

Микроволновые технологии и установки для отделения пуха от шкур кроликов

*Е.А. Шамин, к.э.н., О.В. Михайлова, д.т.н.,
М.В. Белова, д.т.н., Г.В. Новикова, д.т.н., профессор,
ГБОУ ВО Нижегородский ГИЭУ*

Кролиководство – перспективная отрасль животноводства, спрос на кроличье мясо по Российской Федерации велик и составляет более 300 тыс. т в год. В мире ежегодно собирают более 5 тыс. т пуха от кроликов, из них около 4,5 тыс. т производится в Китае. В соответствии с имеющейся программой «Развитие и увеличение производства продукции кролиководства в РФ на 2014–2020 годы» увеличение производства продукции кролиководства и дальнейшее эффективное использование действующих мощностей являются актуальными. Лидеры кролиководства разработали целый комплекс эффективных технологий, ориентированных на достижение максимальных экономических показателей. Тем не менее эксплуатационные затраты на обработку шкур кроликов достаточно высокие. Поэтому научно-технической задачей исследования является разработка технологии и технических средств обработки мехового сырья с использованием источников электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ), позволяющих снизить эксплуатационные затраты [1–4]

Целью настоящей работы является сохранение качества пуха путём совершенствования микроволновой технологии и установок для обработки мехового сырья в непрерывном режиме при сниженных эксплуатационных затратах.

Основные научные задачи:

1. Разработать способ обработки шкур кроликов воздействием ЭМП СВЧ и конструкционные схемы установок, обеспечивающих отделение пуха от кожи шкур.

2. Обосновать параметры электродинамической системы путём вычисления распределения электромагнитного поля в разработанных резонаторах, обеспечивающие максимальную собственную добротность и напряжённость электрического поля.

3. Разработать, создать и испытать в производственных условиях СВЧ-установки, обеспечивающие отделение пуха от кожи шкур кроликов в непрерывном режиме; оценить технико-экономическую эффективность внедрения установки для обработки мехового сырья; разработать научно обоснованные практические рекомендации по эксплуатации СВЧ-установок для обработки шкур кроликов.

Материал и методы исследования. Научное исследование проводилось с использованием математических аппаратов электродинамики, теории электромагнитного поля сверхвысокой частоты. В программе «Компас-3DV17» проведено трёхмерное моделирование конструктивного исполнения

СВЧ-установок. По программе CST Studio Suite 2015 вычислено и визуализировано распределение электромагнитного поля в разработанных резонаторах. Многокритериальную оценку технологического процесса воздействия ЭМП СВЧ на сырьё проводили через регрессионные модели, в программах Statistic 12.0, Microsoft Excel 10.0. Качественные показатели пуха оценивали через физико-химические и микробиологические показатели в специализированных лабораториях.

Результаты исследования. В связи с тем что в большинстве кролиководческих хозяйств очень низкий сбыт высушенных шкур кроликов мясной породы (менее 100 руб/шт), шкуры с густым мехом утилизируют или направляют в цеха по производству белкового корма. Убой кроликов проводят до периода их линьки. С 3–5 кроликов можно собрать до 1 кг пуха, начальная цена реализации которого от 250 руб. Поэтому сбор пуха для использования в качестве сырья в текстильной, трикотажной и фетровой промышленности является перспективным [5–7].

Разработка микроволновой технологии и установки для обработки мехового сырья предусматривает следующую последовательность:

- изучение технических условий для получения пуха кроликов и электрофизических свойств компонентов сырья;
- обоснование конфигурации и параметров объёмных резонаторов;
- выбор сопутствующих механизмов, обеспечивающих перемещение сырья в рабочей камере;
- обоснование напряжённости электрического поля и собственной добротности резонатора;
- расчёт мощности СВЧ-генераторов в зависимости от производительности установки;
- обоснование режимов воздействия ЭМП СВЧ на меховое сырьё;
- выбор средств контроля и управления технологическим процессом;
- составление операционно-технологической схемы с комплексом мероприятий, исключающих дефекты в процессе непрерывного режима работы установки для отделения меха от шкурки кролика [8, 9].

