

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-629341>

Оригинальное исследование



Микроволновая установка для термообработки мышечных желудков птиц в непрерывном режиме

Д.В. Поручиков¹, М.В. Просвирякова², А.А. Тихонов³, М.Е. Фёдоров³¹ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия;² Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия;³ Нижегородский государственный аграрно-технологический университет, Нижний Новгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Объём перерабатываемых куриных мышечных желудков в качестве мясного сырья в России в год составляет 0,1–0,15 млн. т. Поэтому реализация микроволновой технологии термообработки такого сырья актуальна.

Цель работы — разработка радиогерметичной установки с коническим резонатором для термообработки мышечных желудков птиц в непрерывном режиме при высокой напряженности электрического поля в условиях фермерских хозяйств.

Материалы и методы. Сырьем является куриный мышечный желудок. Инновационная идея заключается в том, что мышечный желудок, как многокомпонентное сырье, предварительно в измельченном виде на электроприводном тёрочном диске, растирается об абразивные витки электроприводного шнека в процессе диэлектрического нагрева в непрерывном режиме в коническом резонаторе, обеспечивающем высокую напряженность электрического поля и электромагнитную безопасность за счёт усечения конуса на уровне критической поверхности. Исследование температуры нагрева сырья проводили с помощью инфракрасного термометра Testo 845, а распределения электрического поля в резонаторе – в программе CST Microwave Studio 2018.

Результаты. В коническом резонаторе, где под основанием с зазором не более, чем четверть длины волны установлен тёрочный диск, соосно установлен фторопластовый электроприводной шнек с винтами, покрытыми абразивным материалом. Диаметры винтов изменяются с изменением диаметра образующей резонатора. Резонатор усечён на уровне критического сечения. Результаты исследования динамики диэлектрического нагрева куриного мышечного желудка при удельных мощностях 3,3–7 Вт/г показывают, что они сварятся за 3–4 мин. Удельные энергетические затраты на термообработку сырья в установке, потребляемой мощностью 4,15 кВт, производительностью 30–35 кг/ч составляют 0,15–0,17 кВт·ч/кг. Собственная добротность резонатора 77200, напряжённость электрического поля 4–5 кВ/см.

Заключение. Новое конструктивное решение радиогерметичной установки содержащее усечённый конический резонатор, изготовленный из неферромагнитного материала тёрочный диск, фторопластовый шнек с электрическим приводом, шаг винта которого не более чем две глубины проникновения волны в сырье, позволило создать конструкцию рабочей камеры для термообработки птичьих мышечных желудков в непрерывном режиме при высокой напряженности электрического поля в условиях фермерских хозяйств.

Ключевые слова: мышечный желудок; конический резонатор; винтовой шнек; динамика нагрева; электродинамические параметры.

Как цитировать:

Поручиков Д.В., Просвирякова М.В., Тихонов А.А., Фёдоров Е.М., Микроволновая установка для термообработки мышечных желудков птиц в непрерывном режиме // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 6. С. 834–842. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-629341>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-629341>

Original Study Article

Microwave unit for continuous heat treatment of poultry muscle stomachs

Dmitry V. Poruchikov¹, Mariana V. Prosviryakova², Alexander A. Tikhonov³, Maxim E. Fedorov³¹ Federal scientific agroengineering center VIM, Moscow, Russia;² Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;³ Nizhny Novgorod State Agrarian and Technological University, Nizhny Novgorod, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The volume of processed chicken muscle stomachs as meat raw materials in Russia is 0.1–0.15 million tons per year. Therefore, the implementation of microwave technology for heat treatment of such raw materials is relevant.

OBJECTIVE: Development of a radio-proof unit with a conical resonator for heat treatment of poultry muscle stomachs in continuous operation at high electric field strength in farm conditions.

METHODS: The raw material is chicken muscle stomachs. The innovative idea is that the muscular stomach as a multicomponent raw material, pre-crushed with an electrically driven grating disc, is grinded with the abrasive coils of an electrically driven auger during dielectric heating in continuous mode in a conical resonator, ensuring high electric field strength and electromagnetic safety by truncating the cone at the critical surface level. The study of the raw materials heating temperature was carried out using the Testo 845 infrared thermometer, and the distribution of the electric field in the resonator was carried out in the CST Microwave Studio 2018 software.

RESULTS: In a conical resonator, where a grating disk is installed under the base with a gap of no more than a quarter of the wavelength, a fluoroplastic electrically driven auger with screws coated with an abrasive material is installed coaxially. The diameters of the screws change with the change in the diameter of the resonator. The resonator is truncated at the critical section level. The results of a study of the dynamics of dielectric heating of a chicken muscular stomach at specific capacities of 3.3–7 W/g show that they will be cooked in 3–4 minutes. The specific energy costs for heat treatment of raw materials in the unit with a power consumption of 4.15 kW and a capacity of 30 kg/h are 0.14 kWh/kg. The intrinsic Q-factor of the resonator is 77200, the electric field strength is 4–5 kV/cm.

