

А. П. Карлюк, И. П. Карлюк, К. В. Щурин // Сборник научных статей 7-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении». – Курск. – № 7. – 2022. – С. 78–93.

4. Помазкин, В. А. Неспецифические воздействия физических факторов на объекты биотехносферы : Монография / В. А. Помазкин. – Оренбург, ОГУ, 2001. – 340 с.

5. Егоров, И. Н. Улучшение эксплуатационных свойств дизельных топлив в условиях сельскохозяйственного производства : дис. ... канд. техн. наук : Великолукский СХИ. – Великие Луки, 1983. – 292 с.

6. Пивоварова, Н. А. Интенсификация процессов переработки углеводородного сырья воздействием постоянного магнитного поля : дис. ... докт. техн. наук: 05.17.07 / Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И. М. Губкина. – Москва, 2005. – 361 с.

7. Классен, В. И. Омагничивание водных систем / В. И. Классен. – М.: Химия, 1982. – 296 с.

8. Клочков, А. В. Параметры магнитного поля в устройствах омагничивания воды / А. В. Клочков, О. Б. Соломко, А. А. Емельяненко // «Агропанорама» – № 5. – 2020. – С. 23–28.

9. Лидин, Р. А. Справочник по неорганической химии. Константы неорганических веществ. Справочное пособие / Р. А. Лидин, Л. Л. Андреева, В. А. Молочко. – М.: Химия, 1987. – 320 с.

Summary. The main task of ensuring the process of magnetic activation of non-magnetic liquids, including hydrocarbon fuels, is the selection and implementation of magnetotropic parameters of the activator, adequate to the set goal – improving the operational (consumer) properties of substances.

УДК621.385.6

Тихонов А.А.¹, кандидат технических наук, доцент;
Романюк Н.Н.², кандидат технических наук, доцент,
Михайлова О.В.³, доктор технических наук, профессор;
Просвирякова М.В.⁴, доктор технических наук, доцент;
Федоров М.Е.¹, аспирант, **Коршиков Д.Д.¹**, аспирант

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Российская Федерация;

²Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

³ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Российская Федерация;

⁴Цивильский АТТ, г. Цивильск, Российская Федерация

РАДИОГЕРМЕТИЧНЫЙ ПЛАВИТЕЛЬ ЖИРОВОГО СЫРЬЯ НЕПРЕРЫВНО-ПОТОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ С СВЧ ЭНЕРГОПОДВОДОМ

Аннотация. В статье приведены данные расчетов электродинамических параметров резонатора для создания сборочных чертежей радиогерметичного

плавителя жирового сырья непрерывно-поточного действия с СВЧ энергоподводом.

Abstract. The article presents the results of calculations for electrodynamic parameters of a resonator designed to create assembly drawings for a radio-sealed continuous-flow fat raw material melter with microwave energy supply.

Ключевые слова. Усеченный конический резонатор, вытопка жира, диэлектрический шнек, замедляющая система.

Keywords. Truncated conical resonator, fat rendering, dielectric auger, slow-wave system.

Актуальной остаётся задача сохранения кормовой ценности жиросодержащего сырья при его термообработке и обеззараживании в условиях небольших фермерских хозяйств. Жир КРС, свиней, овец, кур и т.п. лабилен ко многим внешним факторам при первичной переработке: температуре среды, воздействию кислорода, микробиальному загрязнению и др. Поэтому одновременно с плавлением его необходимо обеззараживать. Извлечение жира из жиросодержащего сырья требует разрушения белковой структуры, удерживающей жир, и осуществления тепловой обработки методами теплопередачи конвекции и кондукции. [1]. Продолжительность обработки жирового сырья определяется временем плавления жира и временем выдержки сырья для уничтожения патогенной микрофлоры при определенной температуре. На крупных мясоперерабатывающих заводах для обработки жирового сырья применяются котлы большого объема с паровыми системами обогрева, работающие периодически и характеризующиеся высокими эксплуатационными расходами [1].