Известно, что блок-схема СВЧ-установок содержит семь основных элементов: источник питания, обеспечивающий преобразование сетевого напряжения в высоковольтное для работы магнетрона (высоковольтный выпрямитель или повышающий трансформатор с регулятором напряжения и устройство для питания накала и др.); СВЧ-генератор, преобразующий мощность сетевой частоты в мощность СВЧ-диапазона; линии передачи и устройства ввода СВЧ-энергии в резонаторную камеру;

электродинамическая система резонаторной камеры, обеспечивающая заданное распределение СВЧ-энергии в её объёме; вспомогательные элементы, способствующие достижению равномерного нагрева сырья; устройства, обеспечивающие радиогерметичность установки; пульт управления [10–13]. Наши разработки направлены на совершенствование резонаторной камеры для достижения равномерного распределения электрического поля в ней и избирательного нагрева компонентов сырья при обеспечении радиогерметичности СВЧ-установок непрерывного режима работы за счёт использования запредельных волноводов, выполняющих функции приёмного и выгрузного патрубков [11, 14].

В работе рассматриваются три микроволновые технологии обработки шкур кроликов: сбор пуха в процессе вращения правилки со шкурой в цилиндрических резонаторных камерах; сбор пуха в процессе мездрения шкуры кроликов в ЭМПСВЧ.

1. Сбор пуха при вращении правилки со шкурами в цилиндрических резонаторных камерах. Нами разработана многорезонаторная СВЧ-установка для отделения пуха от шкуры кроликов. Принцип действия установки основан на обеспечении

ослабления силы удерживаемости пуха в коже в процессе избирательного воздействия ЭМПСВЧ, вычёсывание пуха с сохранением товарного вида, сбора и пневмотранспортирования.

Для реализации такой технологии проанализированы диэлектрические и физико-механические параметры компонентов мехового сырья. Они показывают, что диэлектрическая проницаемость кожи и меха в десять раз отличается, следовательно, ослабление силы удерживаемости волокон в коже при диэлектрическом нагреве частотой 2450 МГц возможно.

Физико-механические характеристики кожи: влажность – 46–47%, жирность – 28,5–29%, плотность – 300 кг/м³ [15]. Установка (рис.) содержит цилиндрический экранирующий корпус 1, расположенный вертикально. Внутри корпуса имеется воздухоотвод 8. По периметру корпуса вертикально расположены цилиндрические резонаторы 2, верхними основаниями которых служит крышка 13 корпуса.

В каждом цилиндрическом резонаторе 2 соосно расположены съёмные диэлектрические цилиндры 3 без оснований и вращающиеся диэлектрические

