

**МИКРОВОЛНОВЫЕ УСТАНОВКИ С НЕТРАДИЦИОННЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ
ДЛЯ СБОРА ПУХА СО ШКУР КРОЛИКОВ****Шамин Е.А., Новикова Г.В., Михайлова О.В., Зайцев П.В.,
Овчукова С.А., Кириллов Н.К., Белов Е.Л.**

Реферат. В работе описаны разработанные сверхвысокочастотные установки с тороидальными и коническими резонаторами, применяемые при отделении пуха кроликов от шкур, обеспечивающие высокую напряженность электрического поля, непрерывность технологического процесса при соблюдении радиогерметичности и повышения показателей качества пуха путем совершенствования микроволновой технологии и сверхвысокочастотных установок. Технологический процесс сбора волосяного покрова со шкур кроликов в СВЧ установке с тороидальными резонаторами происходит за счет ослабления силы удерживаемости волосяного покрова в волосяных луковицах в процессе избирательного диэлектрического нагрева составляющих шкуры и распыления рассола. В биконическом резонаторе удастся получить максимально высокую собственную добротность благодаря малым продольным токам в стенках. Наличие щелей в запердельных областях обеспечивает возможность перемещения шкуры через внутреннюю полость биконического резонатора, где излучатели расположены в области максимального его диаметра.

Ключевые слова: сверхвысокочастотная установка, магнетрон, тороидальный и биконический резонаторы, непрерывный режим, шкура кролика, ослабление удерживаемости волосяного покрова в дерме.

Введение. В России важность развития исследований эффекта сверхвысокочастотного (СВЧ) нагрева подтверждается принятием 17 декабря 2012 года Стратегической программы исследований «СВЧ технологии», определяющей развитие промышленных установок для термообработки материалов, в том числе сельскохозяйственного сырья.

В настоящее время, в фермерских хозяйствах шкурки кроликов после снятия из-за низкого спроса утилизируются, либо направляются на производство белковых кормов. Волосяной покров, собранный со шкур кроликов, является ценным сырьем для легкой промышленности, и от способа его сбора во многом зависит качество пушно-мехового изделия. Основную часть массы шкуры кроликов составляет масса волосяного покрова. Отношение массы волос к массе мездры у шкурок первого сорта составляет 2:1. Шкуры кроликов «Белый Великан» имеют на единицу площади наибольшую массу, обладают наибольшей длиной волосяного покрова. Волосяной покров кроликов мясо-шкурковых пород содержит от 30 до 50 % очень густого белоснежного пуха [4].

При тепловой обработке шкурок кроликов сила удерживаемости волокон пуха в дерме и волосяных луковицах уменьшается, что облегчает сбор пуха [3]. Но при превышении температуры нагрева кожи и продолжительности воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты, увеличиваются повреждения кожи и ухудшается товарный вид волосяного покрова. Поэтому тепловую обработку сырья следует проводить микроволновой технологией при оптимальном режиме, обеспечивающем достаточное ослабление удерживаемости

волосяного покрова в дерме и не ухудшающем их качество. При этом действию диэлектрического нагрева избирательно подвергаются не только эпидермис, дерма и подкожный слой жира, но и луковицы волос. [10, 11].

Целью настоящей работы является повышение показателей качества пуха при отделении его от шкуры кроликов путем совершенствования микроволновой технологии и сверхвысокочастотных установок.

Условия, материалы и методы исследований. В основу настоящего исследования положены наиболее значимые работы известных ученых в теории и практике переработки сырья: Бородина И.Ф., Стребкова Д. С., Гинзбурга А.С. и др., в теории объемных резонаторов: Архангельского Ю.С., Атабекова Г.И., Бессонова Л.А., Коломейцева В.А., Пчельникова Ю.Н., Дробахина О.О., Плаксина С.В. и др.

Известно, что для электромагнитных волн сантиметрового диапазона в качестве колебательной системы используют объемные резонаторы. СВЧ установка состоит из генератора и электродинамической системы [5]. Геометрическую форму и тип колебаний выбирают исходя из технологичности изготовления резонатора, возможности настройки, получения максимальной добротности и желаемой конфигурации поля [2].

Нами модернизируются резонаторные камеры, электродинамические системы которых в конструктивном отношении отличаются от существующих тем, что объемные резонаторы имеют нетрадиционные конфигурации. При этом: выявлена динамика процесса нагрева с учетом изменения во времени диэлектрических и теплофизических параметров сырья;

обоснована конфигурация и размеры объемно-резонатора в соответствии с длиной волны и критической напряженностью электрического поля; определено количество источников излучений и их расположение в рабочей камере.