Целью настоящей работы является обоснование электродинамических параметров радиогерметичного плавителя жирового сырья непрерывно-поточного действия с СВЧ энергоподводом.

Предлагаемая установка (патент РФ № 2805965) (рисунок 1) предназначена для эффективной и безопасной переработки жиросодержащего сырья в условиях малого и среднего бизнеса [2]. Она включает в себя следующие элементы: загрузочную емкость с задвижкой – обеспечивающую дозированную подачу сырья в рабочую зону устройства; электроприводной спиральный шнек – для перемещения сырья вглубь рабочего пространства и одновременного перемешивания; магнетроны – создают необходимую интенсивность нагрева в ЭМП СВЧ; резонатор в виде перфорированного усеченного конуса из неферромагнитного материала – формирует устойчивое поле электромагнитных колебаний, обеспечивая эффективный нагрев сырья; экранированный цилиндрический корпус – обеспечивает защиту персонала от воздействия микроволнового излучения; диэлектрический корпус с перфорированным

основанием, диэлектрического шнека – для равномерного нагрева микроволновым излучением по всей массе сырья; малое основание перфорированного усеченного конуса – соединяет нижнюю часть устройства с корпусом, обеспечивая надежный отвод обработанных масс; наклонное неферромагнитное основание цилиндрического корпуса – способствует транспортировке жидкой фракции из зоны обработки; патрубок с шаровым краном (функционирует как запредельный волновод) – обеспечивает радиогерметичность и используется для слива вытопленного жира; керамический отражатель внутренней поверхности резонатора – улучшает распределение энергии и уменьшает потери микроволнового поля, повышая эффективность работы установки.

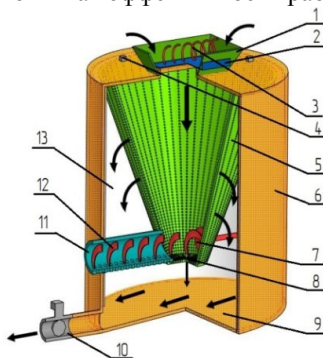


Рисунок 1 – Плавитель жирового сырья с СВЧ энергоподводом:

- а) общий вид в разрезе; 1 – загрузочная емкость с задвижкой 2; 3 – электроприводной спиральный шнек; 4 – магнетроны; 5 – перфорированный неферромагнитный резонатор в виде усеченного конуса; 6 – экранирующий цилиндрический корпус; 7 – электроприводной винтовой диэлектрический шнек; 8 – малое основание перфорированного усеченного конуса; 9 – наклонное неферромагнитное основание цилиндрического корпуса; 10 – неферромагнитный патрубок с шаровым краном (запредельный волновод); 11 – диэлектрический корпус с перфорированным дном винтового шнека; 12 – неферромагнитный виток винтового диэлектрического шнека; 13 – керамический отражатель

Вычислим, при каком соотношении диаметра экранирующего цилиндра и изменяющего диаметра перфорированного резонатора в виде усеченного конуса будет минимальное затухание волны (рисунок 2).

Коэффициент ослабления волны (потери в неферромагнитном цилиндрическом корпусе и резонаторе) в кольцевом объеме между экранирующим цилиндром и резонатором определяем по формуле [3]:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \cdot \frac{(R_s / d) + (R_s / D)}{120 \cdot \pi \cdot \ln(D / d)}, \text{ м}^{-1}, \quad (1)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость сырья, Ф/м, $\varepsilon = 25$ Ф/м;
 μ – магнитная проницаемость сырья, Гн/м, $\mu \approx 1$ Гн/м;
 R_s – поверхностное сопротивление металла, Ом, на частоте 2450 МГц
 $R_s \approx 0,017$ Ом;
 D – диаметр экранирующего цилиндра, м, $D = 0,634$ м;
 d – диаметр резонатора, м, $d = 0,551$ м.

$$\alpha = \sqrt{\frac{25}{1}} \cdot \frac{(0,017 / 0,5508 + (0,017 / 0,634))}{120 \cdot 3,14 \cdot \ln(0,634 / 0,5508)} = 0,165 \text{ м}^{-1}.$$

