

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК: 621.385.6

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-76-82>

Термообработка слизистых субпродуктов под воздействием электрофизических факторов: разработка установки

Е.В. Воронов¹, О.В. Михайлова², Г.В. Новикова³, М.В. Просвирякова⁴, В.Ф. Сторчевой⁵^{1,2,3} Нижегородский государственный инженерно-экономический университет; г. Княгинино, Россия^{4,5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ e_voronov@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9867-5860>² ds17823@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9231-4733>³ NovikovaGalinaV@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>⁴ prosviryakova.maryana@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3258-260x>⁵ energo-air@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

Аннотация. Низкая эффективность оборудования для термообработки, обеззараживания и удаления неприятного запаха некондиционного слизистого субпродукта обуславливает необходимость разработки установки, предусматривающей комплексное воздействие электромагнитного поля сверхвысокой частоты, озона и бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей. Представлена технология и разработана установка, обеспечивающая электромагнитную безопасность и равномерность загрузки в соответствии с глубиной проникновения волны. Продолжительность нахождения сырья согласована с удельной мощностью СВЧ-генератора, мощностью ламп и с частотой вращения диска с отсеками. Напряжённость электрического поля исследована в программе CST Microwave Studio. Разработанная установка содержит резонатор в виде сплюснутого сфероида с диаметрами главных осей, кратными половине длины волны. На верхней поверхности сфероида по периметру размещены магнетроны. На внутреннюю поверхность сфероида, где имеются коронирующие иглы, по периметру равномерно установлены через зазор кольцевые электрогазоразрядные лампы, запитанные от импульсно моделированных высокочастотных генераторов. Источником излучения в бактерицидной лампе служит электрический разряд в смеси паров ртути с аргоном. На уровне большого диаметра сфероида установлен фторопластовый перфорированный диск, на котором обрабатываются слизистые субпродукты. Проведенные исследования показывают, что собственная добротность сфероидного резонатора составляет 9000. Наиболее эффективно термообработка и обеззараживание сырья осуществляются при производительности установки 50 кг/ч, напряжённости электрического поля 3...4 кВ/см, частоте вращения диска 0,17...0,2 об/мин и удельной мощности СВЧ-генератора 1,2 Вт/г. Потребляемая мощность при этом составила 6,6 кВт, энергетические затраты – 0,132 кВт·ч/кг.

Ключевые слова: слизистые субпродукты, термообработка слизистых субпродуктов, обеззараживание, озонирование, удаление запаха, электромагнитное поле сверхвысокой частоты, коронный разряд

Для цитирования: Воронов Е.В., Михайлова О.В., Новикова Г.В., Просвирякова М.В., Сторчевой В.Ф. Термообработка слизистых субпродуктов под воздействием электрофизических факторов: разработка установки // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 6. С. 76-82. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-76-82>

ORIGINAL PAPER

Heat treatment of mucous by-products under the influence of electrophysical factors: development of the installation

E.V. Voronov¹, O.V. Mikhailova², G.V. Novikova³, M.V. Prosviryakova⁴, V.F. Storchev⁵^{1,2,3} Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics; Knyaginino, Russia^{4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia¹ e_voronov@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9867-5860>² ds17823@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9231-4733>³ NovikovaGalinaV@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>⁴ prosviryakova.maryana@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3258-260x>⁵ energo-air@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

Abstract. Low efficiency of equipment for heat treatment, disinfection and removal of unpleasant odour of substandard mucous by-products urges the development of an installation that provides for the complex effect of ultra-high frequency

electromagnetic field, ozone and bactericidal flow of ultraviolet rays. The paper presents the technology and describes the installation developed by the authors. The installation ensures electromagnetic safety and uniformity of loading according to the penetration depth of the wave. The duration of raw material treatment is matched with the specific power of the microwave generator, the power of the lamps and with the rotation frequency of the compartment disc. The electric field strength has been studied in the CST Microwave Studio program. The developed installation contains a resonator in the form of a flattened spheroid with diameters of the main axes multiple of half the wavelength. Magnetrons are placed on the upper surface of the spheroid along the perimeter. On the inner surface of the spheroid, where there are corona needles, ring electro-gas-discharge lamps powered from pulsed modeled high-frequency generators are uniformly installed along the perimeter through the gap. The source of radiation in the bactericidal lamp is an electric discharge in a mixture of mercury vapour and argon. A fluoroplastic perforated disc is installed at the level of the large diameter of the spheroid, on which mucous by-products are treated. The conducted research shows that the intrinsic factor of quality of the spheroid resonator is 9000. The heat treatment and disinfection of raw materials is most effective at the plant productivity of 50 kg/h, electric field strength of 3 to 4 kV/cm, disc rotation frequency of 0.17 to 0.2 rpm and a specific power of the microwave generator of 1.2 W/g. Power consumption amounted to 6.6 kW, while energy costs were 0.132 kW·h/kg.

