сверхвысокочастотным подводом энергии для высокотемпературного формирования вторичного биологического сырья	Е.В. Воронов, А.А. Тихонов, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова	Патент № 2813916
2	Установка с СВЧ-энергоподводом в биконический резонатор для измельчения и термообработки вторичного сырья животного происхождения	Е.В. Воронов, А.А. Тихонов, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, В.Ф. Сторчевой	Патент № 2803127
3	СВЧ-установка с биконическим резонатором и пакетами тарелок для термообработки мясокостных конфискатов	Е.В. Воронов, А.А. Тихонов, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, Ю.А. Сергеев, В.Ф. Сторчевой	Патент № 2803127
4	СВЧ-установка с магнетронным резонатором для термообработки вторичного мясного сырья	Е.В. Воронов, А.А. Тихонов, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, В.Ф. Сторчевой, Ю.А. Сергеев	заявка на изобретение № 2023115065, решение о выдаче патента от 01.04.2024
5	СВЧ-установка для термообработки некондиционного вторичного мясного сырья воздействием электрофизических факторов	Е.В. Воронов, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, А.А. Тихонов, В.Ф. Сторчевой, Ю.А. Скворцов	Патент № 2813899
6	СВЧ-установка с квазиторондальным резонатором для термообработки и обеззараживания вторичного мясного сырья	Е.В. Воронов, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, А.А. Тихонов, В.Ф. Сторчевой	Заявка № 2023115728, решение о выдаче патента от 02.04.2024

¹ Морозов Н.М. Методические положения оценки экономической эффективности техники для механизации и автоматизации животноводства // Вестник «Экономика и организация инженерно-технических систем в АПК». 2017; 1: 52–59.

Рис. 1. Установка с СВЧ-энергоподводом: а) общий вид; б) электродинамические параметры (распределение напряженности ЭП в резонаторе, значения напряженности ЭП, кВ/см, собственная добротность резонатора); 1 — загрузочная емкость; 2 — задвижка-измельчитель; 3 — винтовой шнек; 4 — резонатор в виде усеченного конуса; 5 — магнетроны; 6 — диэлектрическое щелевое сито; 7 — диэлектрический вал шнека; 8 — диэлектрический винт; 9 — камера прессования; 10 — кольцевой зазор для извлечения термообработанного продукта; 11 — неферромагнитная стационарная кольцевая плита со стороны камеры прессования; 12 — вращающаяся неферромагнитная кольцевая плита; 13 — механизм прессования с амортизационной пружиной; 14 — гайка для регулирования кольцевого зазора; 15 — приемная емкость; 16 — неферромагнитная часть вала шнека; 17 — неферромагнитная приемная емкость

Fig. 1. Installation with microwave power supply: a) general view; b) electrodynamic parameters (the distribution of the EP intensity in the resonator, the values of the EP intensity, kV/cm, the intrinsic Q-factor of the resonator); 1 — loading tank; 2 — chopper valve; 3 — screw auger; 4 — resonator in the form of a truncated cone; 5 — magnetrons; 6 — dielectric slit sieve; 7 — dielectric screw shaft; 8 — dielectric screw; 9 — pressing chamber; 10 — annular gap for extracting heat-treated product; 11 — non-ferromagnetic stationary annular plate on the side of the pressing chamber; 12 — rotating non-ferromagnetic annular plate; 13 — pressing mechanism with shock-absorbing spring; 14 — nut for adjusting the annular gap; 15 — receiving container; 16 — non-ferromagnetic part of the screw shaft; 17 — non-ferromagnetic receiving container

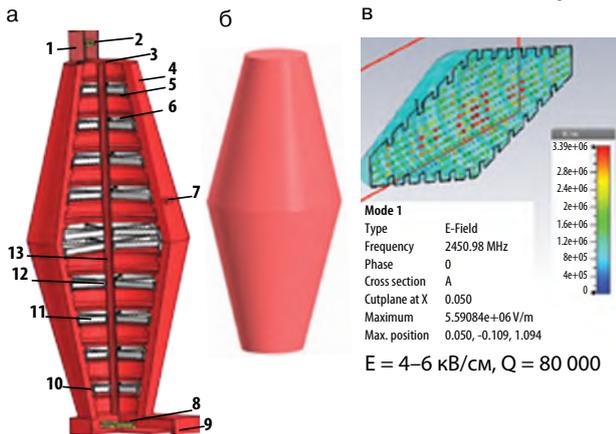


Конец диэлектрического вала 7 шнека находится в кольцевом зазоре, образованном между неферромагнитной кольцевой плитой 11, жестко прикрепленной к периметру открытого малого основания резонатора 4 и вращающейся неферромагнитной плитой 12 на неферромагнитном валу с механизмом прессования в виде амортизационных пружин 13, позволяющих регулировать кольцевой зазор. Последний винт 8 шнека расположен в начале камеры прессования 9. Причем соосно к внутренней обечайке резонатора жестко прикреплено щелевое диэлектрическое сито 6 в виде обечайки усеченного конуса длиной до камеры прессования. Магнетроны 5 с волноводами расположены по длине резонатора со сдвигом по периметру на 120°. Под кольцевым зазором имеется приемная емкость 15 для готовой продукции. Снизу, на наружной поверхности резонатора, имеется отверстие с сеткой для жидкой фракции, под которое установлена приемная емкость 17. Начиная с неферромагнитной стационарной кольцевой плиты 12, диэлектрический вал 7 шнека переходит в вал 16, на котором жестко закреплены неферромагнитные кольцевая плита 12 и механизм прессования 13, 14.

Основные преимущества: установка с СВЧ-энергоподводом в резонатор в виде усеченного конуса с соосно расположенным диэлектрическим щелевым ситом, фторопластовым винтовым шнеком позволяет провести термообработку вторичного мясного сырья при прессовании и фильтрации жидкой фракции. Недостаток: сложно регулировать кольцевой зазор.