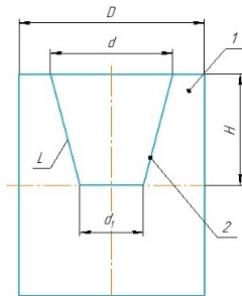


Рисунок 2 – Схематическое изображение коаксиально расположенного экранирующего корпуса (1) и резонатора в виде усеченного конуса (2)

Исследования показывают, что минимальное затухание волны в кольцевом объеме получается при отношении $D / d = 0,634 / 0,551 = 1,15$.
 Волновое сопротивление [3]:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\varepsilon / \mu}} = 60 \cdot \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right) = 138 \cdot \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \cdot \lg\left(\frac{D}{d}\right), \text{ Ом.} \quad (2)$$

$$Z = 138 \cdot \sqrt{\frac{1}{25}} \cdot \left| \lg\left(\frac{0,634}{0,5508}\right) \right| = 2,74 \text{ Ом.}$$

Переносимая мощность [3]:

$$P = 8,44 \cdot 10^{-3} \cdot E^2 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right), \text{ Вт.} \quad (3)$$

$$P = 8,44 \cdot 10^{-3} \cdot 361^2 \cdot 0,5508^2 \cdot \sqrt{\frac{25}{1}} \cdot \ln\left(\frac{0,634}{0,5508}\right) = 234,7 \text{ Вт.}$$

Между цилиндрическим экранирующим корпусом и коническим резонатором образуется пространство, в котором реализуется возврат

части электромагнитной энергии, излучаемой магнетронами мощностью 2400 Вт. Через перфорированные стенки резонатора возвращается около 233,75 Вт, что эквивалентно примерно 9,73 % от полной выходной мощности. Несмотря на небольшую величину восстановленной энергии, она оказывается достаточной для поддержания нужной температуры жира, обеспечивая снижение его вязкости и облегчая последующий слив через запредельный волновод и шаровой кран.

Эффективное ограничение распространения электромагнитных излучений через загрузочную ёмкость достигается за счёт использования неферромагнитного спирального шнека. Спираль представляет проводник, навитый на круглый цилиндр радиусом r с постоянным шагом h . В случае, когда диаметр проволоки намного меньше диаметра самой спирали, электрический ток свободно течёт вдоль витков, тогда как в поперечном направлении сопротивление бесконечно велико, фактически блокируя прохождение тока в этом направлении.

Ключевой особенностью спиральной замедляющей системы служит малая чувствительность коэффициента замедления к изменению частоты. Электромагнитная волна движется вдоль витков спирали. При применении спиральной замедляющей системы радиусом 3 см и шагом 1 см, мощность потока излучений должна составлять 27 мВт/см² [5].

Предотвращение излучения через сливной патрубков осуществляется применением неферромагнитной трубки малого диаметра и необходимой длины (запредельного волновода). Если радиус трубки принять равным четверти длины волны (3,06 см), то погонное затухание на низшем типе волны H_{11} будет равно 5,2 дБ/см [4].

Собственная добротность резонатора рассчитывается следующим образом [4]:

$$Q_o = \frac{2 \cdot V}{\Delta \cdot S}, \quad (4)$$

где Δ – толщина поверхностного слоя ($1,72 \cdot 10^{-6}$ м);

S – площадь внутренней поверхности стенок резонатора, м²;

L – длина образующей усеченного конуса, м, $L = 0,648$ м.