Разработаны СВЧ установки с объемными резонаторами в виде цилиндрических, сферических, кольцевых, коаксиальных, тороидальных, биконических и других камер [7, 8, 9, 11]. Предлагаемые СВЧ установки, предназначенные для реализации микроволновой технологии, ориентированы на отделение волосяного покрова от вымоченной в рассоле кожи шкур кроликов, в процессе воздействия ЭМП СВЧ в непрерывном режиме. Сбор пуха происходит в процессе ослабления силы удерживаемости волосяного покрова в дерме кожи, во время передвижения шкуры через резонаторы нетрадиционной конструкции.

Приведено описание разработанных СВЧ установок, которые обеспечивают высокую напряженность электрического поля и непрерывность технологического процесса, при сохранении предельно допустимого уровня радиогерметичности. Это установки с тороидальными резонаторами (рис. 1) и биконическим резонатором (рис. 2).

СВЧ установки с тороидальными резонаторами для отделения волосяного покрова от кожи шкур кроликов в процессе распыления рассола. В СВЧ установке (рисунок 1) с тороидальными резонаторами источники энергии расположены в центральной части, выполненной в виде параллельно расположенных плоских колец, на расстоянии больше чем четверть длины волны, а средний периметр тороидальной части резонатора равен кратной половине длины волны. Такое исполнение обеспечит бегущую волну и высокую напряженность электрического поля [1].

Технологический процесс сбора волосяного покрова со шкур кроликов в СВЧ установке, обеспечивающей ослабление силы удерживаемости

мости волосяного покрова в луковицах, за счет избирательного нагрева составляющих шкуры в процессе распыления рассола, происходит следующим образом (рисунок 1).

Включить электродвигатель привода тросо-шайбового транспортера 7, после чего тяговый орган шайбового транспортера перемещается в трубе 6. Включить насос для подачи рассола через трубопровод 6 к распылителям рассола 3. Загрузить в процессе движения шайб шкуры 5 кроликов через загрузочный патрубок 4 в направляющую трубу 6. Включить СВЧ генераторы излучателей 1 по мере оказания сырья в соответствующих тороидальных резонаторах 2. Сырье с распыленным рассолом подвергается многократному воздействию ЭМП СВЧ, избирательно нагревается, распаривается, происходит полное разрыхление слоя эпидермиса. При этом ослабляется сила удерживаемости волосяного покрова в дерме кожи. Пух в процессе распаривания в рассоле легко выдергивается из волосяной луковицы. Остатки рассола стекают через перфорированные диэлектрические муфты и перфорацию 2 торов в специальный поддон. В центральной части 2 тороидального резонатора образуется электрическое поле высокой напряженности, обеспечивающее обеззараживание волосяного покрова. Отделенный от дермы волосяной покров при незначительном давлении высасывается с помощью пневмонасоса через пневмопровод, установленный в конце выгрузного патрубка. В распаренной шкуре, за счет ЭМП СВЧ и рассола, создаются такие условия, что происходит смягчение кожи, расширение пор, быстрое разрушение волосяных луковичек и освобождение волос. При этом сохраняются прочностные свойства волосяного покрова.

СВЧ установка с биконическим резонатором для ослабления прочности соединения волосяного покрова с кожей шкур кроликов в непрерывном режиме. СВЧ установка (рисунок 2) предназначена для ослабления

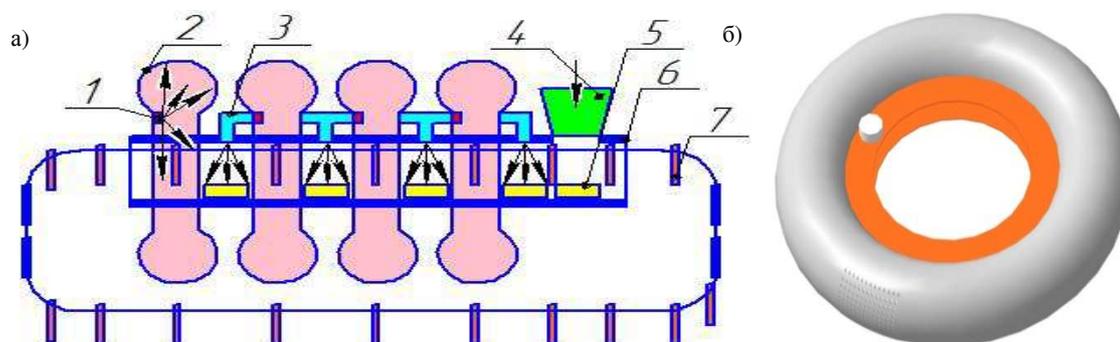


Рисунок 1 – Технологическая схема (а) процесса отделения волосяного покрова от шкуры кроликов в рабочей камере с тороидальными резонаторами (б) при распылении рассола в непрерывном режиме: 1 – излучатель; 2 – тороидальные резонаторы; 3 – распылитель; 4 – загрузочный патрубок; 5 – шкуры кроликов; 6 – труба; 7 – тросо-шайбовый транспортер

