

УДК 631.362.36

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВЧ-ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

А.А. БЕЛОВ¹, В.Ф. СТОРЧЕВОЙ², О.В. МИХАЙЛОВА¹

(¹ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (Волжский филиал); ² РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

В статье представлено описание технологии и технических средств, предназначенных для обеззараживания и микронизации фуражного зерна воздействием электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ). Выявлено, что для снижения эксплуатационных затрат на обеззараживания и микронизации зерна следует сочетать в одной установке процессы механического воздействия и электромагнитного излучения сверхвысокочастотного диапазона. Приведены конструктивные особенности рабочих камер, предусмотренных в трех СВЧ установках, разработанных на базе энтолейтора, дезинтегратора и шедушильной машины.

Ключевые слова: фуражное зерно, электромагнитное поле сверхвысокой частоты, термообработка, энтолейтор, дезинтегратор, шедушильная машина.

Руководствуясь теорией электромагнитных волн, решена научно-техническая задача — разработка установок, обеспечивающих эффективную термообработку и обеззараживание фуражного зерна в поточном режиме за счет многократного воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ).

Экспериментальные исследования проводились по общепринятым методикам, с применением сертифицированных электронно-цифровых регистрирующих аппаратур. Основные расчеты и обработка результатов экспериментальных исследований выполнялись с применением методов математической статистики и регрессионного анализа при использовании теории активного планирования многофакторного эксперимента. Структуру сырья и качество продукта оценивали через органолептические, физико-химические и микробиологические показатели по методикам, рекомендованным соответствующим ГОСТ. При обосновании электротехнологических процессов и технических решений использована единая система взаимодействия основных элементов установки: источник СВЧ излучения — объемный резонатор — фуражное зерно. Применены компьютерные программы Microsoft Excel 10.0, Statistic 5.0, трехмерное моделирование конструктивного исполнения СВЧ установок в программе Компас-3DV13. На основе системного динамического подхода к разработке теории, методов, алгоритмов, моделей, критериев выявлены резервы, повы-

шающие эффективность функционирования объемных резонаторов СВЧ генераторов, в технологических комплексах для термообработки фуражного зерна. Для подтверждения новизны технологических и технических решений поданы следующие заявки на изобретения: №2014147516/20; №2014150840/20; № 2014152010; № 2015102653.

Результаты и их обсуждение

Известно, что для обеззараживания и декструирования зерна рекомендуется использовать энергию электромагнитных излучений, но применение сверхвысокочастотных (СВЧ) установок ограничено из-за трудностей в осуществлении поточного технологического процесса. В связи с этим, в контексте устойчивого развития сельскохозяйственного производства, создания малогабаритного оборудования для термообработки фуражного зерна непосредственно в фермерских хозяйствах является наиболее эффективным резервом.

Целью настоящей работы является разработка и обоснование параметров установок для термообработки фуражного зерна воздействием электромагнитного поля сверхвысокой частоты, обеспечивающих улучшение качества продукта и снижение эксплуатационных затрат.

Объектом исследования являются технологические процессы термообработки и обеззараживания фуражного зерна и установки для их реализации.

Предметом исследования является выявление закономерностей процесса воздействия электромагнитных излучений на фуражное зерно.

В соответствии с поставленными задачами исследований на основе анализа конструкций и технологических процессов переработки фуражного зерна разработаны установки с объемными резонаторами, обеспечивающими термообработку при эффективной напряженности электрического поля СВЧ диапазона в поточном режиме. Обоснованы возможные варианты сочетания разных источников энергоподвода в одной установке для термообработки зерна, позволяющие снизить энергопотребление и повысить качество продукции переработки. Известны установки для микронизации зерна воздействием электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) [4, 5, 6]. Диэлектрический нагрев зерна преследует несколько целей: повышение переваримости углеводного комплекса в результате гидролиза крахмала и превращения части его в более простые соединения — декстрины и сахара. Этот процесс особенно важен при переработке зерна, предназначенного для молодняка животных. Достоинства получаемых продуктов, их высокая питательность и стерильность приводят к необходимости дальнейшего совершенствования таких установок.