CONCLUSIONS: A new design solution for a radio-tight installation containing a truncated conical resonator, a grinding disk made of non-ferromagnetic material, a fluoroplastic screw with an electric drive, the screw pitch of which is no more than two depths of wave penetration into the raw material, made it possible to create a design of a working chamber for the heat treatment of avian muscles stomachs in a continuous mode at high electric field strength in farm conditions.

Keywords: muscular stomach; conical resonator; screw auger; heating dynamics; electrodynamic parameters.

To cite this article:

Poruchikov DV, Prosviryakova MV, Tikhonov AA, Fedorov ME. Microwave unit for heat treatment of muscular stomachs of birds in continuous operation. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(6):834–842. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-629341>

Received: 15.04.2024

Accepted: 28.01.2025

Published online: 28.01.2025

ВВЕДЕНИЕ

По данным Росстата, в 2023 году в России производство мяса птицы составило 4,3 млн. т. В 2024 году планируют дополнительно получить 0,11 млн. т за счёт расширения производства и модернизации технологий [1].

Из них объём мышечного желудка с учётом его массы у курицы (25–100 г), индейки (75–150 г), утки (30–145 г), гуся (80–150 г) в среднем составляет 0,1–0,15 млн. т [2].

В масштабах России такой объём сырья перерабатывают мощными машинами. Технология переработки мышечных желудков включает четыре операции: 1) вскрывают; 2) очищают от содержимого; 3) выворачивают и снимают кутикулы; 4) обезжиривают. Для выполнения первых двух операций (для разрезания и мойки желудков) применяется машина В2-Ф001/3 [3, стр. 247]. Рабочим органом машины служит электроприводная кассета с радиально расположенными пластинами и две щетки. Желудки, вручную помещённые в ячейки кассеты, подаются к ножу, разрезаются и орошают водой. Чистые желудки удаляются из кассеты. Содержимое желудков и вода по поддону отводится в очистные сооружения. Производительность машины 2000 желудков в 1 ч при цикличности перемещения кассеты $0,56 \text{ с}^{-1}$. Мощность электродвигателя 0,55 кВт. *Недостатки*: ручная загрузка кассет, большой расход воды ($1,4 \text{ м}^3$) и большой вес машины (155 кг).

Далее для удаления кутикулы используют вальцовую машину К2-ФЦП-6/12 [3, стр. 248], содержащую стальные валики с винтовым рифлением. Производительность до 1000 желудков в 1 ч при мощности привода 0,41 кВт. *Недостаток*. Желудки вручную прижимают к валикам, которые захватывают кутикулу и удаляет её.

Для обезжиривания желудков существует машина «Сторк» (Голландия). Жир удаляется резиновыми пальцами, закреплёнными на вращающемся валу. В зону обработки подаётся вода, которая смывает отделенный жир и выводит его из машины через сливной патрубок. Производительность машины — до 6000 желудков в 1 ч, мощность привода при обработке желудков бройлеров — 0,25 кВт, а при обработке желудков индеек — 0,37 кВт. Расход воды — до $0,4 \text{ м}^3/\text{ч}$. В итоге, для переработки 1000 шт. мышечного желудка тратится $1,21\text{--}1,25 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ электроэнергии, $1,8\text{--}2 \text{ м}^3$ воды, а самое главное смывается жир [3].

Возникает **проблема** — высокие эксплуатационные расходы, связанные с использованием ручного труда при переработке сырья в условиях фермерских хозяйств. Поэтому переработка мышечных желудков в мясное сырьё, является **актуальной задачей**.

С учетом высокой пищевой ценности мышечного желудка (на 100 г: калорийность 130 ккал (8,56%); белки 21 г (23,08%); жиры 6,4 г (9,55%); углеводы 0,6 г (0,43%); вода 70, 9 г (2,63%), витамины и минералы) [4] предлагается в условиях фермерских хозяйств использовать

другую технологию переработки мышечных желудков, без проведения вышеуказанных операций, когда сразу отделенные после убоя птиц мышечные желудки (преимущественно ветеринарные конфискаты) отправляются на термообработку электромагнитным полем сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) вместе с содержимым для получения биологического корма животным.

В научной школе Новиковой Г.В. разработаны десятки СВЧ установок для термообработки субпродуктов животных и птиц [5–8]. Аналогом разработанной установки для термообработки птичьего мышечного желудка является СВЧ установка с коническим резонатором, позволяющая совмещать процессы обезвоживания тонко измельчённых мясных отходов (непищевая обрезь, субпродукты, кровь) и термообработки твёрдой фазы [9]. Она содержит конический экранирующий корпус с силовым резонатором в виде усечённого конуса без оснований и с диэлектрическим ротором в виде усечённого конуса, покрытый мелкозернистым абразивным материалом. Но данная установка не позволяет сохранить жидкую фракцию в сырьё, и экранирующий корпус удорожает установку.