Keywords: mucous by-products, heat treatment of mucous by-products, ozonation, odor removal, corona discharge.

For citation: Voronov E.V., Mikhailova O.V., Novikova G.V., Prosviryakova M.V., Storchevoy 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 Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-76-82>

Введение. Термообработка вторичного мясного сырья осуществляется через непосредственный контакт его с острым паром или через стенку от глухого пара¹ [1]. С целью интенсификации теплообмена, ускорения внутреннего переноса теплоты за счёт теплопроводности применяют оборудование, совмещающее термообработку и измельчение сырья. В условиях фермерских хозяйств использование высокопроизводительного оборудования (1...2 т/ч) является нерентабельным.

В Княгининском университете разработаны установки непрерывно-поточного действия со сверхвысокочастотным (СВЧ) энергоподводом в резонаторы разного конструкционного исполнения² [2]: многоярусная установка с цилиндрическими резонаторами (патент № 2661372); установка с шнековым резонатором (патент № 2679203); установка с биконическим резонатором и диэлектрическим шнеком (патент № 2729151); установка с комбинированным резонатором (патент № 2729153).

СВЧ-установки предназначены для термообработки мясного сырья производительностью до 40 кг/ч при энергетических затратах 0,15...0,2 кВт·ч/кг [2], общим микробным числом не превышающим 1,5 млн КОЕ/г. Но у вторичного мясного сырья³, например, желудка жвачных животных, бактериальная обсемененность достигает 5...6 млн КОЕ/г [3].

¹ Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Ч. 1. Оборудование для убоя и первичной обработки. М.: Колос, 2001. 552 с.

² Жданкин Г.В. Техника сверхвысокочастотного нагрева вторичного сырья агропредприятий для повышения кормовой ценности: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Мичуринск-научоград РФ, 2021, 40 с.

³ Технология обработки субпродуктов. Интернет-источник. URL: zdamsam.ru/a446.html (дата обращения: 19.06.2023).

Известна СВЧ-установка с резонатором в виде сплюснутого эллипсоида вращения (патент № 2797259) [4]. С помощью данной установки возможна термообработка измельчённого субпродукта, но удалить неприятный запах невозможно, так как не предусмотрено комплексное воздействие основных физических факторов – озона и бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей.

Низкая эффективность оборудования для термообработки, обеззараживания и удаления неприятного запаха некондиционного слизистого субпродукта обуславливает необходимость разработки установки, предусматривающей комплексное воздействие электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ), озона и бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей.

Цель исследований: разработать наиболее эффективный способ и СВЧ-становку со сфероидным резонатором для термообработки измельчённого некондиционного слизистого субпродукта с обеззараживанием и удалением неприятного запаха в непрерывном режиме.

Материалы и методы. Методика разработки установки предусматривает обеспечение радиационной герметичности и равномерности загрузки в соответствии с глубиной проникновения волны. Продолжительность нахождения сырья согласована с удельной мощностью СВЧ-генератора, мощностью ламп и с частотой вращения диска с отсеками. Напряжённость электрического поля исследована в программе CST Microwave Studio.

Для обеспечения озонирования воздуха в резонаторе в виде сплюснутого сфероида предлагается установить близко к коронирующим иглам электрогазоразрядные лампы бактерицидного потока

ультрафиолетовых лучей, запитанных от источников килогерцовой частоты⁴ [5].

Результаты и их обсуждение. Разработанная авторами СВЧ-установка для термообработки некондиционных слизистых субпродуктов воздействием электрофизических факторов (ЭМП СВЧ, озон, бактерицидный поток ультрафиолетовых лучей) содержит в горизонтальной плоскости резонатор в виде сплюснутого сфероида (заявка № 2023115495) (рис. 1).