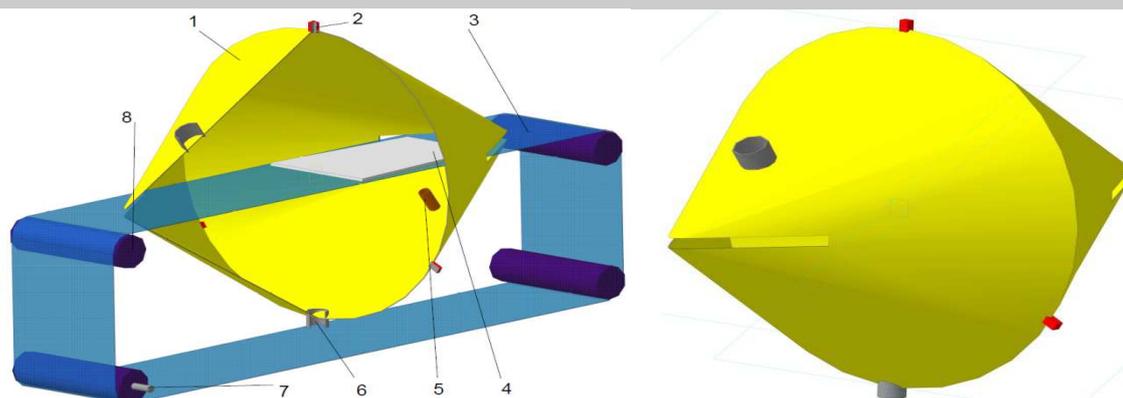


Рисунок 2 – СВЧ установка с биконическим резонатором для ослабления прочности соединения волосяного покрова: а) общий вид в разрезе; б) биконический резонатор; 1 – симметричный биконический резонатор; 2 – магнетроны; 3 – транспортер из диэлектрического материала в виде сеточной ленты; 4 – шкура кролика; 5 – распылитель рассола; 6 – патрубок для слива рассола; 7 – вал электродвигателя с приводным барабаном; 8 – опорные ролики; 9 – пневмопровод

прочности соединения волосяного покрова с кожей в процессе избирательного нагрева шкур кроликов, отволаженных в рассоле в процессе передвижения шкуры с помощью сеточного транспортера через биконический резонатор. В шкуре за счет сочетания ЭМП-СВЧ и рассола, создаются такие условия, что происходит распаривание и смягчение кожи, расширение пор, быстрое разрушение волосяных луковичек и освобождение волос.

Основными элементами СВЧ установки (рисунок 2) с биконическим резонатором для ослабления прочности соединения волосяного покрова являются симметричный биконический резонатор, транспортер, распылитель рассола.

Технологический процесс ослабления прочности соединения волосяного покрова с кожей шкур кроликов и его сбора в непрерывном режиме происходит следующим образом. Включить мотор-редуктор для привода транспортера 3. Уложить мездрой стороной развернутую шкуру кролика 4 на рабочую ветвь транспортера. Включить насос для перекачивания рассола к распылителю 5. Включить СВЧ генераторы, после чего в симметричном биконическом резонаторе возбуждается ЭМП-СВЧ. Происходит избирательный нагрев шкуры, мездрая сторона которой вымочена рассолом, определенной концентрации. Шкура распаривается рассолом в ЭМП-СВЧ, создаются такие условия, что происходит смягчение кожи, расширение пор, быстрое разрушение волосяных луковичек и освобождение волос. Пневмонасос обеспечивает транспортирование отделенного от кожи волосяного покрова в циклон, через пневмопровод 9. В процессе распыления рассола через сеточную ленту, остатки рассола стекают через сливной патрубок 6 в специальную емкость для рассола. Расположение излучателей по периметру основания конусов сдвигаем на 120 градусов обеспе-

чивает надежную работу генераторов, т.е. отраженные волны от одного генератора не выбивают соседние магнетроны 2.

Для определения закономерности отделения волосяного покрова со шкуры кроликов составляем дифференциальные уравнения по методике К.К. Пономарева [6].

Считаем, что шкура A под воздействием ЭМ-СВЧ и рассола распадается на два вещества P (волосяной покров) и Q (кожу). Скорость образования каждого из этих составляющих пропорциональна количеству неразложившегося вещества (шкуры). Пусть y и x – это количество волосяного покрова (P) и кожи (Q), образовавшиеся к моменту t . Вес шкуры кролика составляет 400...450 г, а волосяной покров кроликов мясо-шкурковых пород содержит от 40 до 50 % пуховых волос, т.е. в пределах 150...250 г.

Предварительные эксперименты показывают, что из одной шкуры кролика «Белый Великан», весом 450 г в среднем за 150 секунд отделяется пух, в пределах 180 г, если температура нагрева шкуры достигает 35...42°C.