Целью настоящей работы является разработка радиогерметичной установки с коническим резонатором для термообработки мышечных желудков птиц в непрерывном режиме при высокой напряженности электрического поля в условиях фермерских хозяйств.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Инновационная идея заключается в том, что мышечный желудок как многокомпонентное сырьё, предварительно в измельченном виде на электроприводном терочном диске, растирается об абразивные витки электроприводного шнека в процессе диэлектрического нагрева в непрерывном режиме в коническом резонаторе, обеспечивающем высокую напряженность электрического поля и электромагнитную безопасность за счет усечения конуса на уровне критической поверхности.

Исследуемым сырьем является мышечный желудок кур, имеющий дискообразную форму (рис. 1). Внутренняя поверхность мышечного желудка покрыта роговидной оболочкой — кутикулой. Растиранию корма способствуют находящиеся в желудке гравии, стекла и т.п. Исследование динамики диэлектрического нагрева сырья проводили в лабораторных условиях при мощности СВЧ генератора 700, варьируя удельной мощностью путем изменения массы загрузки измельченного сырья в резонатор. В процессе нагрева сырья от начальной температуры $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $130 \text{ }^{\circ}\text{C}$ с помощью инфракрасного термометра Testo 845 фиксировали среднее значение температуры. Электродинамические параметры (собственную добротность конического резонатора, распределение электрического поля и величину его напряженности) определяли

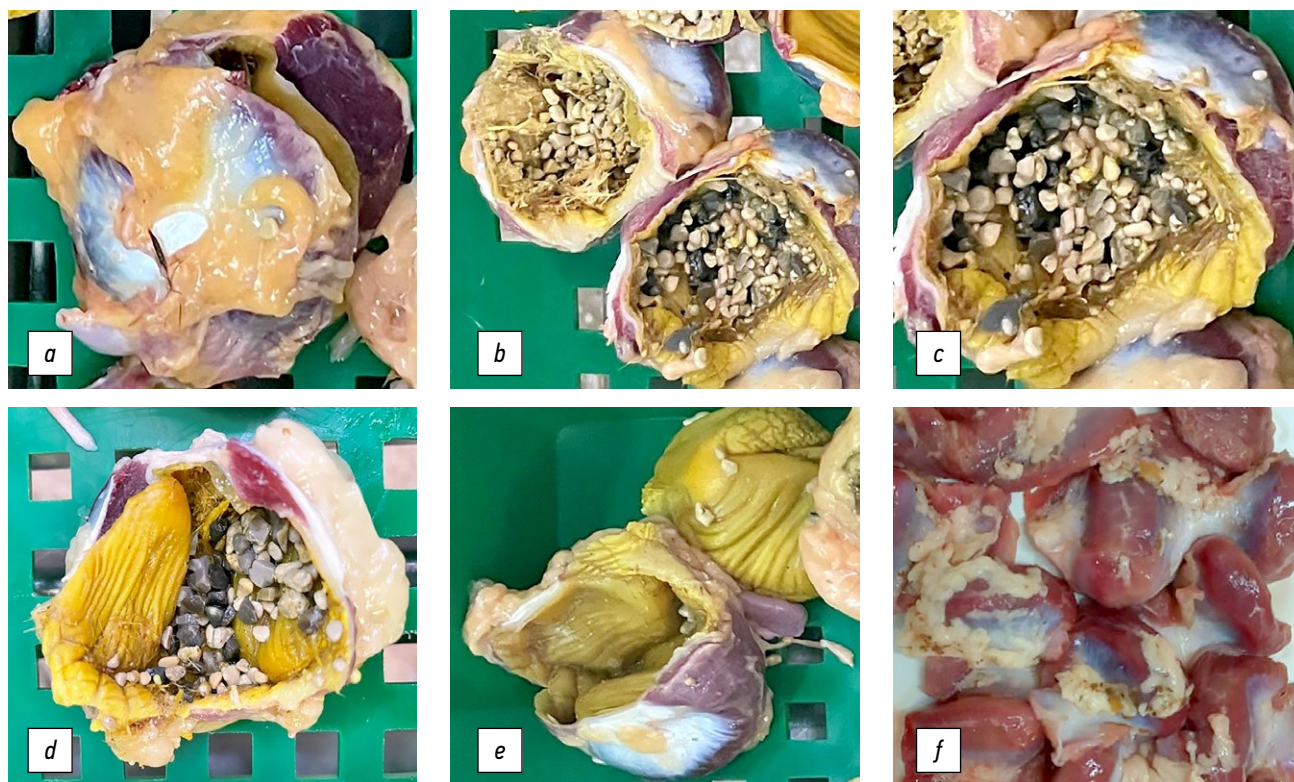


Рис. 1. Мышечный желудок куриный: *a* — мышечный желудок после потрошения; *b, c* — мышечный желудок, разрезанный с содержимым; *d* — мышечный желудок с кутикулами; *e* — очищенный от содержимого с кутикулой; *f* — очищенный от кутикул и жира.