Главные оси сфероида кратны половине длины волны. На его верхней поверхности по периметру со сдвигом на 60 град. размещены волноводы с магнетронами 3 воздушного охлаждения. На внутренней поверхности сфероида 5 расположены коронирующие иглы, и по периметру равномерно со сдвигом на 45 град. установлены через зазор кольцевые

электрогазоразрядные лампы 4, запитанные от импульсно-моделирующих высокочастотных генераторов. На уровне большого диаметра сплюснутого сфероида 2 установлен перфорированный фторопластовый электроприводной диск 7 с радиальными направляющими 6, высота которых составляет не более одной глубины проникновения волны в сырье. Над радиальным направляющим 6 (где на поверхности сфероида имеется выгрузное окно 9, на которое подвешена неферромагнитная мелкаячеистая сетка) жёстко установлен фторопластовый ограничитель 10. На верхней части сфероида 2 предусмотрена неферромагнитная загрузочная ёмкость 1 с заслонкой, на нижнем основании имеется сливной патрубок с шаровым краном, который выполняет функцию запредельного волновода 8. Источником излучения в бактерицидной лампе служит

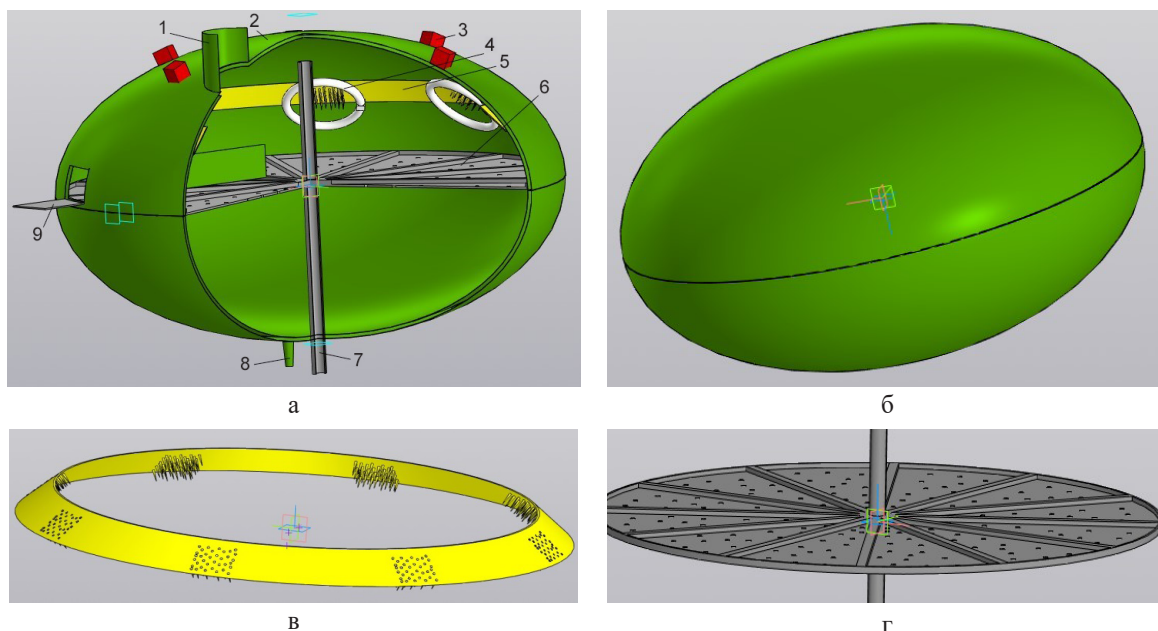


Рис. 1. СВЧ-установка для термообработки некондиционных слизистых субпродуктов воздействием электрофизических факторов:

- а – общий вид; б – резонатор; в – поверхность с коронирующими иглами; г – диск с отсеками;
 1 – неферромагнитная загрузочная ёмкость с заслонкой; 2 – резонатор в виде сплюснутого сфероида;
 3 – волноводы с магнетронами; 4 – кольцевые электрогазоразрядные лампы бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей; 5 – поверхность с коронирующими иглами;
 6 – перфорированный фторопластовый электроприводной диск с радиальными направляющими;
 7 – фторопластовый вал для электропривода фторопластового диска;
 8 – запредельный волновод с шаровым краном; 9 – окно для выгрузки продукта с экранирующей мелкаячеистой сеткой;
 10 – фторопластовый ограничитель передвижения сырья

Fig. 1. Microwave installation for heat treatment of substandard mucous by-products by the influence of electrophysical factors:

- a – general view; б – resonator; в – surface with corona needles; д – disk with compartments;
 1 – non-ferromagnetic loading container with a flap; 2 – resonator in the form of a flattened spheroid;
 3 – waveguides with magnetrons; 4 – ring electro-gas discharge lamps of bactericidal flow of ultraviolet rays;
 5 – surface with corona needles; 6 – perforated fluoroplastic electric drive disk with radial guides;
 7 – fluoroplastic shaft for the electric drive of the fluoroplastic disk; 8 – out-of-the-way shaft with a ball valve;
 9 – a window for unloading the product with a screening fine mesh; 10 – fluoroplastic limiter for the movement of raw materials

⁴ Импульсно моделированный высокочастотный генератор Искра-1: сайт ООО «Кэлли». URL: <https://kelly.ru/iskra1.htm> (дата обращения: 09.06.2023).