Рис. 2. Установка с СВЧ-энергоподводом: а) общий вид; б) резонатор; в) электродинамические параметры (распределение напряженности ЭП в резонаторе, значения напряженности ЭП, кВ/см, собственная добротность резонатора); 1 — емкость; 2 — электроприводной неферромагнитный шнек; 3 — диэлектрический вал; 4 — биконический резонатор; 5 — неферромагнитные ножевые гребенки; 6 — диэлектрические колеса; 7 — магнетроны; 8 — электроприводной неферромагнитный шнек; 9 — приемная емкость; 10 — ободки из абразивного материала; 11 — диэлектрические полотна; 12 — диэлектрические ступицы; 13 — диэлектрические пальцы

Fig. 2. Installation with microwave power supply: a) general view; b) resonator; c) electrodynamic parameters (the distribution of the EP intensity in the resonator, the values of the EP intensity, kV/cm, the intrinsic Q-factor of the resonator); 1 — capacity; 2 — electrically driven non-ferromagnetic auger; 3 — dielectric shaft; 4 — biconic resonator; 5 — non-ferromagnetic knife combs; 6 — dielectric wheels; 7 — magnetrons; 8 — electrically driven non-ferromagnetic auger; 9 — receiving capacity; 10 — rims made of abrasive material; 11 — dielectric cloths; 12 — dielectric hubs; 13 — dielectric fingers



2. Установка с СВЧ-энергоподводом в биконический резонатор для измельчения и термообработки вторичного сырья животного происхождения (рис. 2). Содержит биконический резонатор 4 в виде усеченных конусов с общим основанием круглого сечения и с внутренней поверхностью, выполненной в виде неферромагнитных ножевых гребенок 5, высотой и шагом менее четверти длины волны. В пазах гребенок перемещаются абразивные ободки 10 колес 6 с диэлектрическими полотнами 11 с двухсторонней заточкой и ступицами 12. Колеса с помощью диэлектрических пальцев 13 попарно закреплены на диэлектрическом электроприводном валу 3. Они расположены соосно в биконическом резонаторе 4. На малых основаниях усеченных конусов расположены загрузочная 1 и приемная 9 емкости с неферромагнитными винтовыми шнеками 2 и 8. Отверстия для диэлектрических пальцев по высоте вала 3 сдвинуты так, что диэлектрические полотна в попарно расположенных колесах не перекрывают друг друга. Волноводы с магнетронами 7 расположены по периметру поверхности резонатора со сдвигом на 120° через равные промежутки по высоте.

Основные преимущества: инновационная идея состоит в том, что за счет гребенчатой внутренней поверхности биконического резонатора электрическое поле концентрируется на каждом ярусе колес и в конической части резонатора напряженность электрического поля увеличивается, то есть скорость нагрева сырья повышается. Установка с биконическим резонатором, внутренняя поверхность которого выполнена в виде чередующихся ножевых гребенок, между которыми расположены абразивные ободки колес с диэлектрическими полотнами, зазубренными с двух сторон, и колеса попарно закреплены, образуя ротор-измельчитель, обеспечивает ускорение процесса термообработки сырья. Можно измельчать и провести термообработку практически всех видов мясного сырья, реверсивный привод ротора-измельчителя

повысит ресурс изнашивания зубьев полотен и ножевых гребенок. Недостаток: сложность балансировки ободков колес между ножевыми гребенками.

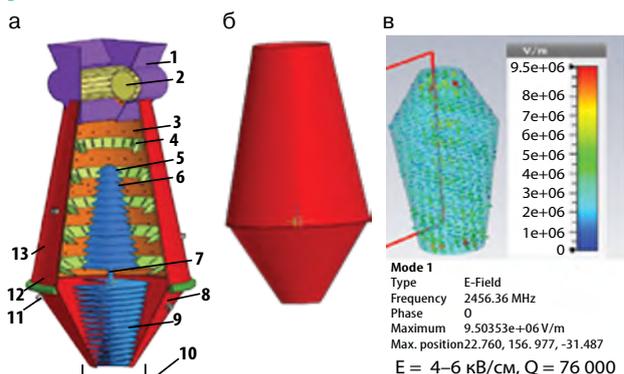
3. СВЧ-установка с биконическим резонатором и пакетами тарелок для термообработки мясокостных конфискатов (рис. 3).

Содержит в биконическом неферромагнитном резонаторе в виде конических обечайек 3, 8 соосно расположенные внешний 4 и внутренний 5, 6 пакеты фторопластовых тарелок в виде усеченных конусов. Внутренний пакет фторопластовых тарелок установлен на электроприводной диэлектрический вал 7 со спиральным диэлектрическим шнеком 9 в нижней конической обечайке 8 с уменьшающимся шагом и диаметром к выходу из резонатора. Верхняя обечайка 3 перфорирована и соосно расположена в экранирующем усеченном конусе 13, содержащем на верхнем основании неферромагнитную загрузочную емкость 1 с шестеренным нагнетателем 2, а по периметру нижнего основания — желоб 12. Шаг между фторопластовыми перфорированными тарелками в виде усеченных конусов внешнего пакета 4 менее, чем глубина проникновения волны в сырье. Под нижним основанием нижней неферромагнитной обечайки предусмотрена приемная емкость 10. Волноводы с магнетронами 11 расположены на поверхностях экранирующего корпуса 13 и нижней обечайки 8 со сдвигом на 120° по периметру и равномерно по высоте биконического резонатора.