Объем и площадь усеченного конуса:

$$V = \frac{\pi \cdot H}{3} [R^2 + R \cdot r + r^2], \quad (5)$$

где H – высота усеченного резонатора, м, $H = 0,612$ м;

R – радиус большего основания резонатора, м, $R = d / 2 = 0,5508 / 2 = 0,2754$ м;

r – радиус меньшего основания резонатора, м, $r = d_1 / 2 = 0,1224 / 2 = 0,0612$ м.

$$V = \frac{3,14 \cdot 0,612}{3} [0,2754^2 + 0,2754 \cdot 0,0612 + 0,0612^2] = 0,062 \text{ м}^3.$$

$$S = \pi [R^2 + r^2 + L(R + r)]. \quad (6)$$

$$S = 3,14 \cdot [0,2754^2 + 0,0612^2 + 0,6484 \cdot (0,2754 + 0,0612)] = 0,9356 \text{ м}^2.$$

$$Q_o = \frac{2 \cdot 0,062}{1,716 \cdot 10^{-6} \cdot 0,9356} = 77235.$$

Согласование напряженности электрического поля, добротности и объема резонатора [6]:

$$E = \sqrt{\frac{Q_o \cdot P_{\text{ген}}}{0,27 \cdot \epsilon_o \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot V}}, \frac{\text{кВ}}{\text{см}}, \quad (7)$$

где Q_o – собственная добротность резонатора;

$P_{\text{ген}}$ – мощность генераторов, Вт, $P_{\text{ген}} = 3 \times 800 = 2400$ Вт;

ϵ_o – диэлектрическая проницаемость вакуума, $\epsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

f – частота ЭМП СВЧ, $f = 2450$ МГц;

V – объем резонатора, м^3 .

$$E = \sqrt{\frac{77235 \cdot 2400}{0,27 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 0,062}} = 28,52 \cdot 10^4 \frac{\text{В}}{\text{м}} = 2,85 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}.$$

Исследование трёхмерных конфигураций электромагнитного поля внутри резонатора формы усечённого конуса было выполнено посредством программы CST Studio Suite 2019, применяя модуль расчёта частотной области (Frequency Domain solver). Графическое представление распределения электромагнитных волн в резонаторе, имеющем форму усечённого конуса, представлены на рисунке 3.

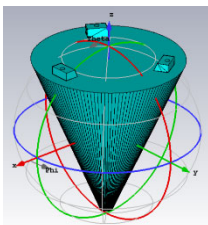


Рисунок 3 – Распределение электромагнитных волн в резонаторе в координатах осей

Программа позволяет исследовать напряженности электрического и магнитного полей, поверхностный ток, плотность потока магнитной

составляющей поля, энергию электрической составляющей, Результаты исследования показывают, что вдоль вертикальной оси напряженность электрического поля равномерная, и составляет до 2,85 кВ/см при мощности генераторов 2 400 Вт.

Проведённые расчёты и полученные данные послужили основой для создания сборочных чертежей плавителя жирового сырья (рисунок 4).