электрический разряд в смеси паров ртути и аргона. Большая часть разряда с длиной волны 254 нм имеет область наибольшего бактерицидного потока.

Технологический процесс термообработки некондиционных слизистых субпродуктов в непрерывном режиме. При закрытой заслонке загрузить измельчённые слизистые субпродукты в загрузочную ёмкость 1. Включить электропривод перфорированного фторопластового диска 6 с секторными отсеками. Включить импульсно-модулирующие высокочастотные генераторы (расположенные на наружной поверхности сфероиды) для запитывания кольцевых электрогазоразрядных ламп 4. За счёт коронного разряда между бактерицидными лампами и коронирующими иглами 5 выделяется озон, и происходит образование бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей. После распространения озона в резонаторе 2 открыть заслонку в загрузочной ёмкости. Включить все сверхвысокочастотные генераторы 3. В резонаторе возбуждается электромагнитное поле сверхвысокой частоты (частота – 2450 МГц, длина волны – 12,24 см)⁵ [6]. При этом в сплюснутом сфероиде образуется стоячая волна высокой напряжённости электрического поля (2...4 кВ/см), достаточная для снижения бактериальной обсемененности вторичного сырья до предельно допустимого уровня (ПДУ) 500 тыс. КОЕ/г. [7, 8]. Как только сырьё окажется на перфорированном фторопластовом электроприводном диске 6, оно обеззараживается озоном и бактерицидным потоком ультрафиолетовых лучей и варится за счёт токов поляризации при воздействии электромагнитного поля. Жидкая фаза просачивается через перфорацию фторопластового диска 6 и удаляется через сливной патрубок, служащий одновременно запредельным волноводом 8 (имеет диаметр не более 1/4 длины волны). Секторные отсеки на фторопластовом диске 6 выполнены высотой не более 6...7 см, соответствующей глубине проникновения волны в сырьё, поэтому измельчённое сырьё равномерно подвергается термообработке, озонированию и воздействию бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей. Продолжительность обработки измельчённого вторичного сырья согласована с частотой вращения фторопластового перфорированного диска 6. После полного оборота диска готовый белковый корм упирается во фторопластовый ограничитель 10 (отсекатель) и выгружается из резонатора 2 через выгрузное окно 9. На выгрузное окно подвешена неферромагнитная мелкоячеистая сетка, позволяющая ограничить мощность потока электромагнитных излучений. По окончании технологического процесса обработки сырья следует обесточить оборудование и произвести санитарную обработку.

⁵ Стрекалов А.В., Стрекалов Ю.А. Электромагнитные поля и волны: учебное пособие. М.: РИОР: ИНФРА-М, 2014. 375 с.

Визуализация распределения электромагнитного поля в объёмном резонаторе получена с помощью программы⁶ CST Microwave Studio 2018 [9, 10] (рис. 2). Результаты исследования показывают, что напряжённость электрического поля является достаточно высокой (2...4 кВ/см). Собственная добротность сфероидного резонатора составляет 90000.

Эффект от нагрева сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты зависит от напряжённости электрического поля (E , В/см) и его диэлектрических характеристик – таких, как фактор диэлектрических потерь (k), диэлектрическая проницаемость (ϵ), тангенс угла диэлектрических потерь ($\tan \delta$) и глубина проникновения волны (Δ , см).

По данным И.А. Рогова, диэлектрические характеристики субпродуктов в значительной степени зависят от жирности⁷ (рис. 4).

Диэлектрические характеристики описываются эмпирическими выражениями:

$$\begin{aligned}\epsilon &= 52,785 \cdot e^{-0,022 \cdot \text{Ж}}; \\ k &= 19,644 \cdot e^{-0,025 \cdot \text{Ж}},\end{aligned}\quad (1)$$

где Ж – жирность сырья, %.