Основные преимущества: установка с биконическим резонатором в экранирующей верхней обечайке, где соосно расположены наружные и внутренние пакеты фторопластовых тарелок в виде усеченных конусов, и электроприводной спиральный диэлектрический шнек в нижней обечайке обеспечивают термообработку и тонкое измельчение вторичного мясного сырья в

Рис. 3. СВЧ с биконическим резонатором: а) общий вид; б) резонатор; в) электродинамические параметры (распределение напряженности ЭП в резонаторе, значения напряженности ЭП, кВ/см, собственная добротность резонатора); 1 — емкость; 2 — шестеренный нагнетатель для измельчения и загрузки сырья; 3 — верхняя перфорированная неферромагнитная обечайка резонатора; 4 — внешний пакет фторопластовых перфорированных конических тарелок; 5 — верхняя сплошная фторопластовая коническая тарелка внутреннего пакета; 6 — внутренний пакет фторопластовых тарелочных конических тарелок; 7 — диэлектрический электроприводной вал; 8 — нижняя коническая неферромагнитная обечайка; 9 — диэлектрический спиральный шнек; 10 — приемная емкость; 11 — магнетроны; 12 — желоб для сбора жидкой фракции; 13 — экранирующий конический корпус

Fig. 3. Microwave with a biconic resonator: a — general view; b — resonator; c — electrodynamic parameters (the distribution of the EP intensity in the resonator, the values of the EP intensity, kV/cm, the intrinsic Q-factor of the resonator); 1 — container; 2 — gear supercharger for grinding and loading raw materials; 3 — upper perforated non-ferromagnetic shell of the resonator; 4 — outer package of fluoroplastic perforated conical plates; 5 — upper solid fluoroplastic conical plate of the inner package; 6 — inner package of fluoroplastic grating conical plates; 7 — dielectric electric drive shaft; 8 — lower cone-a non-ferromagnetic shell; 9 — a dielectric spiral screw; 10 — a receiving container; 11 — magnetrons; 12 — a trough for collecting liquid fraction; 13 — a shielding conical housing



непрерывном режиме в процессе тонкого измельчения. Электроприводной пакет терочных тарелок со спиральным шнеком в резонаторе позволяет управлять продолжительностью передвижения тонко измельченного и обезвоживаемого сырья при воздействии ЭМП СВЧ. Недостаток: сложность согласования частоты вращения спирального диэлектрического шнека с частотой вращения электропривода терочных тарелок.

4. СВЧ-установка (рис. 4) с магнетронным резонатором для термообработки вторичного мясного сырья содержит в вертикально расположенном неферромагнитном цилиндрическом экранирующем корпусе 3 соосно расположенный ситовый неферромагнитный цилиндрический резонатор 4. Внутри ситового резонатора соосно установлен фторопластовый винтовой шнек 2 без корпуса с крайними неферромагнитными винтами с шагом винта не более одной глубины проникновения волны и диаметром винта меньше диаметра ситового резонатора. На верхнем основании ситового резонатора 4 размещена загрузочная емкость 1 с задвижкой, а над открытым сегментом 11 нижнего основания ситового резонатора установлена приемная емкость 12. В кольцевом пространстве между цилиндрическим экранирующим корпусом 3 и ситовым цилиндрическим резонатором 4 равномерно по периметру размещены

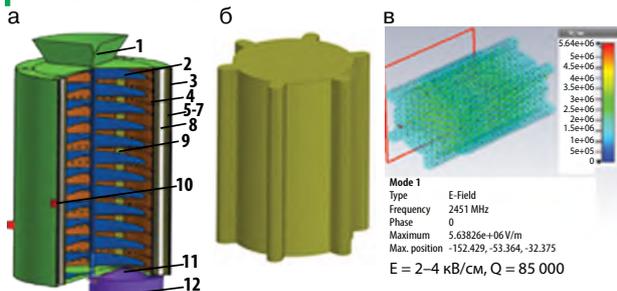
неферромагнитные перфорированные ячейки 5, 6 магнетронного резонатора с коронирующими ножевыми ребрами 7. Каждая ячейка магнетронного резонатора представлена в виде полуцилиндрического объема 6, соединенного с конденсаторными пластинами 5, перекрытыми увиолевым стеклом 9, являющимся сегментом обечайки ситового цилиндрического резонатора 4.

В каждую ячейку магнетронного резонатора направлен излучатель через волновод от магнетрона 10 воздушного охлаждения, размещенного со сдвигом на 60° по периметру поверхности неферромагнитного цилиндрического экранирующего корпуса 2 равномерно по высоте. В ячейках магнетронного резонатора соосно установлены электрогазоразрядные лампы 8.

Основные преимущества: совмещение магнетронного резонатора с цилиндрическим резонатором повышает эффективность взаимодействия электронного потока с полем СВЧ, а увеличение индуктивного объема, который является «резервуаром» энергии, повышает собственную добротность. Напряженность электрического поля достаточная для обеззараживания продукта (2–5 кВ/см). При мощности магнетронов 6 кВт и источников килогерцовой частоты 500 Вт производительность установки составляет 45 кг/ч при обработке измельченных комбинированных отходов. Удельная мощность генераторов — 0,5 кВт/кг, энергетические затраты составляют 0,144 кВт·ч/кг. Недостаток: в кольцевом пространстве между экранирующим корпусом и ситовым резонатором сложно разместить неферромагнитные перфорированные ячейки магнетронного резонатора с коронирующими ножевыми ребрами.