Определим выражения, описывающие изменения отделенного от мездры количества волосяного покрова в процессе обработки, зная, что в начальный момент $x=0$, $y=0$, а через $t = 150$ с,

$x = 5 \times c / 10$, $y = 2 \times c / 5$, где c – первоначальное количество вещества A .

В момент t скорости образования пуха P и кожи Q будут:

$$\begin{aligned} dx/dt &= k_1(c-x-y), \\ dy/dt &= k_2(c-x-y) \end{aligned} \quad (1)$$

так как к этому моменту количество неразложившегося еще вещества A равно $c - x - y$. Уравнение (1) представляет систему двух линейных дифференциальных уравнений первого порядка.

Дифференцируя уравнение (1), получим:

$$d^2x/dt^2 = -k_1 \times (dx/dt + dy/dt) \quad (2)$$

Подставляя в уравнение (2) значение dy/dt из второго уравнения системы (1), получим:

$$d^2x/dt^2 = -k_1 \times [dx/dt + k_2 \times (c - x - y)]. \quad (3)$$

Исключая значение y из уравнения (3) и первого уравнения системы (1), находим:

$$d^2x/dt^2 + (k_1 + k_2)dx/dt = 0. \quad (4)$$

Уравнение (4) является однородным линейным уравнением 2-го порядка. Его характеристическое уравнение: $r^2 + (k_1 + k_2)r = 0$. Это неполное квадратное уравнение имеет два корня: $r_1 = 0$ и $r_2 = -(k_1 + k_2)$. Тогда, общее решение уравнения (4) составляем в виде:

$$x = C_1 + C_2 \times e^{-(k_1 + k_2) \times t}. \quad (5)$$

Для нахождения второго решения дифференцируем найденное выражение для x , подставляем x и dx/dt в первое уравнение системы и решаем его относительно y . Тогда получим: $dx/dt = -C_2 \times (k_1 + k_2) \times e^{-(k_1 + k_2) \times t}$.

$$\begin{aligned} & -C_2 \times (k_1 + k_2) \times e^{-(k_1 + k_2) \times t} = \\ & = k_1 \times (c - C_1 - C_2 \times (k_1 + k_2) \times e^{-(k_1 + k_2) \times t} - y), \end{aligned}$$

отсюда второе решение:

$$y = c - k_2/k_1 \times C_2 \times e^{-(k_1 + k_2) \times t} - C_1. \quad (6)$$

Решение системы:

$$\left. \begin{aligned} x &= C_1 + C_2 \cdot e^{-(k_1 + k_2) \cdot t}, \\ y &= c + \frac{k_2}{k_1} \cdot C_2 \cdot e^{-(k_1 + k_2) \cdot t} - C_1, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Определим C_1 и C_2 , используя начальные условия: при $t = 0, x = 0$ и $y = 0$:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{k_1 \cdot c}{k_1 + k_2}, \\ C_2 &= -\frac{k_1 \cdot c}{k_1 + k_2}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Далее получим выражения, описывающие графики изменения величин x и y в процессе обработки шкуры в СВЧ установке, т.е. накопления отделенного от дермы волосяного покрова:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{k_1 \cdot c}{k_1 + k_2} \cdot [1 - e^{-(k_1 + k_2) \cdot t}], \\ y &= -\frac{k_2 \cdot c}{k_1 + k_2} \cdot [1 - e^{-(k_1 + k_2) \cdot t}]. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Коэффициенты k_1 и k_2 вычислим из предварительного эксперимента: при $t = 150$ с, $x = 4 \times c / 10, y = 2 \times c / 5$

Тогда получим:

$$\left. \begin{aligned} \frac{5 \cdot c}{10} &= \frac{k_1 \cdot c}{k_1 + k_2} \cdot [1 - e^{-(k_1 + k_2) \cdot t}], \\ \frac{2 \cdot c}{5} &= \frac{k_2 \cdot c}{k_1 + k_2} \cdot [1 - e^{-(k_1 + k_2) \cdot t}]. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Отсюда определяем коэффициенты:

$$\begin{aligned} k_1/k_2 &= 5/4; k_1 = 5/4 \times k_2, \text{ и тогда} \\ 2/5 &= 4/9 \times (1 - e^{-337,5 \times k_2}), \text{ или} \\ e^{-337,5 \times k_2} &= 1 - 18/20 = 0,1, \\ k_2 &= 2,3/337,5 = 0,0068. \\ k_1 &= 3/2 \times k_2 = 3/2 \times 0,0068 = 0,01. \end{aligned}$$

Подставляя эти значения в равенство (9), находим выражения, описывающие скорость отделение волосяного покрова от кожи шкуры кролика:

$$y = 0,4 \times c \times (1 - e^{-0,0168 \times t}) - \text{волосяной покров}, \quad (11)$$

$$x = 0,6 \times c \times (1 - e^{-0,0168 \times t}) - \text{кожа}, \quad (12)$$

где t – продолжительность обработки шкуры, с;

c – вес исходной шкуры, г.