Fig. 1. A chicken muscular stomach: *a* — the muscular stomach after evisceration; *b, c* — the muscular stomach cut with contents; *d* — the muscular stomach with cuticles; *e* — the cleared of contents with cuticle; *f* — the cleared of cuticle and fat.

Источник: фотографии сделаны авторами в ходе исследования.

по теоретическим формулам и с помощью программы CST Microwave Studio 2018. Трёхмерное моделирование усечённого конического резонатора выполнено Компас 3D V20.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Микроволновая установка для термообработки мышечных желудков птиц (рис. 2) содержит конический резонатор 1. На его основании 2 расположена неферромагнитная загрузочная ёмкость 3 с задвижкой 4. Под основанием 2 резонатора, с зазором не более, чем четверть длины волны, установлен электроприводной неферромагнитный тёрочный диск 6. Соосно, внутри резонатора установлен фторопластовый электроприводной шнек (9, 10). Винты 10 шнека покрыты мелкозернистым абразивным материалом 11.

При этом диаметр фторопластовых винтов 10 изменяется в соответствии с изменением диаметра образующей конического резонатора. Радиус конического резонатора изменяется по линейному закону. С наружной стороны образующей конического резонатора 1 установлены магнетроны 8 со сдвигом на 120 градусов.

Они установлены ниже электроприводного тёрочного диска 6 над соответствующими волноводами и охлаждаются вентиляторами. Коническая часть 14 резонатора усечена на уровне критического сечения, под которое установлена неферромагнитная приёмная ёмкость 13. Соответствующим выбором угла при вершине конического резонатора можно сформировать электромагнитное поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ), сконцентрированное около основания 2 резонатора 1, что способствует повышению собственной добротности резонатора. Так как радиус основания резонатора существенно больше, чем радиус сечения в периферийной области, поэтому и омические потери меньше [10]. При этом критическое сечение располагается на значительном расстоянии от вершины конуса, что позволяет создавать отверстие для выгрузки термообработанного продукта, не нарушая структуру поля в коническом резонаторе. Около основания 2 резонатора существуют волны, постоянные пространства которых уменьшаются в случае удаления от основания 2. Вблизи того сечения, для которого выполняется критическое условие, образуется поверхность, от которой наблюдается полное отражение волн, т.е. излучение из открытого конца (усеченной части 14 конического резонатора) значительно уменьшается. Излучатели