Рис. 4. СВЧ-установка: а — общий вид; б — резонатор; в — электродинамические параметры (распределение напряженности ЭП в резонаторе, значения напряженности ЭП, кВ/см, собственная добротность резонатора); 1 — загрузочная емкость; 2 — фторопластовый винтовой шнек; 3 — цилиндрический экранирующий корпус; 4 — цилиндрический ситовый резонатор; 5, 6 — перфорированные ячейки магнетронного резонатора с коронирующими ножевыми ребрами 7; 8 — трубчатые электрогазоразрядные лампы; 9 — увиолевые стекла; 10 — волноводы с магнетронами; 11, 12 — приемная емкость

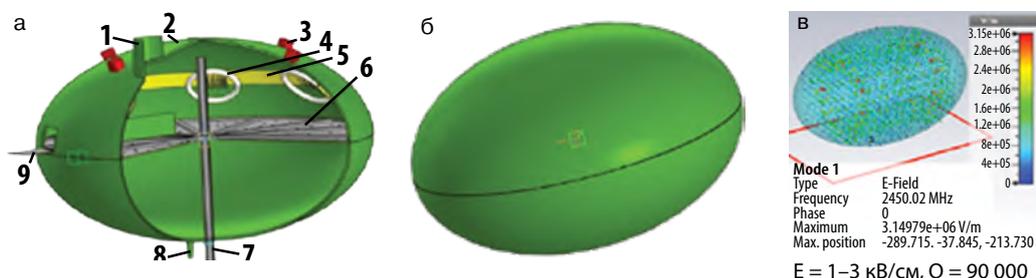
Fig. 4. Microwave with a biconic resonator: a — general view; б — resonator; в — electrodynamic parameters (the distribution of the EP intensity in the resonator, the values of the EP intensity, kV/cm, the intrinsic Q-factor of the resonator); 1 — loading em-bone; 2 — fluoroplastic screw screw; 3 — cylindrical shielding housing; 4 — cylindrical sieve resonator; 5, 6 — perforated cells of a magnetron resonator with corona knife ribs 7; 8 — tubular electric and gas discharge lamps; 9 — uviol glasses; 10 — waveguides with magnetrons; 11, 12 — receiving capacity



5. СВЧ-установка для термообработки некондиционного вторичного мясного сырья воздействием электрофизических факторов (рис. 5). Содержит в горизонтальной плоскости резонатор в виде сплюснутого сфероида 2. На его поверхности сверху по периметру со сдвигом на 60° размещены волноводы с магнетронами воздушного охлаждения 3. На внутреннюю поверхность с большим диаметром сфероида 2, где имеются коронирующие иглы 5, по периметру равномерно со сдвигом 45° установлены через зазор кольцевые электрогазоразрядные лампы 4, запитанные от импульсно модулирующих высокочастотных генераторов. Над нижним основанием сплюснутого сфероида 2 жестко установлена перфорированная фторопластовая тарелка 6 с открытым сегментом и вращающимися от электропривода секторными фторопластовыми отсеками 7, размеры которых согласованы с глубиной проникновения волны в сырье. На верхнем основании сфероида 2 установлена

Рис. 5. СВЧ установка: а — общий вид; б — резонатор; в — электродинамические параметры (распределение напряженности ЭП в резонаторе, значения напряженности ЭП, кВ/см, собственная добротность резонатора); 1 — загрузочная емкость; 2 — резонатор; 3 — волноводы с магнетронами; 4 — кольцевые электрогазоразрядные лампы; 5 — поверхность с коронирующими иглами; 6 — перфорированный фторопластовый электроприводной диск; 7 — фторопластовый вал; 8 — запредельный волновод с шаровым краном; 9 — окно для выгрузки продукта; 10 — фторопластовый ограничитель передвижения сырья

Fig. 5. Microwave with a biconic resonator: а — general view; б — resonator; в — electrodynamic parameters (the distribution of the EP intensity in the resonator, the values of the EP intensity, kV/cm, the intrinsic Q-factor of the resonator); 1 — loading tank; 2 — resonator; 3 — waveguides with magnetrons; 4 — annular electric and gas discharge lamps; 5 — surface with corona needles; 6 — perforated fluoroplastic electric drive disc; 7 — fluoroplastic shaft; 8 — out-of-bounds waveguide with ball valve; 9 — window for unloading product; 10 — fluoroplastic movement limiter Raw materials



загрузочная емкость 1 с заслонкой. На нижнем основании, под открытым сегментом тарелки 6, имеется открытый сегмент для размещения ферромагнитной приемной емкости 9.

Основные преимущества: в объемном резонаторе в виде сплюснутого сфероида установлены электрогазоразрядные лампы бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей, запитанных от источников килогерцовой частоты. Они обеспечивают озонирование, так как расположены близко к иглам, в зоне которых происходит коронный разряд. Недостаток: трудность обоснования месторасположения излучателей.

6. СВЧ-установка с квазитороидальным резонатором для термообработки и обеззараживания вторичного мясного сырья (рис. 6). Содержит в вертикальной плоскости тороидальный резонатор 1. У него центральная часть закрыта ферромагнитным верхним основанием, содержащим ферромагнитную загрузочную емкость 2. Центральная часть образует дополнительный резонатор в виде усеченного конуса 4, где по периметру верхнего основания расположены магнетроны с волноводами 3, а на образующей содержится коронирующие ферромагнитные иглы 7. Усеченный конус окружен поярусно расположенными электрогазоразрядными кольцевыми лампами бактерицидного потока, запитанными от источника килогерцовой частоты. Внутри резонатора в виде усеченного конуса соосно расположен электроприводной фторопластовый винтовой шнек 5 с ферромагнитными крайними винтами. На конец шнека прикреплен фторопластовый ротор 10, представленный отсеками. Ротор расположен над нижним основанием 11 тороидального резонатора, содержащим открытый сегмент, под которым установлена приемная емкость 12.

На нижнем перфорированном основании усеченного конуса по центру имеется отверстие диаметром, равным диаметру ферромагнитного винта шнека 5. На поверхности тороидального резонатора со сдвигом

на 120° на уровне конденсаторной части 9 расположены волноводы с магнетронами воздушного охлаждения. Установка представлена как квазитороидальный резонатор с соосно расположенным резонатором 4 в виде усеченного конуса, внутри которого установлен фторопластовый винтовой шнек, а в конденсаторной части расположен фторопластовый ротор с отсеками. Транспортирующие механизмы в виде фторопластового винтового шнека и фторопластового ротора работают от одного электропривода.