График изменения массы отделенного волосяного покрова в процессе воздействия ЭМП СВЧ на шкуру кролика показан на рисунке 3.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что из одной шкуры кролика «Белый Великан» в среднем за 150 с отделяется пух 160 г, если температура нагрева шкуры достигает 35...42°C.

Пользуясь программой CST Microwave Studio, вычисляем распределение напряженности электромагнитного поля (10 мода) в биконическом резонаторе и его добротность. Анализ (рисунке 4) показывает, что собственная добротность биконического резонатора, равная 7000...9000, достигается при выбранных конструкционных размерах, и при этом напряженность электрического поля 5...6 кВ/см можно обеспечить в центральной части резонатора.

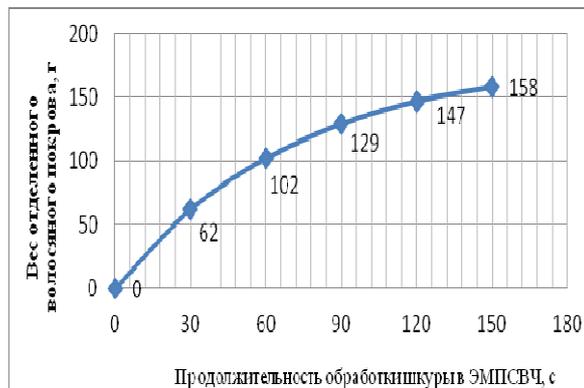


Рисунок 3 – График изменения массы отделенного волосяного покрова в процессе воздействия ЭМП СВЧ на шкуру кролика