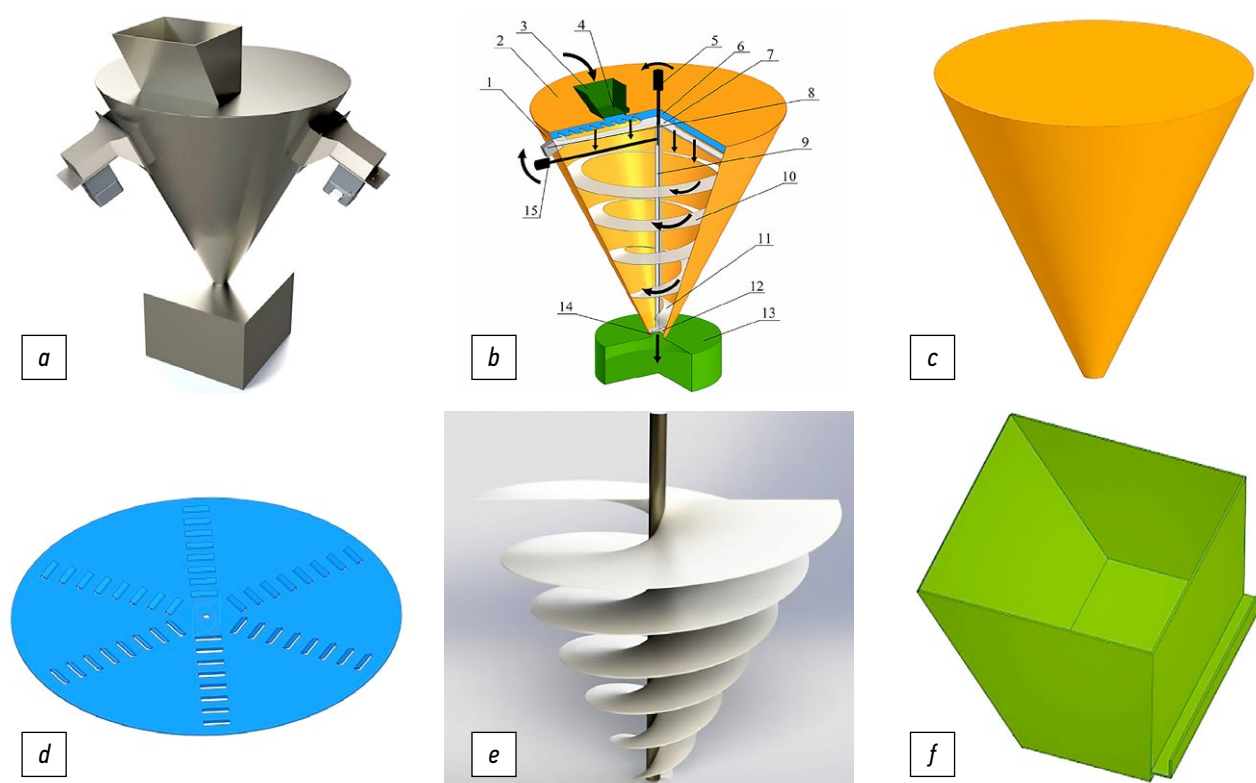


Рис. 2. Микроволновая установка с коническим резонатором для термообработки мышечных желудков птиц: *a* — общий вид; *b* — общий вид в разрезе с позициями; *c* — конический резонатор; *d* — тёрочный диск; *e* — винтовой шнек; *f* — загрузочный патрубок; 1 — конический резонатор; 2 — основание конического резонатора; 3 — загрузочная ёмкость с неферромагнитной задвижкой 4; 5 — электропривод тёрочного диска 6; 7, 12 — монтажные профили; 8 — магнетроны; 9 — фторопластовый вал; 10 — фторопластовые винты; 11 — мелкозернистый абразивный материал; 13 — неферромагнитная приёмная ёмкость; 14 — усечённая часть; 15 — электропривод.

Fig. 2. The microwave unit with a conical resonator for heat treatment of poultry muscle stomachs: *a* — general view; *b* — general view in section with positions; *c* — the conical resonator; *d* — a grating disc; *e* — a screw auger; *f* — loading port; 1 — the conical resonator; 2 — the base of conical resonator; 3 — a loading container with a non-ferromagnetic valve gate 4; 5 — electric drive of the grating disc 6; 7, 12 — mounting profiles; 8 — magnetrons; 9 — a fluoroplastic shaft; 10 — fluoroplastic screws; 11 — a fine-grained abrasive material; 13 — a non-ferromagnetic receiving tank; 14 — a truncated part; 15 — electric drive.

Источник: разработано авторами.

от магнетронов 8 должны располагаться в области максимального диаметра конического резонатора (около основания 2 резонатора).

Мышечный желудок отличается по влажности и жирности от других видов куриных субпродуктов. По данным И.А. Рогова глубина проникновения электромагнитного поля при длине волны 12,24 см из-за низкого содержания воды и достаточной жирности в мышечном желудке, может составить 4–6 см, а с увеличением температуры до 100 °С уменьшается в два раза. Поэтому при разработке фторопластового шнека в установке шаг вина согласован с глубиной проникновения волны.

Технологический процесс термообработки мышечных желудков птиц в установке происходит следующим образом. Загрузить мышечные желудки, накопленные после убоя птиц в загрузочную ёмкость 3 при закрытой задвижке 4. Включить электропривод 15, после чего приводится в движение шнек (9, 10, 11).

Включить электроприводной тёрочный диск 6. Так как он выполнен из неферромагнитного материала, поэтому при открытой задвижке 4, излучение через загрузочную ёмкость ограничено. Открыть задвижку, и как только мышечные желудки попадают на электроприводной тёрочный диск, и измельченное сырье за счёт центробежной силы падает на фторопластовые винты 10, включить магнетроны 8 с вентиляторами. Излучатели, направленные в конический резонатор через соответствующие волноводы, возбуждают ЭМП СВЧ (2450 МГц, длина волны 12,24 см).

Мышечный желудок — это многокомпонентное сырье (мышечная ткань, жир, кутикула, содержимое желудка в виде непереваженного корма). Все это измельчается на неферромагнитном терочном диске 6 и в процессе передвижения с помощью электроприводного шнека (9, 10) на фторопластовых винтах 9 истирается при соприкосновении с мелкозернистым абразивным материалом 11. Тонко измельченное сырье — в ЭМП СВЧ за счёт токов