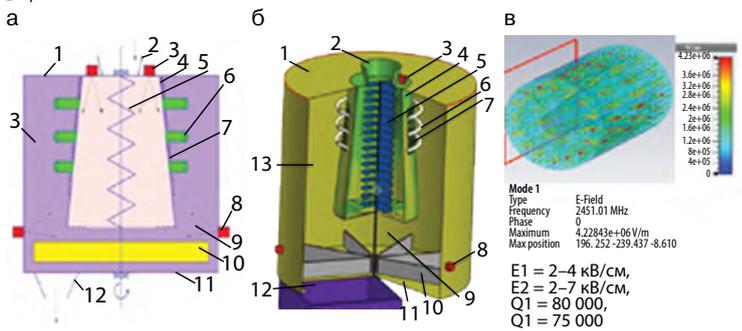
Технологический процесс обеззараживания и устранения неприятного запаха в процессе термообработки вторичного мясного сырья происходит следующим образом: загрузить измельченное вторичное мясное сырье в загрузочную емкость 2 при закрытой заслонке. Включить электропривод фторопластового винтового шнека 5 и генераторы килогерцовой частоты для запитывания кольцевых электрогазоразрядных ламп 6. После этого происходит коронный разряд между лампами и коронирующими иглами 7. При этом происходит выделение озона, образование бактерицидного потока УФ-лучей, «область С». Озон распространяется в торе 13 и конденсаторной части 9 тороидального резонатора. Далее включить электропривод фторопластового шнека 5 и ротора, открыть заслонку в загрузочной емкости 2. Сырье попадает в центральный резонатор в виде усеченного конуса 4, куда озон проникает через перфорации на его нижнем основании. Затем включить магнетроны 3, после попадания сырья в конденсаторную часть резонатора включить магнетроны 8. При передвижении сырья фторопластовым шнеком через центральный резонатор оно подвергается комплексному воздействию ЭМП СВЧ, озона. Сырье частично обеззараживается, равномерно нагревается в межвитковом пространстве, так как шаг винта не более одной глубины проникновения волны сантиметрового диапазона.

Далее сырье, попадая в отсеки ротора в конденсаторной части тороидального резонатора, варится, обеззараживается за счет электрического поля высокой напряженности и бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей, направленного от электрогазоразрядных ламп в тороидальной части 13 резонатора. Готовый продукт выгружается через открытый отсек на нижнем основании тороидального резонатора в приемную емкость 12. Размеры отсека согласованы с глубиной проникновения волны.

Существенное отличие установки: она представлена как резонатор в резонаторе, между их образующими имеется кольцевое пространство для бегущей волны и где расположены электрогазоразрядные лампы бактерицидного потока, запитанные от генератора килогерцовой частоты. Выше приведены разработанные установки с разными конструктивными исполнениями резонаторов для термообработки и обеззараживания вторичного мясного сырья с визуализацией распределения электрического поля в них с указанием напряженности электрического поля (E, кВ/см) и величины собственной добротности резонатора (Q). Технологический процесс обеззараживания и устранения неприятного запаха в процессе термообработки вторичного мясного сырья в предыдущих конструкциях (1–5) происходит аналогично, но при других электродинамических параметрах

Рис. 6. СВЧ-установка: а — общий вид; б — резонатор; в — электродинамические параметры (распределение напряженности ЭП в резонаторах, значения напряженности ЭП в каждом резонаторе, кВ/см, собственная добротность обоих резонаторов); 1 — квазитороидальный резонатор; 2 — загрузочная емкость; 3 — магнетроны на малом основании резонатора; 4 — резонатор в виде усеченного конуса; 5 — фторопластовый винтовой шнек; 6 — электрогазоразрядные лампы бактерицидного потока; 7 — коронирующие иглы; 8 — магнетроны на поверхности квазитороидального резонатора; 9 — конденсаторная часть квазитороидального резонатора; 10 — фторопластовый электроприводной ротор с отсеками; 11 — нижнее основание тороидального резонатора; 12 — приемная емкость; 13 — тороидальная часть резонатора

Fig. 6. Microwave with a biconic resonator: a — general view; b — resonator; c — electrodynamic parameters (the distribution of the EP intensity in the resonators, the values of the EP intensity in each resonator, kV/cm, the intrinsic quality of both resonators); 1 — quasi-toroidal resonator; 2 — loading capacity; 3 — magnetrons on a small base of the resonator; 4 — a resonator in the form of a truncated cone; 5 — fluoroplastic screw screw; 6 — electric gas discharge lamps of bactericidal flow; 7 — corona needles; 8 — magnetrons on the surface of a quasi-toroidal resonator; 9 — capacitor part of a quasi-toroidal resonator; 10 — fluoroplastic electric drive rotor with compartments; 11 — the lower base of the toroidal resonator; 12 — receiving capacity; 13 — the toroidal part of the resonator



и режимах работы (удельной мощности генератора, продолжительности воздействия электрофизических факторов). Недостаток: требуется защита электрогазоразрядных ламп от попадания сырья.

Проведена сравнительная оценка основных электродинамических и технологических параметров резонаторов: напряженности электрического поля; собственной добротности резонатора, мощности потока излучений; равномерности термообработки сырья; энергетических затрат; производительности установки. Результаты оценки показывают, что наилучшим по этим критериям является СВЧ-установка с биконическим резонатором и пакетами тарелок для термообработки мясокостных конфискатов (№ 3, патент № 2803127). Второе место занимает установка с магнетронными резонаторами (№ 4, заявка на изобретение № 2023115065). Технико-экономические показатели рассчитали, опираясь на существующую методику, предусматривающую оценку годового эффекта за счет разности приведенных затрат на технологический процесс (рис. 7).

За базовый вариант как более подходящий по производительности, рабочему объему (60 л) и мощности электродвигателя (2,1 кВт) принимали измельчитель-плавитель ИС-80. Он предназначен для измельчения, перемешивания и термообработки вязкого продукта, но при термообработке непищевого мякотного сырья при тонком измельчении производительность составит не более 50 кг/ч.