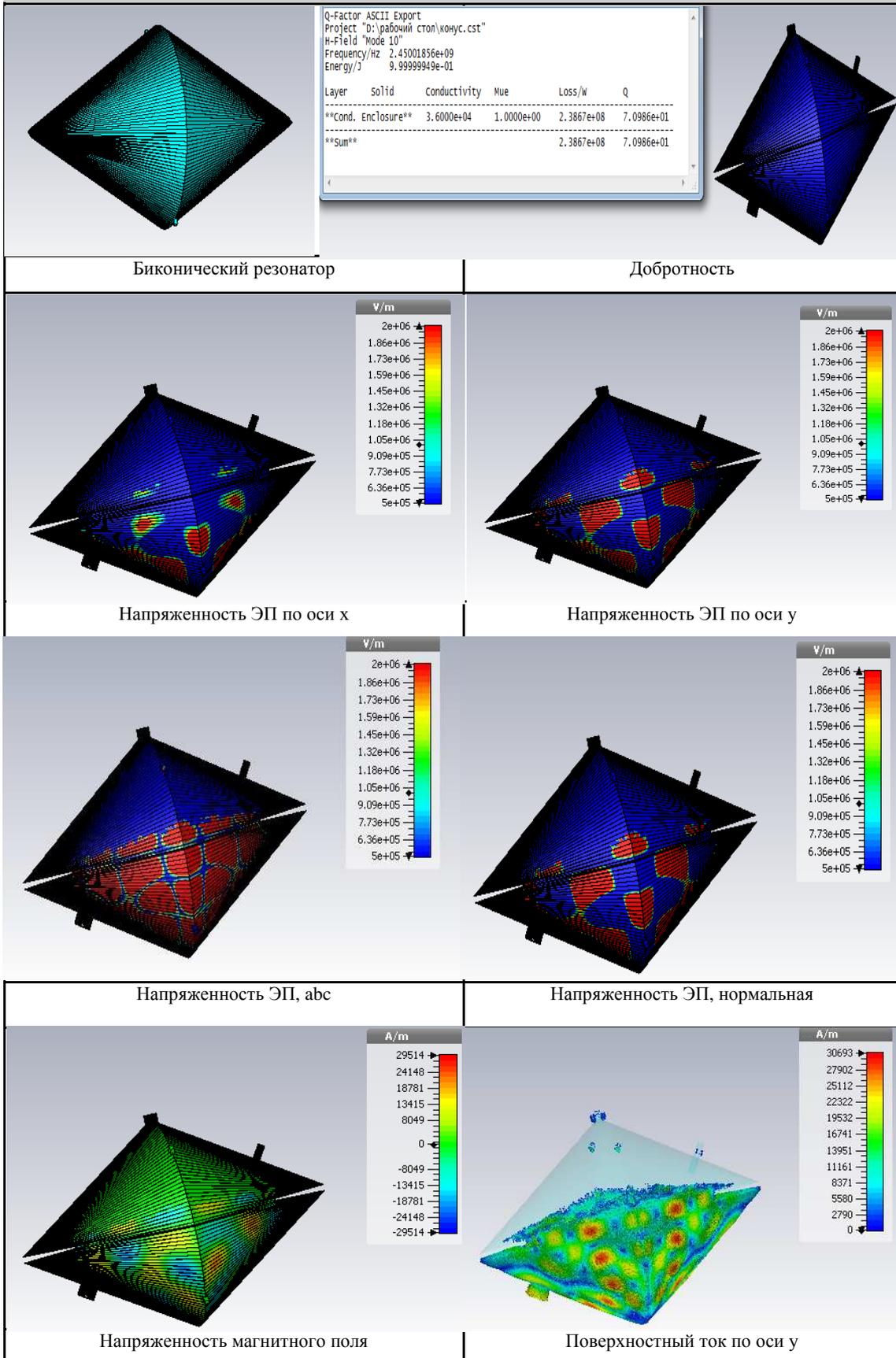
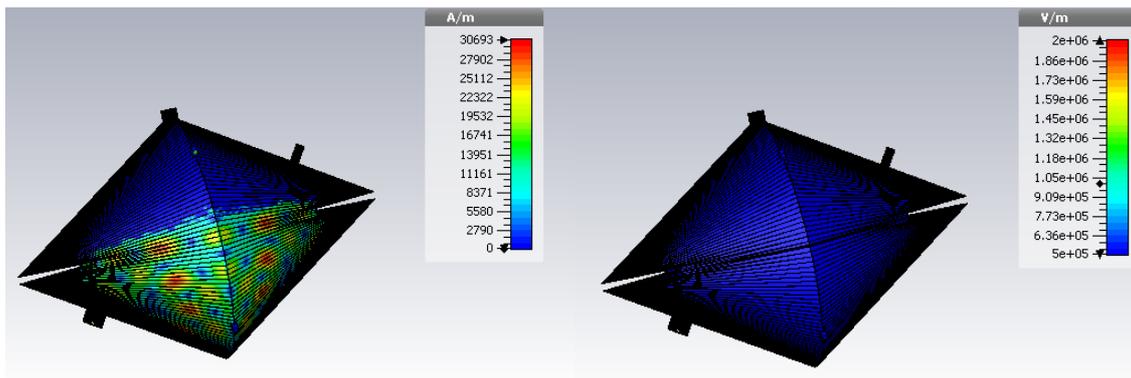
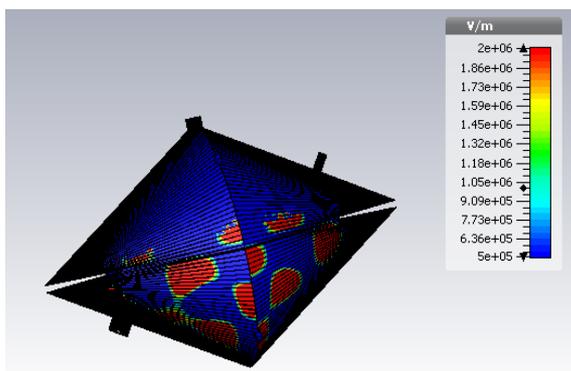


Рисунок 4 – Визуализация распределения электромагнитного поля в биконическом резонаторе, предназначенном для обеззараживания и отделения пуха от шкур кроликов в непрерывном режиме при соблюдении радиогерметичности



Поверхностный ток, abc

Напряженность ЭП, тангенциальная



Напряженность ЭП по оси z

Выводы. Предлагаемая технология сбора пуха реализуется установкой, обеспечивающей ослабление силы удерживаемости волосяного покрова в коже за счет избирательного диэлектрического нагрева шкуры кроликов в процессе вымачивания мездровой стороны рассолом определенной концентрации. Для реализации данной технологии предложены СВЧ установки с тороидальными и кониче-

скими резонаторами.

В биконическом резонаторе удастся получить максимально высокую собственную добротность благодаря малым продольным токам в стенках и высокую напряженность электрического поля. Наличие щелей в запердельных областях обеспечивает возможность перемещения шкуры через внутреннюю полость биконического резонатора, где излучатели расположены в области максимального его диаметра.

Получены выражения, описывающие скорость отделения волосяного покрова от кожи шкуры кролика при воздействии электромагнитного поля сверхвысокой частоты.

Пользуясь программой CST Microwave Studio, вычислено распределение напряженности электромагнитного поля в биконическом резонаторе и его добротность.

Экономический эффект от применения микроволновой установки для сбора пуха со шкур кроликов в непрерывном режиме составляет в пределах 300 тыс. руб./год за счет снижения эксплуатационных затрат.