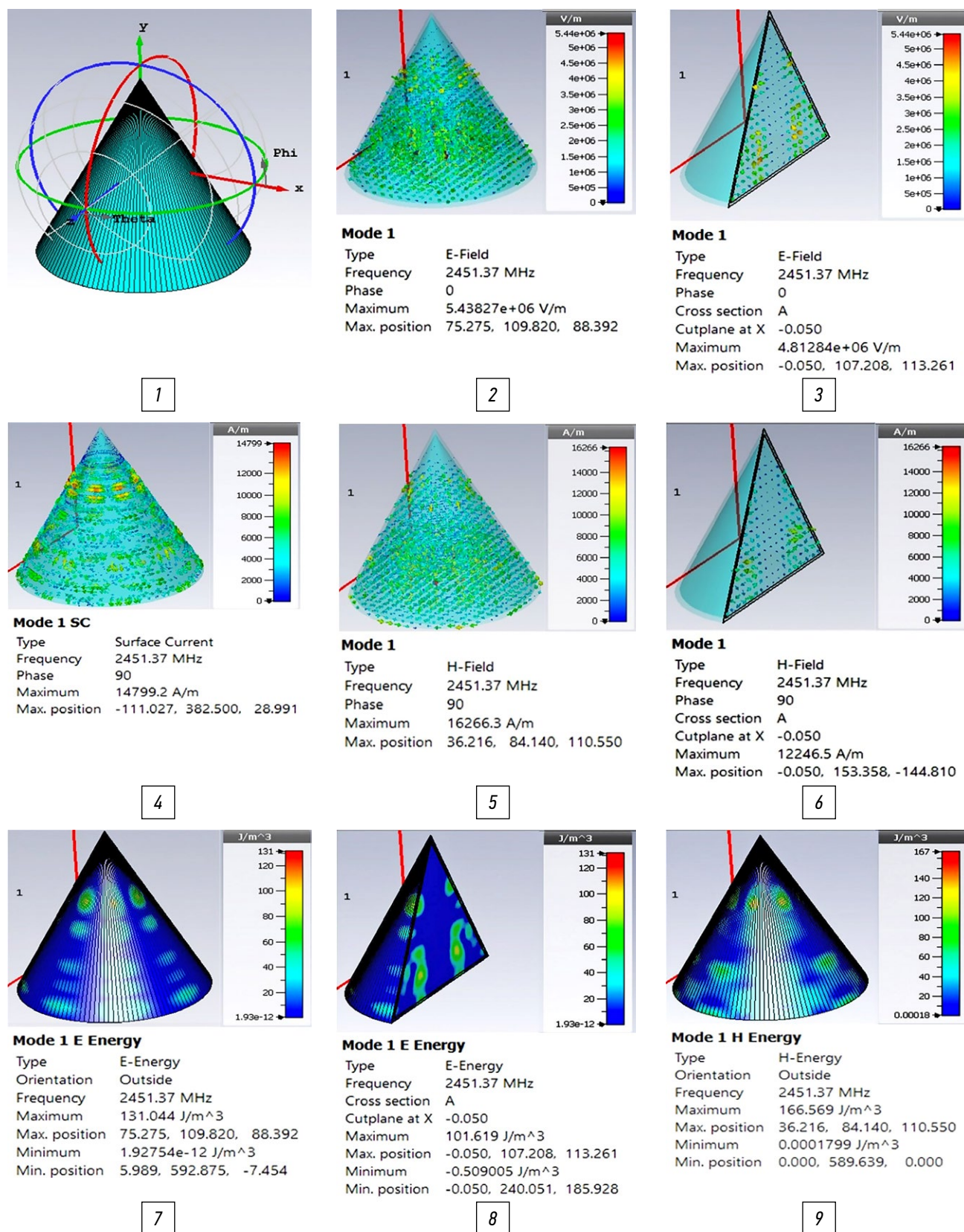


Рис. 3. Электродинамические параметры системы с коническим резонатором (5λ) (мода 1): 1 — распределение ЭМП по координатам x, y, z ; 2, 3 — напряжённость электрического поля, В/м; 4, 5, 6 — напряжённость магнитного поля, А/м; 7, 8 — Е-энергия, Дж/м³; 9 — Н-энергия, Дж/м³. Высота и диаметр конического резонатора равны 5λ , где λ — длина волны.

Fig. 3. Electrodynamics parameters of the system with the conical resonator (5λ) (mode 1): 1 — EMF distribution along the coordinates x, y, z ; 2, 3 — electric field strength, V/m; 4, 5, 6 — magnetic field strength, A/m; 7, 8 — E-energy, J/m³; 9 — H-energy, J/m³. The height and diameter of the conical resonator are 5λ , where λ is the wavelength.

Источник: составлено в ходе исследований

поляризации равномерно подвергается термообработке, а за счёт высокой напряжённости электрического поля обеззараживается. Сваренный и обеззараженный продукт выгружается в приемную ёмкость 13.

Диаметр (d) усечённой части 14 конического резонатора должен быть менее $0,72 \cdot R_{\text{осн}}$, ($d < 0,72 \cdot R_{\text{осн}}$), где $R_{\text{осн}}$ — радиус основания конического резонатора [10, стр. 127]. Если диаметр (d) усечённой части конического резонатора равен радиусу основания ($R_{\text{осн}}$), то собственная добротность резонатора резко снижается и теряет смысл применения.

Пример выполнения усечённого конического резонатора. Если $R_{\text{осн}} = 24,48$ см, длина конического резонатора (конуса) $L = 61,2$ см, то диаметр усечённой части (открытого торца) резонатора должен быть менее $0,72 \cdot 24,48 = 17,63$ см. Принимаем диаметр открытого торца равной длине волны $12,24$ см. При таком размере можно осуществить непрерывный режим передвижения сырья через конический резонатор 1. Угол при вершине конуса составит 27° , ($30,6/61,2 = 0,5$; $\text{tg } 27 = 0,5$).

Результаты исследования электродинамических параметров конического резонатора (рис. 3), полученные по программе CST Microwave Studio 2018 [11] показывают, что напряженность электрического поля у основания (под тёрочным диском 6) достигает, при размерах [12] конического резонатора, в 5 раз превышающих длину волны 4–5 кВ/см.