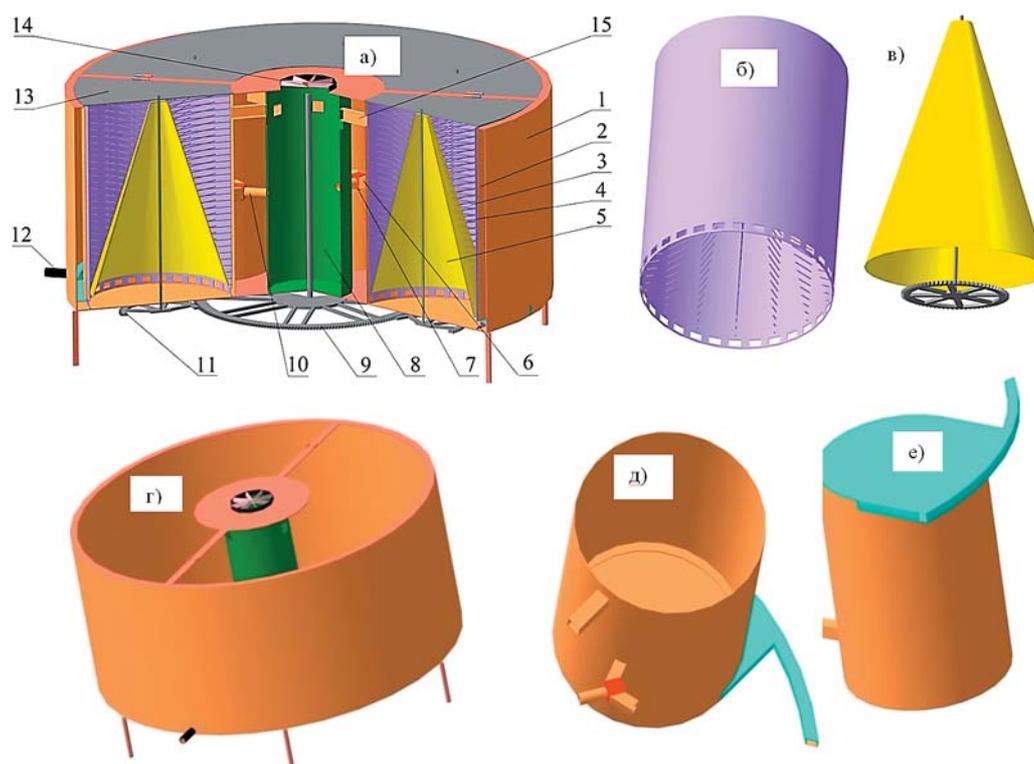


Рис. – Многорезонаторная СВЧ-установка для отделения пуха от шкур кроликов:

а) общий вид установки в разрезе; б) съёмный диэлектрический цилиндр с колками на образующей; в) диэлектрическая конусообразная правилка, установленная на вал с ведомой звёздочкой; г) экранирующий корпус без крышек с воздухоотводом; д, е) цилиндрический резонатор с вентиляционным рукавом от магнетрона и канала для пневмотранспортирования пуха; 1 – цилиндрический экранирующий корпус; 2 – цилиндрический резонатор; 3 – съёмный диэлектрический цилиндр; 4 – колки диэлектрические; 5 – диэлектрические конусообразные правилки на соответствующих диэлектрических валах; 6 – магнетроны; 7 – волноводы; 8 – воздухоотвод; 9 – ведущая звёздочка на валу электродвигателя; 10 – вентиляционные рукава от магнетронов; 11 – ведомые звёздочки на валу конусообразных правилок; 12 – пневмопровод; 13 – крышки с шарнирными петлями; 14 – вытяжной вентилятор; 15 – вентиляционные трубы между резонаторами и воздухоотводом

конусообразные правилки 5. Конусообразные правилки 5 установлены на валы, где содержатся ведомые звёздочки 11. С нижней стороны образующей каждого цилиндрического резонатора 2 установлен отрезок пневмопровода с конфигурацией, позволяющей стыковать их, образуя общий пневмопровод 12. К внутренней поверхности образующей съёмных диэлектрических цилиндров прикреплены диэлектрические колки 4, так что их длина уменьшается по высоте цилиндра, создавая пространство для вертикального размещения правилки 5 со шкурой, мехом наружу. По нижнему периметру образующих диэлектрических цилиндров имеется перфорация. Ведомые звёздочки 11 входят в зацепление с ведущей звёздочкой 9, расположенной под основанием экранирующего корпуса 1 на валу. Вал установлен по центру воздуховода. Воздуховод соединён с вытяжным вентилятором и к нему пристыкованы вентиляционные рукава 10 от каждого магнетрона 6. От каждого магнетрона 6 излучение направляется в два волновода 7, установленных в двух соседних резонаторах 2, со стороны воздуховода 8. Это позволит уменьшить габаритные размеры установки, хотя использование индивидуальных магнетронов увеличит мощность потока излучений в резонаторе, следовательно, ускорит процесс ослабления силы удерживаемости волокон пуха. Но при периодическом режиме работы установки с индивидуальными магнетронами, повышающими балансовую стоимость, экономическая эффективность снижается. При этом продолжительность паузы намного больше, чем продолжительность обработки сырья. Вентиляционные рукава 7 от магнетронов 6 и вентиляционные трубы 15 от резонаторов 2 соединены с воздухопроводом 6, содержащим вытяжной вентилятор 14 с электродвигателем. Элементы электронного блока генератора, пускозащитная аппаратура и система управления технологическим процессом расположены в шкафу управления.