Мощность диэлектрических потерь ($P_{\text{уд}}$, Вт/см³) определяется по формулам⁸:

$$P_{\text{уд}} = 0,556 \cdot 10^{-12} \cdot f \cdot k \cdot E^2. \quad (2)$$

$$P_{\text{уд}} = \frac{\Delta T}{\Delta \tau} \cdot \rho \cdot C \frac{1}{\eta}, \quad (3)$$

где f – частота ЭМП ($f = 2450$ МГц); ρ – плотность сырья ($\rho = 800$ кг/м³); C – теплоёмкость слизистых субпродуктов ($C = 1,3...2,6$ Дж/кг·°С); ΔT – приращение температуры нагрева сырья, °С; $\Delta \tau$ – продолжительность воздействия ЭМП СВЧ, мин; η – термический коэффициент полезного действия (КПД).

Из формул 2 и 3 следует, что скорость нагрева сырья (°С/с) можно определить из выражения:

$$\frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{P_{\text{уд}} \cdot \eta \cdot 10^{-3}}{\rho \cdot C} = \frac{0,555 \cdot 10^{-12} \cdot f \cdot k \cdot E^2 \cdot \eta \cdot 10^{-3}}{800 \cdot 1,3}. \quad (4)$$

Продолжительность воздействия ЭМП СВЧ составляет:

$$\begin{aligned}\Delta \tau &= \frac{90 \cdot 800 \cdot 1,3}{0,555 \cdot 10^{-12} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 16,6 \cdot 4000^2 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3}} = (5) \\ &= 346 \text{ с} = 5,8 \text{ мин.}\end{aligned}$$

⁶ Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ-устройств в среде CST Microwave Studio: учебное пособие. М.: МЭИ, 2012. 152 с.

⁷ Рогов И.А. и др. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов: справочник. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1981. 288 с.

⁸ Расчёт и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. М.: Агропромиздат, 1985. 336 с.