Для снижения энергетических затрат на процесс микронизации зерна с использованием энергии электромагнитных излучений, установки разработаны на базе машин ударно действия — энтолейтора, дезинтегратора, шелушителя, позволяющие совмещать несколько процессов. Установки кроме базовых узлов содержат источники электромагнитных излучений СВЧ диапазона и соответствующие рабочие камеры, включающие объемные резонаторы с запердельными волноводами и механизмами, обеспечивающими поточность технологического процесса. Описания конструктивных особенностей и принципы действия трех установок приведены ниже.

Первая установка разработана на базе энтолейтора, предназначенного для уничтожения механическим ударным способом, без применения тепла и дезинфицирующих средств, против вредителей зерна и их личинок, разрушения поврежденных

вредителями зерен. Она между двух плоских дисков содержит цилиндрические резонаторные камеры в виде белчих клеток СВЧ генератора [1].

Вторая установка разработана на базе дезинтегратора, предназначенного для измельчения зерна. Рабочими органами являются два ротора, вращающиеся навстречу друг другу с несколькими концентрически расположенными рядами ударных элементов различной формы; либо бичевой ротор, состоящий из двух плоских горизонтальных дисков, соединенных между собой цилиндрическими втулками. Вследствие многократных ударов о втулки и корпус зерновые продукты измельчаются, но не достаточно эффективно обеззараживаются.

Разработанная установка для измельчения и обеззараживания фуражного зерна в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (рис. 1) имеет вертикально расположенный цилиндрический экранирующий корпус 1 с приемным бункером 13 и выпускным патрубком 15. Внутри корпуса 1, параллельно основаниям, расположены ротор-диски разных диаметров 8, 9, вращающихся в противоположных направлениях. Между ротор-дисками имеются цилиндрические части объемных резонаторов 5, установленных на соответствующие ротор-диски по периферийной концентрической окружности. Для вращения ротор-дисков мотор-редукторы установлены по центру с наружной стороны оснований экранирующего корпуса 1. На валу ротор большого диаметра 9 имеется шнек 10 с окном на его корпусе 11 для подачи зерна с приемного бункера 13 в рабочую камеру через кольцевые отверстия 14 [7].

Основание экранирующего корпуса 1 и ротор-диск 9 имеют кольцевые отверстия 14. На противоположном основании экранирующего корпуса 1 по вышеуказанным концентрическим окружностям размещены СВЧ генераторные блоки 2 так, что их излучатели направлены внутрь жестко закрепленных к основанию корпуса сферических сегментов 4 объемных резонаторов. Цилиндрические части 5 объемных резонаторов образованы из ферромагнитных штифтов 6. Они 6 установлены зазором менее четверти длины волны СВЧ диапазона и больше толщины зерен. Количество сферических сегментов 4 на много меньше, чем количество цилиндрических частей 5 объемных резонаторов, а их диаметры равны и согласованы с длиной волны. Ротор-диск большого диаметра 9 выполнен из ферромагнитного материала, а диск малого диаметра 8 — из фторопласта. Выгрузной патрубок 15 расположен на боковой поверхности цилиндрического экранирующего корпуса 1. Дверь 3 выполнена диаметром не менее диаметра малого ротор-диска 8 и находится на основании экранирующего корпуса 1. От количества СВЧ генераторных блоков 2 зависит производительность установки и качество стерилиза-

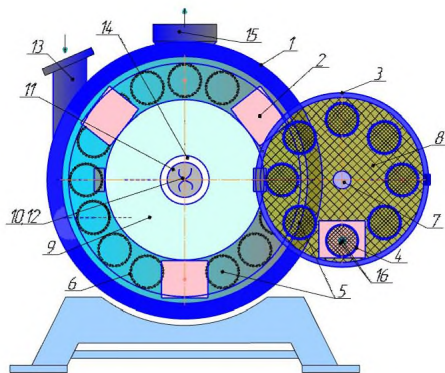


Рис. 1. Установка для измельчения и обеззараживания зерна в электромагнитном поле сверхвысокой частоты: 1 — экранирующий корпус на станине; 2 — СВЧ генераторный блок с излучателем в диэлектрической втулке; 3 — дверь; 4 — сферическая часть резонаторной камеры; 5 — цилиндрическая часть резонаторной камеры; 6 — штифты; 7 — первый мотор-редуктор; 8 — ротор-диск малого диаметра; 9 — ротор-диск большого диаметра; 10 — шнек-дозатор; 11 — корпус шнека — запредельный волновод; 12 — второй мотор-редуктор; 13 — приемный бункер; 14 — кольцевое отверстие; 15 — патрубок для выгрузки