Литература

1. Дробахин, О.О. Резонансные свойства аксиально-симметричных микроволновых резонаторов с коническими элементами / О.О. Дробахин, П.И. Заболотный, Е.Н. Привалов // Радиофизика и радиоастрономия. – 2009. – Т.1. – № 4, – С. 433–441.
2. Жданкин, Г.В. Разработка рабочих камер сверхвысокочастотных установок для термообработки пищевых отходов мясного производства / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, Б.Г. Зиганшин // Вестник Ижевской ГСХА. – Ижевск: Ижевский ГСХА, 2017. – № 1(50). – С. 61–69.
3. Ивашов, В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. / В.И. Ивашов. – М.: Колос, 2001. – 552 с.
4. Комлацкий, В.И. Эффективное кролиководство / В.И. Комлацкий В.И, С.В. Логинов. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2013. – 224 с.
5. Копусов, В.Н. К вопросу создания многомагнетронного оборудования для современных технологий. / В.Н. Копусов // СВЧ техника и телекоммуникационные технологии. – Севастополь: Вебер, 2001. – С. 652–653.
6. Пономарев, К.К. Составление дифференциальных уравнений. / К.К. Пономарев. – Минск: Высшая школа, 1973. – 558 с.
7. Шамин, Е.А. Анализ условий функционирования установки для отделения меха от шкур кроликов / Е.А. Шамин, Б.Г. Зиганшин, Г.В. Новикова, Т.В. Шаронова // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: ГБОУ ВО НГИЭУ, 2017. – №8 (75). – С. 41–47.
8. Шамин, Е.А. Разработка сверхвысокочастотной установки с цилиндрическими резонаторами для сушки пушно-мехового сырья в непрерывном режиме // Е.А. Шамин, Б.Г. Зиганшин, Г.В. Новикова // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: ГБОУ ВО НГИЭУ, 2017. – № 9 (76). – С. 57–64.
9. Шамин, Е.А. Разработка аэродинамической сушилки пушно-мехового сырья с сверхвысокочастотным энергоподводом / Е.А. Шамин, Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: ГБОУ ВО НГИЭУ. – 2017, № 10 (77). – С. 64–71.
10. Шамин, Е.А. Технологии переработки мехового сырья кроликов / Е.А. Шамин, Г.В. Новикова, Б.Г. Зиганшин, Е.Л. Белов // Вестник Казанский ГАУ. – Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ», 2017. – № 3

(45) – С. 61–67.

11. Шамин, Е.А. Разработка микроволновых сушилок для пушно-мехового сырья / Е.А. Шамин, Б.Г. Зиганшин, Г.В. Новикова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань: ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ». 2017. – № 3(45). – С. 86–90.

Сведения об авторах:

Евгений Анатольевич Шамин – кандидат экономических наук, доцент, e-mail: ngiei-126@mail.ru.
 Новикова Галина Владимировна – доктор технических наук, профессор, e-mail: novikovagalina@yandex.ru;
 Михайлова Ольга Валентиновна – доктор технических наук, профессо;
 ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Нижегородская область, Россия.
 Зайцев Петр Владимирович – доктор технических наук, профессор;
 Овчукова Светлана Александровна – доктор технических наук, профессор;
 Кириллов Николай Кириллович – доктор ветеринарных наук, профессор;
 Белов Евгений Леонидович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: Belovevg2008@yandex.ru;
 ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, Россия.

MICROWAVE INSTALLATIONS WITH NON-TRADITIONAL RESONATORS FOR COLLECTING FUR FROM RABBITS' SKIN

Shamin E.A., Novikova G.V., Mikhaylova O.V., Zaytsev P.V., Ovchukova S.A., Kirillov N.K., Belov E.L.

Abstract. The paper describes the developed ultrahigh-frequency installations with toroidal and conical resonators used for separating rabbits' fur from hides providing high electric field strength, continuity of the technological process while observing radio-tightness and improving the quality of fluff by improving microwave technology and ultra-high-frequency installations. The technological process of collecting hair from rabbits' skins in a microwave device with toroidal resonators is due to the weakening of the retention of the hair cover in hair follicles during the selective dielectric heating of the components of the skin and the spraying of the brine. In a biconical resonator, it is possible to obtain the highest possible high quality factor due to small longitudinal currents in the walls. The presence of gaps in the outermost regions provides the ability to move the skin through the internal cavity of the biconical resonator, where the emitters are located in the region of its maximum diameter.

Key words: superhigh-frequency installation, magnetron, toroidal and biconical resonators, continuous mode, rabbit skin, weakening of retention of hair in the dermis.