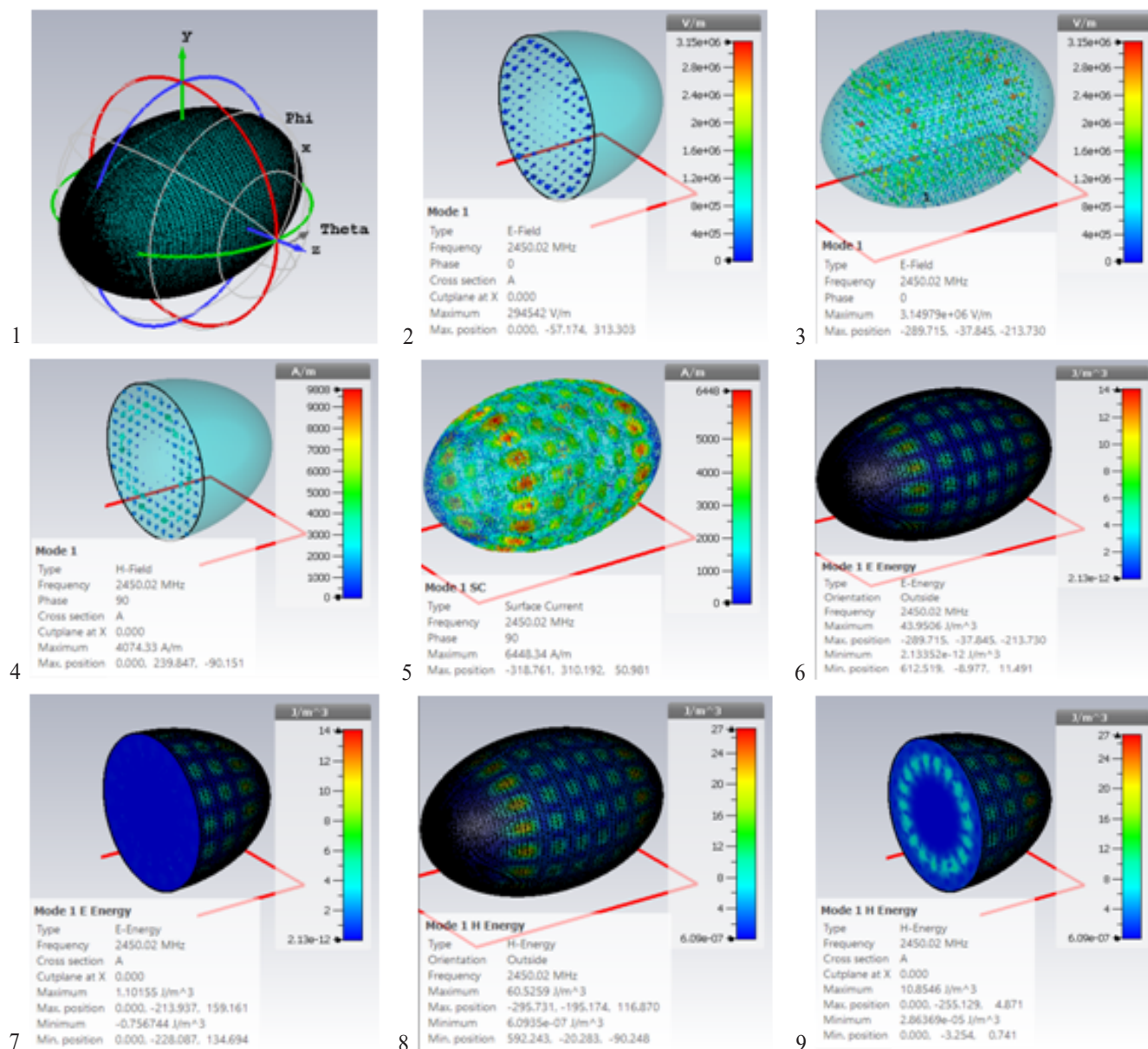


Рис. 2. Электродинамические параметры системы со сфероидным резонатором (мода 1):

- 1 – распределение ЭМП по координатам x, y, z; 2 – напряжённость электрического поля, В/м; 3 – напряжённость магнитного поля, А/м; 4 – напряжённость магнитного поля с изображением гребенчатой поверхности резонатора, А/м; 5 – поверхностный ток А/м; 6 – Е-энергия электрической составляющей, Вт/м³; 6 – Е-энергия (электрической составляющей) в разрезе, Вт/м³; 7 – Н-энергия, Вт/м³; 8 – Н-энергия в разрезе, Вт/м³

Fig. 2. Electrodynamics parameters of a spheroid resonator with an annular conic space (mode 1):

- 1 – EMF distribution along the x, y, z coordinates x, y, z; 2 – electric field strength, V/m; 3 – magnetic field strength, A/m; 4 – magnetic field strength with an image of the comb surface of the resonator, A/m; 5 – surface current A/m; 6 – E-energy electrical component, W/m³; 6 – energy (electrical component), cross-section, W/m³; 7 – energy, W/m³; 8 – energy, cross-section, W/m³

Расчёты показывают, что при напряжённости электрического поля 4 кВ/см и продолжительности воздействия 5,8 мин на сырье жирностью 10% приращение температуры нагрева сырья (ΔT) составит 90°C.

Эффективные режимы термообработки и обеззараживания сырья: производительность установки – 50 кг/ч; потребляемая мощность – 6,6 кВт; энергетические затраты – 0,132 кВт·ч/кг; напряжённость электрического поля – 3...4 кВ/см; частота вращения

диска – 0,17...0,2 об/мин; удельная мощность СВЧ генератора – 1,2 Вт/г.

Данные по напряжённости электрического поля получены расчётным путём на основе моделирования в программе CST Microwave Studio 2018 (рис. 3). Значения производительности, потребляемой мощности, энергетических затрат, частоты вращения диска, удельной мощности получены расчётным путём по формулам (1-5).

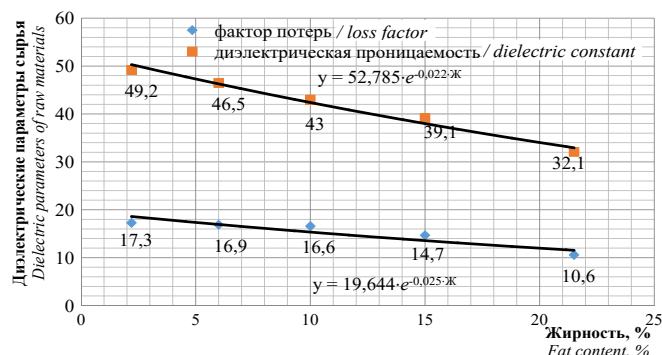


Рис. 3. Диэлектрические характеристики сырья в зависимости от жирности⁹ при температуре 20°C

Fig. 3. Dielectric characteristics of raw materials depending on fat content⁹, at a temperature of 20°C

Выводы

1. Разработанная установка сфероидно-го резонатора с коронирующими иглами

⁹ Технология обработки субпродуктов. Интернет-источник. URL: zdamsam.ru/a446.html (дата обращения: 19.06.2023).