Экономический эффект от применения СВЧ-установки с магнетронным резонатором для термообработки непищевого мякотного сырья составляет 210 тыс. руб./месяц за счет снижения эксплуатационных расходов с 91 955 до 79 917 руб./месяц. СВЧ-установка с биконическим резонатором и пакетами тарелок находится на стадии изготовления.

Выводы/Conclusion

Разработаны радиогерметичные установки и обоснованы эффективные конструкции рабочих камер, обеспечивающих комплексное воздействие электрофизических факторов на вторичное мясное сырье. Собственная добротность резонаторов нестандартных конструкций в пределах 75–100, следовательно, термический коэффициент полезного действия достигает до 0,7–0,72. Напряженность электрического поля в резонаторах 4–7 кВ/см, достаточная для снижения бактериальной обсемененности мясного продукта до предельно допустимого уровня 500 тыс. КОЕ/г. Энергетические затраты на термообработку непищевого мякотного сырья комплексным воздействием электрофизических факторов в установках с резонаторами разных конструкций составляют 0,144–0,2 кВт·ч/кг.

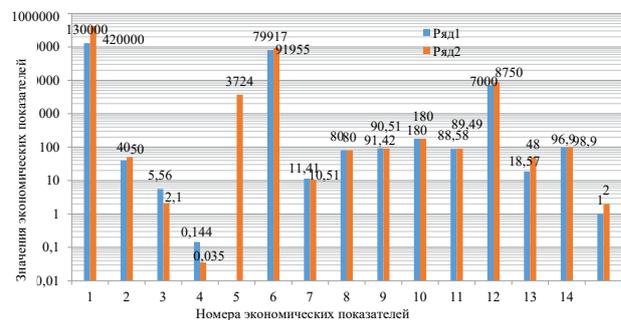
Особенности установок с нестандартными конструкциями:

1. Установка с СВЧ-энергоподводом в резонатор в виде усеченного конуса с соосно расположенным диэлектрическим щелевым сито, фторопластовым винтовым шнеком позволяет провести термообработку вторичного сырья животного происхождения в процессе прессования и фильтрации жидкой фракции.

2. За счет гребенчатой внутренней поверхности биконического резонатора электрическое поле концентрируется на каждом ярусе колес, а в конической части резонатора скорость нагрева сырья повышается. Ножевые гребенки, между которыми расположены абразивные ободки колес с диэлектрическими полотнами, зубуренными с двух сторон, обеспечивают ускорение

Рис. 7. Экономические показатели применения СВЧ-установки с магнетронными резонаторами: ряд 1-й — проектный вариант; ряд 2-й — базовый вариант; 1 — балансовая стоимость установки, руб; 2 — производительность установки, кг/ч; 3 — потребляемая мощность установки, кВт; 4 — потребляемая электроэнергия, кВт·ч/кг; 5 — расходы на потребление пара, руб./месяц; 6 — эксплуатационные расходы на термообработку сырья, руб./месяц; 7 — себестоимость расходов на термообработку сырья, руб./кг; 8 — цена непищевого мякотного сырья, руб./кг; 9 — себестоимость термообработанного продукта, руб./кг; 10 — цена реализации термообработанного мясного продукта, руб./кг; 11 — прибыль, руб./кг; 12 — объем термообработанного сырья, кг/месяц; 13 — капитальные затраты на технологический процесс, руб/(кг/месяц); 14 — рентабельность, %; 15 — срок окупаемости, месяц

Fig. 7. Economic indicators of the use of a microwave installation with magnetron resonators: row 1 — design option; row 2 — basic option; 1 — book value of the installation, RUB; 2 — installation capacity, kg/h; 3 — power consumption of the installation, kW; 4 — electricity consumption, kWh/kg; 5 — costs of steam consumption, RUB/month; 6 — operating costs for heat treatment of raw materials, RUB/month; 7 — cost of costs for heat treatment of raw materials, RUB/kg; 8 — price of non-food pulp raw materials, RUB/kg; 9 — cost of heat-treated product, RUB/kg; 10 — selling price of heat-treated meat product, RUB/kg; 11 — profit, RUB/kg; 12 — volume of heat-treated raw materials, kg/month; 13 — capital costs of the technological process, RUB/(kg/month); 14 — profitability, %; 15 — payback period, month



процесса термообработки сырья. Можно измельчать и провести термообработку практически всех видов мясного сырья.

3. Установка с биконическим резонатором в экранирующей верхней обечайке, где соосно расположены наружные и внутренние пакеты фторопластовых тарелок в виде усеченных конусов, и электроприводной спиральный диэлектрический шнек в нижней обечайке обеспечивают термообработку сырья в непрерывном режиме в процессе тонкого измельчения. Электроприводной пакет терочных тарелок со спиральным шнеком в резонаторе позволяет управлять продолжительностью передвижения тонкоизмельчаемого и обезвоживаемого сырья в процессе воздействия ЭМП СВЧ.

4. Совмещение магнетронного резонатора с цилиндрическим резонатором повышает эффективность взаимодействия электронного потока с полем СВЧ, а увеличение индуктивного объема, который является «резервуаром» энергии, повышает собственную добротность резонатора.

5. В объемном резонаторе в виде сплюснутого сфероида установленные электрогазоразрядные лампы бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей, запитанных от источников килогерцовой частоты, обеспечивают коронный разряд и озонирование.

6. Квазитороидальный резонатор, представленный как конический резонатор в тороидальном резонаторе, обеспечивает высокую напряженность электрического поля в конденсаторной части резонатора, а коронный разряд в торе способствует обеззараживанию мясного сырья.