Технологический процесс происходит следующим образом. Открыть крышки 13, вытащить съёмные диэлектрические цилиндры 3, содержащие диэлектрические колки 4. Натянуть на диэлектрические конусообразные правилки 5 шкуры кроликов мехом наружу. Обрато установить съёмные диэлектрические цилиндры 3 в цилиндрический резонатор 2. Плотнo закрыть обе крышки 13. Включить с помощью пускозащитной аппаратуры, электродвигатели вытяжного вентилятора 14, обеспечивающего охлаждение магнетронов 4, электродвигатель пневмотранспортера, предназначенного для перемещения пуха через перфорации диэлектрических цилиндров 3 и основания резонаторов 2 в пневмопровод 12, а далее в циклон, где собирается пух. После чего включить электродвигатель, на валу которого расположена ведущая звёздочка 9, входящая в зацепление с ведомыми звёздочками 11. При этом начинают вращаться все конусообразные

диэлектрические правилки 5 со шкурами кроликов. Далее включить все СВЧ-генераторы (магнетроны 6) на определённый промежуток времени. Тёплый воздух с магнетронов 6 при их работе и резонаторных камер удаляется через вентиляционные рукава 10, вентиляционные трубы 15 и общий воздухоотвод 8 с помощью вытяжного вентилятора 14. В цилиндрическом резонаторе 2 возникает ЭМП СВЧ, происходит избирательный нагрев кожи и пуха пропорционально их диэлектрическим параметрам. В процессе вращения диэлектрических конусообразных правилок 11 происходит вычёсывание с помощью диэлектрических колонок 4 волокон пуха, сила удерживаемости которых ослаблена за счёт избирательного диэлектрического нагрева кожи. Вытяжным вентилятором пух засасывается через перфорацию съёмных диэлектрических цилиндров 3, через каналы пневмопровода, имеющие в основании резонаторов 2, далее с помощью пневмопровода 12 транспортируется в циклон, расположенный за пределы установки. Напряжённость электрического поля в резонаторах – высокая, достаточная для снижения бактериальной обсеменённости пуха. Возможность повышения температуры нагрева поверхностного слоя кожи позволяет ослабить силу удерживаемости пуха в несколько раз. По истечении выдержки времени выключаются СВЧ-генераторы 6 и электродвигатель 9 привода правилок 5, после чего диэлектрические правилки 5 перестают вращаться. Далее можно открыть крышки 13 экранирующего корпуса 1, так как будет выключена блокировка. После этого следует достать съёмные диэлектрические цилиндры, снять с правилок шкуры без меха и положить в тару для отходов. Натянуть новую партию необработанных шкур кроликов мехом наружу на правилки 5. Установить съёмные диэлектрические цилиндры 3 с колками в соответствующие резонаторы 2. Закрыть крышки 13, запустить электродвигатель для привода правилок, включить СВЧ-генераторы 6. Чем больше частота вращения правилок, тем выше кинетическая энергия удара колки по шкуре и эффективнее процесс съёма пуха. Объём каждого цилиндрического резонатора должен быть достаточным для размещения правилки со шкурой, а размеры резонатора должны быть согласованы с длиной волны. Длина колонок должна обеспечить вычёсывание пуха. Итaк, установка работает в периодическом режиме и позволяет совмещать: избирательный эндогенный нагрев кожи шкурок и вычёсывание пуха; сбор и обеззараживание; пневмотранспортирование пуха в циклон.

Проанализирована экономическая эффективность применения такой СВЧ-установки в кролиководческом хозяйстве для сбора пуха со шкуры кроликов мясной породы. Прибыль от применения многорезонаторной СВЧ-установки для отделения пуха от шкуры кроликов производительностью 40 шт/ч составляет в пределах 180 тыс. руб./ месяц.

2. Сбор пуха при передвижении шкур кроликов, увлажнённых рассолом, через полуцилиндрический резонатор.

Предлагаемая нами технология сбора пуха реализуется установкой, обеспечивающей ослабление силы удерживаемости пуха за счёт избирательного диэлектрического нагрева и втирания рассола в мездровую сторону шкурки. Установка обеспечивает передвижение развёрнутой кожи кролика с помощью роликового транспортёра через полуцилиндрический резонатор, расположенный горизонтально, имеющий по торцам щели. На боковой поверхности резонатора расположены СВЧ-генераторы. Впереди резонатора имеется ванна с солевым раствором, где расположен вращающийся валик с губчатым покрытием. Это позволит смочить рассолом шкуру со стороны мездры. Далее шкура с помощью роликового транспортёра попадает под щипальный барабан с колками. Пух будет всасываться вытяжным вентилятором. Шкура удаляется с другого конца резонатора. Под роликовым транспортёром имеется ёмкость со сливной щелью. Отсюда вытекает расплавленный мездровый жир. Щипальный барабан и ролики диэлектрические. При нахождении шкуры в ЭМПСВЧ происходит ослабление силы удерживаемости волосяного покрова и к тому же от намоченной солевым раствором кожи пух легко обрывается у самого корня с помощью щипального барабана.