Около критического сечения (усечённой части 14), напряженность электрического поля менее 0,6 кВ/см. Критическое сечение образуется на значительном расстоянии от вершины конуса. Такой спад напряжённости электрического поля способствует снижению градиента температуры сырья в процессе воздействия ЭМП СВЧ, следовательно, исключается перегрев, сохраняется кормовая ценность продукта. Конический резонатор по сравнению с цилиндрическим резонатором исключает вырождение паразитных типов колебаний, что позволяет достичь высоких значений собственной добротности [13]. Собственная добротность, вычисленная через объем, площадь поверхности резонатора с учётом скин-эффекта [12] равна 77200.

Напряжённость электрического поля (E , В/м) в резонаторе определяли по формуле Ю.В. Корчагина:

$$E = \frac{Q \cdot P}{0,27 \cdot 10^5 \cdot \varepsilon_0 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot V} = \frac{77200 \cdot 2400}{0,27 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6,28 \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 0,112 \cdot 10^5} = 4,5 \frac{\text{кВ}}{\text{см}},$$

где P — мощность генератора, Вт; ε_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума ($8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м); f — частота ЭМП, Гц; V — объём резонатора, м³.

Результаты исследования напряженности электрического поля, полученные с помощью программы и рассчитанные по формуле (1), совпадают с достаточной достоверительной вероятностью (0,95).

Результаты исследования динамики диэлектрического нагрева куриного мышечного желудка при удельных мощностях 3,3–7 Вт/г (рис. 4) и напряжённости электрического поля в резонаторе 0,6 кВ/см показывают, что они сварятся за 3–4 мин.

При реализации трёх магнетронов в коническом резонаторе напряжённость электрического поля составит в пределах 4–5 кВ/см, следовательно, продолжительность термообработки снизится. Удельные энергетические затраты на термообработку куриного мышечного желудка в непрерывном режиме в установке с коническим резонатором потребляемой мощностью 4,15 кВт, производительностью 30–35 кг/ч составляют 0,15–0,17 кВт·ч/кг. При этом мощности генератора — 3,3 кВт, вентиляторов — 0,1 кВт, привода винтового шнека — 0,25 кВт, привода тёрочного диска — 0,4 кВт.

Исследования органолептических параметров (цвет, вкус, запах) в специализированной лаборатории показывают, что варёный продукт соответствует нормативным показателям.

ВЫВОДЫ

Новое конструктивное решение с усечённым коническим резонатором и использованием неферромагнитного тёрочного диска, фторопластового электроприводного шнека с шагом винта не более две глубины проникновения волны в сырьё, позволило создать конструкцию рабочей камеры для термообработки птичьих мышечных желудков, производительностью 30–35 кг/ч и удельными энергетическими затратами 0,15–0,17 кВт·ч/кг.



Рис. 4. Динамика нагрева измельченных куриных мышечных желудков в ЭМП СВЧ при разных удельных мощностях.

Fig. 4. Dynamics of heating of shredded chicken muscle stomachs in the ultra-high frequency electromagnetic field at various specific capacities: 3.3W/g; 7 W/g.

Источник: получено авторами на основании экспериментальных исследований

Инновационная идея заключается в том, что мышечный желудок как многокомпонентное сырьё, предварительно измельченном виде на электроприводном тёрочном диске, растирается об абразивные витки электроприводного шнека в процессе диэлектрического нагрева в непрерывном режиме в коническом резонаторе, обеспечивающем высокую напряжённость электрического поля и электромагнитную безопасность за счет усечения конуса на уровне критической поверхности.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Д.В. Поручиков — анализ научной литературы по проблеме исследования, построение пространственного изображения установки, исследования электродинамических параметров, вычисление собственной добротности резонатора; М.В. Просвирякова — работа над реализацией идеи совмещения процессов тонкого измельчения и равномерного диэлектрического нагрева сырья в коническом резонаторе в непрерывном режиме, описание принципа действия установки; А.А. Тихонов — формирование основных направлений исследований, структуры статьи, доработка текста и выводов; М.Е. Фёдоров — исследования динамики нагрева сырья. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. D.V. Poruchikov — analysis of scientific literature on the study problem, building the spatial image of the unit, study of electrodynamic parameters, calculation of the intrinsic Q-factor of the resonator; M.V. Prosviryakova — work on the implementation of the idea of combining the processes of fine grinding and uniform dielectric heating of raw materials in the conical resonator in the continuous mode, description of the principle of operation of the unit; A.A. Tikhonov — formation of the main directions of the study, the structure of the manuscript, revision of the text and conclusions; M.E. Fedorov — studies of the dynamics of heating of raw materials. All the authors made a significant contribution to the research and preparation of the article, read and approved the version.