7. Комплексное воздействие ЭМП СВЧ высокой напряженности электрического поля, бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей и озона обеспечивает снижение бактериальной обсемененности продукта и нейтрализацию запаха при термообработке непищевого мякотного сырья.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бельчихина А.В., Шибаев М.А., Клиновицкая И.М., Караулов А.К. Состояние системы утилизации и уничтожения биологических отходов животного происхождения в субъектах Российской Федерации. *Ветеринария сегодня*. 2019; (4): 54–60. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2019-4-31-54-60>
2. Крайнов Ю.Е., Михайлова О.В., Казаков А.В., Меженина Е.И. Разработка и обоснование параметров установок для высокотемпературного формирования комбинированного сырья. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019; (2): 84–89. <https://www.elibrary.ru/xbmgov>
3. Жданкин Г.В., Новикова Г.В., Белова М.В., Гоева В.В. Разработка технологии и СВЧ-установки с коническими резонаторами для термообработки непищевых отходов животного происхождения. *Вестник НГИЭИ*. 2018; (10): 55–64. <https://www.elibrary.ru/vljrsk>
4. Ершова И.Г., Поручиков Д.В. Повышение эффективности функционирования мясомассажера с источниками сверхвысокочастотной энергии при термообработке сырья. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019; (1): 34–45. <https://www.elibrary.ru/zawqax>
5. Воронов Е.В., Михайлова О.В., Просвирыкова М.В., Семёнов Д.А., Зайцев П.В., Юнусов Г.С. Сравнительный анализ СВЧ-грануляторов, реализующих электрофизические методы при переработке вторичного сельскохозяйственного сырья. *Аграрная наука*. 2022; (11): 81–87. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-81-87>
6. Новикова Г.В., Просвирыкова М.В., Михайлова О.В., Тихонов А.А., Фёдоров М.Е., Романов П.Н. Разработка установки с СВЧ-энергоподводом для измельчения и плавления жирсырья в нестандартном резонаторе. *Вестник НГИЭИ*. 2023; (1): 34–43. <https://www.elibrary.ru/momwof>
7. Леванчук А.В. Гигиеническая характеристика воздушной среды в зоне влияния дорожно-автомобильного комплекса. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2015; (1): 5. <https://www.elibrary.ru/rmadud>
8. Тухватуллин М.И. Конструкция гибридной СВЧ-электроустановки для обработки материалов в сельском хозяйстве. *Российский электронный научный журнал*. 2023; (3): 20–33. <https://www.elibrary.ru/mvcias>
9. Раханская Е.М. Дарсонваль: современный метод с вековой историей. *Аппаратная косметология*. 2017; (3–4): 134–138. <https://www.elibrary.ru/ytkzod>
10. Пискарев И.М. Образование окислителей и восстановителей под действием поверхностных микрозарядов при местной дарсонвализации. *Химия высоких энергий*. 2017; 51(5): 423–424. <https://doi.org/10.7868/S0023119317050114>
11. Белогловский А.А. и др. Об уточнении критерия оптимизации систем электродов для регулирования электрических полей в газовой изоляции высокого напряжения. *Промышленная энергетика*. 2023; (6): 2–7. <https://doi.org/10.34831/EP.2023.28.45.001>
12. Рябченко В.Ю., Пасльон В.В. Компьютерное моделирование объектов с помощью ПП CST Microwave Studio. *Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций*. 2018; (1): 139. <https://www.elibrary.ru/qikith>
13. Тригорлы С.В., Калганова С.Г., Кадькова Ю.А., Кожевников В.Ю., Сивак А.С., Юдина В.О. Моделирование СВЧ-нагрева диэлектриков с поглощающими СВЧ-энергию наполнителями в камерах с бегущей волной. *Вопросы электротехнологии*. 2020; (4): 15–23. <https://www.elibrary.ru/qtlxmd>
14. Тригорлы С.В., Захаров В.В., Алексеев В.С. Численное моделирование процессов плавления диэлектриков в СВЧ-установках лучевого типа. *Вопросы электротехнологии*. 2019; (2): 13–19. <https://www.elibrary.ru/whndk>
15. Коломейцев В.А., Кузьмин Ю.А., Никуйко Д.Н., Захаров А.А. Электродинамические и тепловые свойства СВЧ-печей при различных способах и системах возбуждения электромагнитного поля в рабочей камере. *Вопросы электротехнологии*. 2014; (2): 28–35. <https://www.elibrary.ru/ucnrqv>
16. Титов Е.В., Сошников А.А., Васильев В.Ю., Соловской А.С. Компьютерное моделирование наложенных электромагнитных волн от источников электромагнитного поля в широком диапазоне частот. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2022; (3): 102–108. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-102-108>
17. Титов Е.В., Крюков А.В., Середкин Д.А. Сравнительный анализ подходов к нормированию электромагнитного поля в производственных условиях в соответствии с российскими и европейскими нормативными документами. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2022; (10): 81–89. <https://www.elibrary.ru/xiraln>
18. Захаров В.В., Тригорлы С.В. Численные и экспериментальные исследования процессов СВЧ-термообработки диэлектриков в СВЧ-камерах бегущей волны. *Вопросы электротехнологии*. 2020; (1): 14–22. <https://www.elibrary.ru/vkmmxc>
19. Воронов Е.В., Михайлова О.В., Новикова Г.В., Просвирыкова М.В., Сторчевой В.Ф. Термообработка слизистых субпродуктов под воздействием электрофизических факторов: разработка установки. *Агроинженерия*. 2023; 25(6): 76–82. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-76-82>