Список литературы

1. Поручиков Д.В., Просвирыкова М.В., Ларионов Г.А., Ершова И.Г. Технология совмещения процессов посола и термообработки субпродуктов в сверхвысокочастотной установке // *Аграрная наука*. 2022. № 364 (11). С. 103-109. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-364-11-103-109
2. Поручиков Д.В., Ершова И.Г. Обоснование оптимальных режимов термообработки мясного сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. № 4 (33). С. 50-54. EDN: YTHPCX.
3. СВЧ-маслоплавитель непрерывно-поточного действия с эллипсоидным резонатором: Патент № 2797259 РФ, МПК А47j29/06 / Г.В. Новикова, А.А. Тихонов, О.А. Басонов, Е.И. Меженина, С.И. Шопырева, М.В. Просвирыкова, О.В. Михайлова. Заяв. № 2022124278 от 01.06.2023, Бюл. № 16. EDN: DWAYAW.
4. Шевелев А.В. Определение эффективных режимов работы СВЧ-воскотопки // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия». М.: ЭИПСиПаблишинг, 2020. С. 725-728. EDN: LVJUUF.
5. Шевелев А.В. Обоснование рационального режима работы СВЧ-воскотопки // *Вестник НИИЭИ*. 2023. № 3 (142). С. 17-25. EDN: GETRDI.
6. 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. Т. 11, № 4. С. 74-78. https://doi.org/10.12737/article_592fc7d6407e48.58575824
7. Ершова И.Г., Поручиков Д.В. Сверхвысокочастотная установка для термообработки мясного сырья // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Продовольственная безопасность и устойчивое развитие АПК». 2015. С. 600-604. EDN: WBVHDZ.
8. Zhdankin G.V., Storchevov V.F., Novikova G.V., Umansky P.M. Survey on UHF Device Operating Modes for Thermal Treatment and Disinfection of Nonfood Animal-Origin Raw Materials. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;46:94-99. <https://doi.org/10.3103/S1068367420010206>

и электрогазоразрядными лампами, запитанными от импульсно-моделирующих высокочастотных генераторов, обеспечивает комплексное воздействие электрофизических факторов (ЭМП СВЧ, озона, бактерицидного потока УФ-лучей) и обеспечивает термообработку, обеззараживание и удаление неприятного запаха слизистых субпродуктов при низких энергетических затратах (0,132 кВт·ч/кг).

2. Эффективными являются следующие режимы термообработки и обеззараживания сырья: производительность установки – 50 кг/ч; потребляемая мощность – 6,6 кВт (мощность магнетронов – 6 кВт, мощность вентиляторов для охлаждения магнетронов – 0,1 кВт, мощность ламп – 0,25 кВт, мощность привода диска – 0,25 кВт); напряжённость электрического поля – 4 кВ/см; частота вращения диска – 0,17...0,2 об/мин; удельная мощность СВЧ-генератора – 1,2 Вт/г.

References

1. Poruchikov D.V., Prosviryakova M.V., Lari-onov G.A., Ershova I.G. Technology of combining salting and heat treatment of by-products in an ultra-high-frequency installation. *Agrarian Science*. 2022;364:103-109. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-364-11-103-109. (In Rus.)
2. Poruchikov D.V., Ershova I.G. Justification of optimal modes of heat treatment of raw meat products in an ultrahigh frequency electromagnetic field. *Vestnik VIESKh*. 2018;4:50-54. (In Rus.)
3. Novikova G.V., Tikhonov A.A., Basonov O.A., Mezheni-na E.I., Shopyeva S.I., Prosviryakova M.V., Mikhailova O.V. Continuous-flow microwave oil-melting device with an ellipsoid resonator: Patent No. 2797259 of the Russian Federation, IPC A47j29/06. Application. No. 2022124278, 01.06.2023. (In Rus.)
4. Shevelev A.V. Determination of effective operation modes of a microwave wax furnace. In: *Safety and Quality of Agricultural Raw Materials and Food. Collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2020:725-728. (In Rus.)
5. Shevelev A.V. Justification of the rational operation mode of a microwave oven. *Vestnik NGIEI*. 2023;3:17-25. (In Rus.)
6. Belova M.V., Zhdankin G.V., Novikova G.V. Development of an ultra-high-frequency container-type installation for heat treatment of blood and fat-containing raw materials. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2016;11(4):74-78. (In Rus.) https://doi.org/10.12737/article_592fc7d6407e48.58575824
7. Ershova I.G., Poruchikov D.V. Ultra-high-frequency installation for heat treatment of meat raw materials. In: *Food security and sustainable development of agriculture. materials of the International Scientific and Practical Conference*. 2015:600-604. (In Rus.)
8. Zhdankin G.V., Storchevov V.F., Novikova G.V., Umanskiy P.M. Survey on UHF Device Operating Modes for Thermal Treatment and Disinfection of Nonfood Animal-Origin Raw Materials. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;46:94-99. <https://doi.org/10.3103/S1068367420010206>
9. Zakharov V.V., Trigorliy S.V. Numerical and experimental studies of the processes of microwave heat treatment of dielectrics in traveling wave microwave chambers. *Voprosy Elektrotehnologii*. 2020;1(26):14-22. (In Rus.)