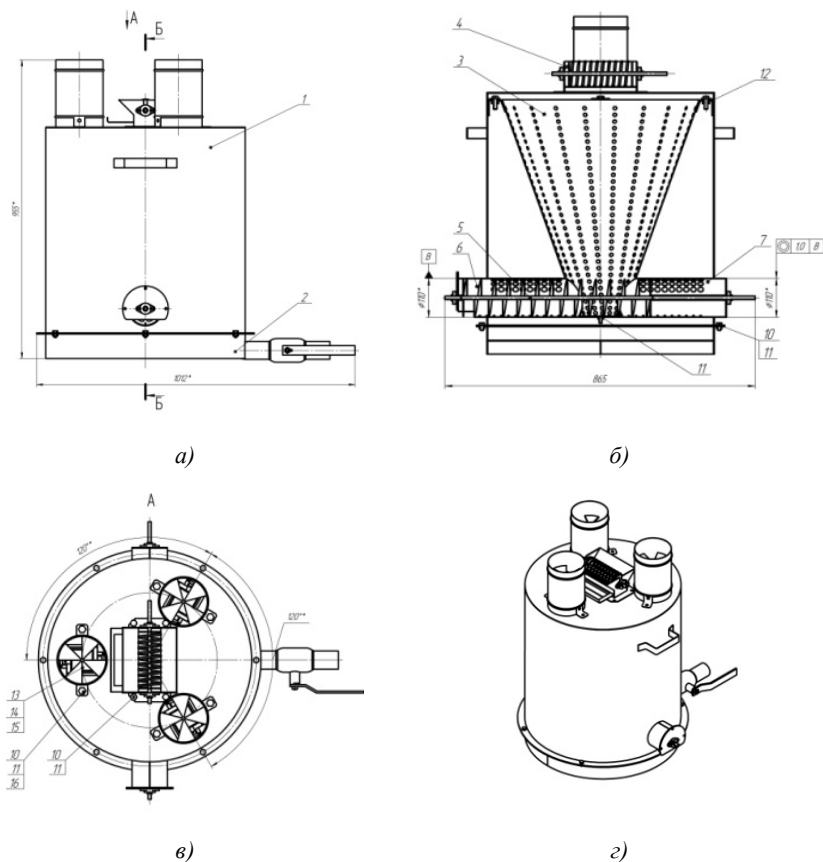


Рисунок 4 – Сборочные чертежи плавителя жирового сырья с СВЧ энергоподводом: а) общий вид; б) общий вид в разрезе с позициями; в) общий вид сверху; г) изометрия: 1 – корпус верхний; 2 – корпус нижний; 3 – резонатор конический; 4 – емкость загрузочная; 5 – шнек; 6 – труба перфорированная; 7 – труба перфорированная; 10, 11, 12 – стандартные изделия (крепёж); 13 – вентилятор осевой; 14 – волновод; 15 – магнетрон; 16 – уголок

Список использованной литературы

1. Ивашов, В. И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Ч. 1. Оборудование для убоя и первичной обработки. – / В. И. Ивашов. – М.: Колос, 2001. – 552 с.
2. Патент РФ № 2805965. Плавитель жирового сырья с СВЧ энергоподводом / Новикова Г. В., Просвирякова М. В., Тихонов А. А., Михайлова О. В., Сторчевой В.Ф., Федоров М.Е., Сбитнев Е.А. ; заявитель и патентообладатель НГИЭУ (RU). – № 2022133228 ; заявл. 19.12.2022. – Бюл. № 30 от 24.10.2023. – 18 с.
3. Басакаов, С. И. Электродинамика и распространения волн. Сборник задач / С. И. Басакаов. – М.: ВШ, 1981. – 208 с.
4. Пчельников, Ю. Н. Электроника сверхвысоких частот / Ю. Н. Пчельников. – М.: Радио и связь, 1981. – 96 с.
5. Новикова, Г. В. Разработка и обоснование параметров плавителя жирового сырья с СВЧ-энергоподводом / Г. В. Новикова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2 (100). – С. 119–124.
6. Курушин, А. А. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio / А. А. Курушин, А. Н. Пластиков. – М.: МЭИ, 2012. – 152 с.

Summary. The proposed installation solves the problem of complex processing of fat-containing raw materials, preserving its biological and nutritional value, ensuring a high level of hygiene and electrification of the process, making it possible to use it in farms and small enterprises of the food industry.

УДК 631.3

Лопарев А.С., аспирант;

Казакон К.В., кандидат технических наук, доцент

*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет
им. В.Я. Горина», п. Майский, Белгородская область, Российская Федерация*

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕССОВАНИЯ И СУШКИ ЖОМА

Аннотация: Статья посвящена актуальным проблемам и перспективам внедрения современных технологий прессования и сушки свекловичного жома. Рассматриваются преимущества и недостатки существующих методов, предлагаются инновационные решения, направленные на повышение качества продукции, снижение затрат и улучшение экологии производственного цикла. Особое внимание уделено применению новых видов оборудования и материалов, обеспечивающих высокую степень автоматизации и энергосбережения

Annotation: The article is devoted to the current problems and prospects of introducing modern technologies for pressing and drying beet pulp. The advantages and disadvantages of existing methods are considered, innovative solutions aimed at improving product quality, reducing costs and improving the ecology of the production cycle are proposed. Special attention is paid to the use of new types of equipment and materials that provide a high degree of automation and energy saving.