References

1. Drobakhin O.O. Resonance properties of axially symmetric microwave cavities with conical elements. [Rezonansnye svoystva aksialno-simmetrichnykh mikrovolnovykh rezonatorov s konicheskimi elementami]. / O.O. Drobakhin, P.I. Zabolotnyy, E.N. Privalov // *Radiofizika i radioastronomiya. - Radiophysics and Radio Astronomy*. 2009, Vol. 1, № 4, – P. 433–441.
2. Zhdankin G.V. Development of working chambers of ultrahigh-frequency installations for heat treatment of non-food wastes of meat production. [Razrabotka rabochikh kamer sverkhvysokochastotnykh ustanovok dlya termooobrabotki nepishchevykh otkhodov myasnogo proizvodstva]. / G.V. Zhdankin, G.V. Novikova, B.G. Ziganshin // *Vestnik Izhevskoy GSKhA. – The Herald of Izhevsk State Agricultural Academy*. – Izhevsk: Izhevskiy GSKhA, 2017, № 1(50). – P. 61–69.
3. Ivashov V.I. *Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriyatiy myasnoy promyshlennosti*. [Technological equipment of meat industry enterprises]. / V.I. Ivashov. – M.: Kolos, 2001. – P. 552.
4. Komlaktsey V.I. *Effektivnoe krolikovodstvo*. [Effective rabbit breeding]. / V.I. Komlaktsey V.I, S.V. Loginov. – Krasnodar: Kubanskiy GAU, 2013. – P. 224.
5. Kopusov V.N. *K voprosu sozdaniya mnogomagnetonmogo oborudovaniya dlya sovremennykh tekhnologiy. // SVCH tekhnika i telekommunikatsionnye tekhnologii*. [To the issue of creating multi-magnet equipment for modern technologies. / V.N. Kopusov // *Microwave engineering and telecommunication technologies*]. – Sevastopol: Veber, 2001. – P. 652–653.
6. Ponomarev K.K. *Sostavlenie differentsialnykh uravneniy*. [Formulation of differential equations]. / K.K. Ponomarev. – Minsk: Vysshaya shkola, 1973. – P. 558.
7. Shamin E.A. Analysis of the operating conditions for the separation of fur from rabbit skins. [Analiz usloviy funktsionirovaniya ustanovki dlya otdeleniya mekha ot shkurok krolikov]. / E.A. Shamin, B.G. Ziganshin, G.V. Novikova, T.V. Sharonova // *Vestnik NGIEI. – The Herald of NSIEI*. – Knyaginino: GBOU VO NGIEU, 2017, №8 (75). – P. 41–47.
8. Shamin E.A. Development of an ultrahigh-frequency installation with cylindrical resonators for drying fur raw materials in a continuous mode. [Razrabotka sverkhvysokochastotnoy ustanovki s tsilindricheskimi rezonatorami dlya sushki pushno-mekhovogo syrya v nepreryvnom rezhime]. / E.A. Shamin, B.G. Ziganshin, G.V. Novikova // *Vestnik NGIEI. – The Herald of NSIEI*. – Knyaginino: GBOU VO NGIEU, 2017, № 9 (76). – P. 57–64.
9. Shamin E.A. Development of an aerodynamic dryer for fur raw materials with an ultrahigh-frequency power supply. [Razrabotka aerodinamicheskoy sushilki pushno-mekhovogo syrya s sverkhvysokochastotnym energopodvodom]. / E.A. Shamin, B.G. Ziganshin, M.V. Belova // *Vestnik NGIEI. – The Herald of NSIEI*. – Knyaginino: GBOU VO NGIEU, 2017, №10 (77). – P. 64–71.
10. Shamin E.A. Technology of rabbit's fur processing. [Tekhnologii pererabotki mekhovogo syrya krolikov] / Ye.A. Shamin, G.V. Novikova, B.G. Ziganshin, Ye.L. Belov // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. – Kazan: FGBOU VO "Kazanskiy GAU", 2017, №3(45) – P. 61–67.
11. Shamin E.A. Development of microwave dryers for fur and fur raw materials. [Razrabotka mikrovolnovykh sushilok dlya pushno-mekhovogo syrya]. / E.A. Shamin, B.G. Ziganshin, G.V. Novikova // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. – Kazan: FGBOU VO "Kazanskiy GAU". 2017, № 3(45). – P. 86–90.

Authors:

Shamin Evgeniy Anatolevich – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor, E-mail: ngiei-126@mail.ru.
 Novikova Galina Vladimirovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, E-mail: novikovagalina@yandex.ru;
 Mikhaylova Olga Valentinovna – Doctor of Technical Sciences, Professor;
 Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod, Russia.
 Zaytsev Petr Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor;
 Ovchukova Svetlana Aleksandrovna – Doctor of Technical Sciences, Professor;
 Kirillov Nikolay Kirillovich – Doctor of Veterinary Sciences, Professor;
 Belov Evgeniy Leonidovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, E-mail: Belovevg2008@yandex.ru;
 Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Chuvash Republic, Russia.