9. Захаров В.В., Тригорный С.В. Численные и экспериментальные исследования процессов СВЧ-термообработки диэлектриков в СВЧ-камерах бегущей волны // Вопросы электро-технологии. 2020. № 1 (26). С. 14-22. EDN: VKMMXC.

10. Рябченко В.Ю., Паслён В.В. Компьютерное моделирование объектов с помощью ПП CST Microwave Studio // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. 2018. № 1. С. 139. EDN: QIKITH.

Информация об авторах

Евгений Викторович Воронов¹, канд. экон. наук, доцент, директор инженерного института;
<https://orcid.org/0000-0002-9867-5860>; e_voronov@list.ru

Ольга Валентиновна Михайлова², д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Информационные технологии и системы связи»; <https://orcid.org/0000-0001-9231-4733>; ds17823@yandex.ru

Галина Владимировна Новикова³, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник;
<https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>; NovikovaGalinaV@yandex.ru

Марьяна Валентиновна Просвирыкова⁴, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизация и роботизация технологических процессов имени академика И.Ф. Бородин»; <https://orcid.org/0000-0003-3258-260x>; prosviryakova.maryana@yandex.ru

Владимир Федорович Сторчевой⁵, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация и роботизация технологических процессов имени академика И.Ф. Бородин»; <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>; energo-air@rgau-msha.ru

^{1,2,3} Нижегородский государственный инженерно-экономический университет; 606340, Россия, г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22 а

^{4,5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

Е.В. Воронов – анализ способов переработки слизистых суб-продуктов, создание окончательной версии рукописи

О.В. Михайлова – построение 3D-модели, исследование электро-динамических параметров системы «Генератор-резонатор» с визуализацией распределения электромагнитного поля

Г.В. Новикова – работа над составлением концепции повышения эффективности установки с источниками электрофизи-ческих параметров, редактирование рукописи

М.В. Просвирыкова – описание принципа действия установ-ки, расчёт технологических параметров

В.Ф. Сторчевой – анализ диэлектрических параметров сырья и расчёт мощности диэлектрических потерь.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не-сут ответственность за плагиат

Статья поступила 07.07.2023, после рецензирования и доработки 11.09.2023; принята к публикации 11.09.2023

10. Ryabchenko V.Yu., Paslyon V.V. Computer simulation of objects with CST Microwave Studio. *Modern Issues in Radio Elec- tronics and Telecommunications*. 2018;1:139. (In Rus.)

Information about the authors

Evgeny V. Voronov¹, DSc (Econ), Associate Professor, Director of the Engineering Institute;
<https://orcid.org/0000-0002-9867-5860>; e_voronov@list.ru

Olga V. Mikhailova², DSc (Eng), Professor, Professor of the Department of Information Technologies and Communication Systems;
<https://orcid.org/0000-0001-9231-4733>; ds17823@yandex.ru

Galina V. Novikova³, DSc (Eng), Professor, Chief Researcher;
<https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>; NovikovaGalinaV@yandex.ru

Mariana V. Prosviryakova⁴, DSc (Eng), Associate Professor, Professor of the Department of Automation and Robotization of Technological Processes named after Academician I.F. Borodin;
<https://orcid.org/0000-0003-3258-260x>; prosviryakova.maryana@yandex.ru

Vladimir F. Storchevov⁵, DSc (Eng), Professor, Head of the Department of Automation and Robotization of Technological Processes named after Academician I.F. Borodin;
<https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>; energo-air@rgau-msha.ru

^{1,2,3} Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics; Knyaginino, Russia

^{4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russia

Author contribution

E.V. Voronov – analysing the methods of processing mucous by- products, final editing of the draft

O.V. Mikhailova – construction of 3D model, study of electrody- namic parameters of the system “generator-resonator” with visu- alisation of electromagnetic field distribution

G.V. Novikova – conceptualization of the technology of increas- ing the efficiency of the installation with sources of electrophysi- cal parameters, editing of the draft

M.V. Prosviryakova – description of the operating principle of the installation, calculation of technological parameters

B.F. Storchevov – analyses of dielectric parameters of raw materi- als and calculation of dielectric loss power

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publica- tion of this paper are equally responsible for plagiarism.

Received 07.07.2023; revised 11.09.2023; accepted 11.09.2023