Competing interests. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding source. The authors state that there is no external funding for the study.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Chicken production growth has virtually stopped in Russia. *Vedomosti*; 2023. [internet] Accessed: 27.02.2024. Available from: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2023/09/26/997078-v-rossii-prakticheski-ostanovilsya-rost-proizvodstva-kuritsi>
2. Vertiprakhov VG. *Physiology of intestinal digestion in chickens (experimental approach)*. Moscow: RGAU-MSKhA im KA Timiryazeva; 2022. (In Russ.)
3. Ivashov VI. Technological equipment of meat industry enterprises. Part 1. Equipment for slaughter and primary processing. Moscow: Колос, 2001. (In Russ.)
4. Caloric content Chicken stomach. Chemical composition and nutritional value. (In Russ.) Accessed: 26.02.2024. Available from: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/23920.php?ysclid=m67qjiqz9v652648007
5. Patent RUS 2671710 / 06.11.2018. Bull. 31. Novikova GV, Zhdankin GV, Zaitsev PV, Sergeeva EYu. Microwave installation for heat treatment of raw materials during grinding. (In Russ.) EDN: HYRNVB
6. Mikhailova OV, Gdankin GV, Prosviryakova MV, et al. Microwave heating of slaughterhouse confiscations to increase the feed value. *IOP Conf. Series: Earth Envir. Sci.* 2021;857. doi: 10.1088/1755-1315/857/1/012002
7. Voronov EV. Research and substantiation of the parameters of a microwave installation implementing a resource-saving technology for heat treatment of meat waste. *Vestnik NGIEI*. 2023;8(147):33–43. (In Russ.) doi: 10.24412/2227-9407-2023-8-33-43
8. Ershova IG, Belova MV, Poruchikov DV, Ershov MA. Heat treatment of fat-containing raw materials with energy of electromagnetic radiation. *International research journal*. 2016;9(51):38–40.
9. Patent RUS 2710154 / 24.12.2019. Bull. 36. Tikhonov AA, Kazakov AV, Novikova GV, Gorbunov BI. Ultra-high-frequency installation with a conical resonator for dehydration and heat treatment of meat waste. (In Russ.) EDN: KTZAKO
10. Drobakhin OO, Plaksin SV, Ryabchiy VD, Saltykov DYU. *Microwave technology and semiconductor electronics*. Sevastopol: Veber; 2013. (In Russ.)
11. Derachits DS, Kisel NN, Grishchenko SG. Modeling based on CAD CST Microwave Studio. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*. 2015;3(164):257–265. (In Russ.) EDN: TVWWOB
12. Pchelnikov YuN, Sviridov VT. *Microwave Electronics*. Moscow: Radio i svyaz; 1981. (In Russ.)
13. Strekalov AV, Strekalov YuV. *Electromagnetic fields and waves*. Moscow: RIOR INFRA-M; 2014. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

*** Поручиков Дмитрий Витальевич,**

научный сотрудник лаборатории интеллектуальных
роботизированных средств и климатического оборудования
для закрытых экосистем;
адрес: Россия, 109428, Москва, 1-й Институтский пр-д, д. 5;
ORCID: 0000-0002-4210-3468;
eLibrary SPIN: 6969-8846;
e-mail: dv.poruchikov@yandex.ru

Просвирякова Марьяна Валентиновна,

д-р техн. наук, доцент,
профессор кафедры «Автоматизация и роботизация
технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина»;
ORCID: 0000-0003-3258-260X;
eLibrary SPIN: 5642-4560;
e-mail: prosviryakova.maryana@yandex.ru

Тихонов Александр Анатольевич,

канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры «Технология металлов и ремонт машин»;
ORCID: 0000-0002-3687-977X;
eLibrary SPIN: 7146-3523;
e-mail: tichonov57@mail.ru

Фёдоров Максим Евгеньевич,

аспирант кафедры «Технология металлов и ремонт машин»;
ORCID: 0009-0005-7471-2718,
eLibrary SPIN: 9404-8228;
e-mail: maxim-fedorovnn@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ABOUT THE AUTHORS

*** Dmitry V. Poruchikov,**

Research Scientist of the Laboratory of Intelligent Robotic Tools
and Climate Control Equipment for Closed Ecosystems;
address: 5 1st Institutsky dr, Moscow, Russia, 109428;
ORCID: 0000-0002-4210-3468;
eLibrary SPIN: 6969-8846;
e-mail: dv.poruchikov@yandex.ru

Mariana V. Prosviryakova,

Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Professor of the Automation and Robotization of Technological
Processes Department named after Academician I.F. Borodin;
ORCID: 0000-0003-3258-260X;
eLibrary SPIN: 5642-4560;
e-mail: prosviryakova.maryana@yandex.ru

Alexander A. Tikhonov,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Associate Professor of the Metal Technology and Machine Repair
Department;
ORCID: 0000-0002-3687-977X;
eLibrary SPIN: 7146-3523;
e-mail: tichonov57@mail.ru

Maxim E. Fedorov,

Postgraduate of the Metal Technology and Machine Repair
Department;
ORCID: 0009-0005-7471-2718,
eLibrary SPIN: 9404-8228;
e-mail: maxim-fedorovnn@yandex.ru