Выводы. Изучено влияние физико-механических и диэлектрических характеристик кожи и меха на динамику их нагрева в процессе воздействия ЭМПСВЧ для оценки ослабления силы удерживаемости пуха.

Разработаны СВЧ-установки с тороидальным, коаксиальным и цилиндрическим резонаторами для сушки мехового сырья, снятия пуха со шкур кроликов.

Использован комплекс существующих методов исследования, в том числе: теория электромагнитного поля; методика вычисления и визуализации распределения электромагнитного поля и добротности резонаторов в режиме переходного процесса; методы математической статистики и регрессионного анализа для выявления основных конструктивно-технологических параметров и

режимов работы СВЧ-установок для обработки мехового сырья.

Проведено совершенствование методики согласования конструктивно-технологических параметров СВЧ-установки с режимами работы, обеспечивающей получение новых результатов в достижении непрерывности технологического процесса обработки мехового сырья, равномерности распределения электрического поля в резонаторе; вариации производительности установки.

Литература

1. Балакиров Н.А., Тинаева Е.А. Кролиководство. М.: Колос, 2007. 232 с.
2. Глушаков, С.В., Жакин И.А., Хачиров Т.С. Математическое моделирование. MathCad 2000. Matlab 5.3. М.: Фолио, 2001. 528 с.
3. Диденко А.Н. СВЧ-энергетика: теория и практика. М.: Наука, 2003. 447 с.
4. Дрогайцева О.В. Повышение уровня равномерности нагрева диэлектрических материалов в СВЧ-устройствах волноводного и резонаторного типов: дисс. ... канд. техн. наук. Саратов: СГТУ, 2011. 207 с.
5. Бондаренко С.П. Выделка и изготовление изделий из шкурок кроликов. М.: ООО «Издательство АСТ», 2003. 168 с.
6. Коломейцев В.А., Комаров В.В. Микроволновые установки с равномерным объёмным нагревом. Ч. 2. Саратов: СГТУ, 2006. 233 с.
7. Патент №2591074 РФ, МПК. Установка для сушки шерсти в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / Г.В. Новикова; М.В. Белова, А.А. Белов, О.В. Михайлова, Н.А. Курткина, Т.Н. Лаврентьева; заявитель и патентообладатель АНОВО «АТУ» (RU). № 2015102545; заявл. 29.01.2015. Бюл. № 19 от 10.07.2016. 12 с.
8. Шамин Е.А. Анализ условий функционирования установки для отделения меха от шкурок кроликов / Е.А. Шамин, Б.Г. Зиганшин, Г.В. Новикова [и др.] // Вестник НГИЭИ. 2017. №8 (75). С. 41–49.
9. Шамин Е.А., Белова М.В. Анализ возможности ослабления удерживаемости пуха в коже тушки кроликов воздействием ЭМПСВЧ // Инновационные направления развития энергетики АПК: матер. междунар. науч.-практич. конф. Ижевск: Ижевская ГСХА, 2017. С. 89–92.
10. Григорьев А.Д. Электродинамика и микроволновая техника: учебник. СПб.: Лань, 2007. 704 с.
11. Жданкин Г.В., Зиганшин Б.Г., Белова М.В. Разработка многомодульной сверхвысокочастотной установки для термообработки сырья животного происхождения // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (42). С. 79–83.
12. Копусов В.Н. К вопросу создания многомагнетронного оборудования для современных технологий // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. Севастополь: Вебер, 2001. С. 652–653.
13. Линь В.В. Обработка кожи и меха. М.: Аделант, 2006. 384 с.
14. Жданкин Г.В., Новикова Г.В., Зиганшин Б.Г. Разработка рабочих камер сверхвысокочастотных установок для термообработки непищевых отходов мясного производства // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 1(50). С. 61–69.
15. Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. М.: Колос, 2001. 552 с.