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. Belchikhina A.V., Shibaev M.A., Klinovitskaya I.M., Karaulov A.K. The state of animal waste rendering and disposing system in the subjects of the Russian Federation. *Veterinary Science Today*. 2019; (4): 54–60. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2019-4-31-54-60>
2. Kraynov Yu.E., Mikhailova O.V., Kazakov A.V., Mezhenina E.I. Design and justification of plants for high-temperature forming of combined raw materials. *Electrical technology and equipment in the agro-industrial complex*. 2019; (2): 84–89 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xbmgov>
3. Zhdankin G.V., Novikova G.V., Belova M.V., Goeva V.V. Development of technology and microwave installation with conical resonators for the heat treatment of non-food waste of animal origin. *Bulletin of NGIEI*. 2018; (10): 55–64 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vljrsk>
4. Ershova I.G., Poruchikov D.V. Improving the efficiency of the functioning of the meat massager with sources of superhigh-frequency energy in the heat treatment of raw materials. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019; (1): 34–45 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zawqax>
5. Voronov E.V., Mikhailova O.V., Prosviryakova M.V., Semenov D.A., Zaitsev P.V., Yunusov G.S. Comparative analysis of microwave granulators implementing electrophysical methods for processing secondary agricultural raw materials. *Agrarian science*. 2022; (11): 81–87 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-81-87>
5. Novikova G.V., Prosviryakova M.V., Mikhailova O.V., Tikhonov A.A., Fedorov M.E., Romanov P.N. Development of an installation with a microwave power supply for grinding and melting of fat raw materials in a non-standard resonator. *Bulletin of NGIEI*. 2023; (1): 34–43 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/momwof>
7. Levanchuk A.V. Hygienic characteristic of air environment in the affected zone of road and automobile complex. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2015; (1): 5. <https://www.elibrary.ru/rmadud>
8. Tukhvatullin M.I. Designs of hybrid microwave electrical installation for processing materials in agriculture. *Russian electronic scientific journal*. 2023; (3): 20–33 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/mvcias>
9. Rakhanskaya E.M. Darsonval: a modern method with a century-old history. *Apparalnaya kosmetologiya*. 2017; (3–4): 134–138 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ytkzod>
10. Piskarev I.M. Formation of oxidizing and reducing species by surface microdischarges during local darsonvalization. *High Energy Chemistry*. 2017; 51(5): 406–407. <https://doi.org/10.1134/S0018143917050113>
11. Beloglovskii A.A. et al. On refinement of the optimization criterion for electrode systems intended for regulation of electric fields in high voltage gas insulation. *Industrial Power Engineering*. 2023; (6): 2–7 (in Russian). <https://doi.org/10.34831/EP.2023.28.45.001>
12. Ryabchenko V.Yu., Paslyon V.V. Computer simulation of objects with CST Microwave Studio. *Sovremennyye problemy radioelektroniki i telekommunikatsiy*. 2018; (1): 139 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qikith>
13. Trigorly S.V., Kalganova S.G., Kadykova Yu.A., Kozhevnikov V.Yu., Sivak A.S., Yudina V.O. Simulation of microwave dielectric heating with microwave-energy absorbing fillers in travelling wave chambers. *Journal of electrotechnics*. 2020; (4): 15–23 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qtlxmd>
14. Trigorly S.V., Zakharov V.V., Alekseev V.S. Numerical simulation of melting dielectrics in microwaves based on electron beam mode. *Journal of electrotechnics*. 2019; (2): 13–19 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/whndk>
15. Kolomeytshev V.A., Kuzmin Yu.A., Nikuiko D.N., Zaharov A.A. Electrodynamic and thermal properties of microwaves under various methods and systems of electromagnetic field excitation in a working chamber. *Journal of electrotechnics*. 2014; (2): 28–35 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ucnrqv>
16. Titov E.V., Soshnikov A.A., Vasiliev V.Yu., Solovskoy A.S. Computer simulation of superimposed electromagnetic waves from electromagnetic field sources in a wide frequency range. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2022; (3): 102–108 (in Russian). <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-209-3-102-108>
17. Titov E.V., Kryukov A.V., Seredkin D.A. Comparative analysis of approaches to norming of electromagnetic field under production conditions in accordance with the Russian and European regulatory documents. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2022; (10): 81–89 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xiraln>
18. Zakharov V.V., Trigorly S.V. Numerical and field research of microwave thermal processing of dielectrics in microwave travelling wave chambers. *Journal of electrotechnics*. 2020; (1): 14–22 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vkmmxc>
19. Voronov E.V., Mikhailova O.V., Novikova G.V., Prosviryakova M.V., Storcheyev V.F. Heat treatment of mucous by-products under the influence of electrophysical factors: development of the installation. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023; 25(6): 76–82 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-76-82>

ОБ АВТОРАХ

Евгений Викторович Воронов¹

кандидат экономических наук, доцент, директор
e_voronov@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9867-5860>

Галина Владимировна Новикова¹

доктор технических наук, профессор
NovikovaGalinaV@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>

Ольга Валентиновна Михайлова¹

доктор технических наук, профессор
ds17823@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9231-4733>

Пётр Владимирович Зайцев²

доктор технических наук, профессор
<https://orcid.org/0009-0001-6497-3704>

Марьяна Валентиновна Просвирякова³

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры
prosviryakova.maryana@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3258-260x>

¹ Нижегородский инженерно-экономический университет,
ул. Октябрьская, 22А, Княгинино, Нижегородская обл., 606340,
Россия

² Чувашский государственный аграрный университет,
ул. им. К. Маркса, 29, Чебоксары, 428003, Россия

³ Российский государственный аграрный университет — МСХА
им. К.А. Тимирязева,
ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Evgeny Viktorovich Voronov¹

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Director
e_voronov@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9867-5860>

Galina Vladimirovna Novikova¹

Doctor of Technical Sciences, Professor
NovikovaGalinaV@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>

Olga Valentinovna Mikhailova¹

Doctor of Technical Sciences, Professor
ds17823@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9231-4733>

Peter Vladimirovich Zaitsev²

Doctor of Technical Sciences, Professor
<https://orcid.org/0009-0001-6497-3704>

Maryana Valentinovna Prosviryakova³

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Professor of the Department
prosviryakova.maryana@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3258-260x>

¹ Nizhny Novgorod University of Engineering and Economics,
22A Oktyabrskaya Str., Knyaginino, Nizhny Novgorod region, 606340,
Russia

² Chuvash State Agrarian University,
29 K. Marx Str., Cheboksary, 428003, Russia

³ Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural
Academy,
49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russia