ции зерна. Количество цилиндрических частей 5 объемных резонаторов отличается от количества сферических сегментов 4.

Третья установка для обеззараживания зернав электромагнитном поле сверхвысокой частоты разработана на базе шелушильно-шлифовальной машины ЗШН. Это машины, воздействующие на зерно продолжительным трением между рабочими органами, машины с абразивным барабаном и вращающейся сетчатой обечайкой и т.д. [3, 8]. Рабочие органы — это вращающийся полый вертикальный вал с несколькими абразивными дисками. Вал с дисками окружен ситовой обечайкой, которая заключена в цилиндрический корпус. Недостатки: высокий расход электроэнергии; интенсивное разрушение примесей, удаление слоев плодовой оболочки сопровождаются разрушением большого количества зерен и нередко повреждением эндосперма. Это приводит к значительным потерям зерна, что вызвало необходимость поиска иных способов обработки зерна. В связи с этим разработана установка для обеззараживания и шелушения зерна за счет воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты и интенсивного трения между вращающимися тороидальными резонаторами и неподвижным перфорированным цилиндром из диэлектрического материала.

Технологический процесс обеззараживания и шелушения зерна в электромагнитном поле сверхвысокой частоты происходит следующим образом. Исходное зерно (рис. 2) через приемный патрубок 11 попадает в рабочую зону (в тороидальный резонатор 8, 9, в кольцевой зазор 12, т.е. в пространство между тороидальными резонаторами и перфорированным диэлектрическим цилиндром 6). Зерно попадает внутрь тороидальных резонаторов через зазоры между ободками 15, так как зазор на периферии тора больше, чем толщина зерен, но меньше, чем четверть длины волны (3,08 см) [7].

При каждом совмещении излучателя 14 с местом расположения диэлектрического ободка 16 происходит возбуждение СВЧ колебаний в тороидальном резонаторе в импульсном режиме, что позволяет выровнять давление, температуру, влажность зерна по объему. Ограничение потока излучений из тороидальных резонаторов через зазоры между ободками происходит за счет того, что максимальный зазор не превышает четверть длины волны. Поглощение энергии электромагнитных излучений зерном происходит внутри тороидальных резонаторов, так как зерно попадает в электромагнитное поле сверхвысокой частоты 18 (ЭМП СВЧ), а также частично в кольцевом пространстве, все это позволяет снизить бактериальную загрязненность зерна. Между вращающейся абразивной поверхностью тороидальных резонаторов 8 и перфорированным диэлектрическим цилиндром 6 (в кольцевом зазоре) происходит шелушение зерна.

Исходное зерно подвергается интенсивному трению в кольцевом зазоре между тороидальными резонаторами 8, 9 и перфорированным цилиндром 6, вследствие чего от зерна отделяются пленки и оболочки (лузги), т.е. зерно шелушится. Рабочая зона продувается воздушным потоком. Вентилятор 3 с вертикальными лопатками засасывает воздух через отверстия в пустотелом валу и подает его в пустотельные диски 9. Пронизывая продукт, проходящий через кольцевой зазор, воздух захватывает отдельные частицы оболочек, мелкую лузгу и уносит их в циклон, т.е. отходы, образованные в процессе шелушения сдуваются с внутренней поверхности перфорированного цилиндра 6 и удаляются. Струя воздуха, проходящего через продукт, уменьшает скорость падения зерна, увеличивая тем самым эффективность шелушения. Если кольцевой зазор не заполнен продуктом, вентилятор 3 засасывает наружный воздух,

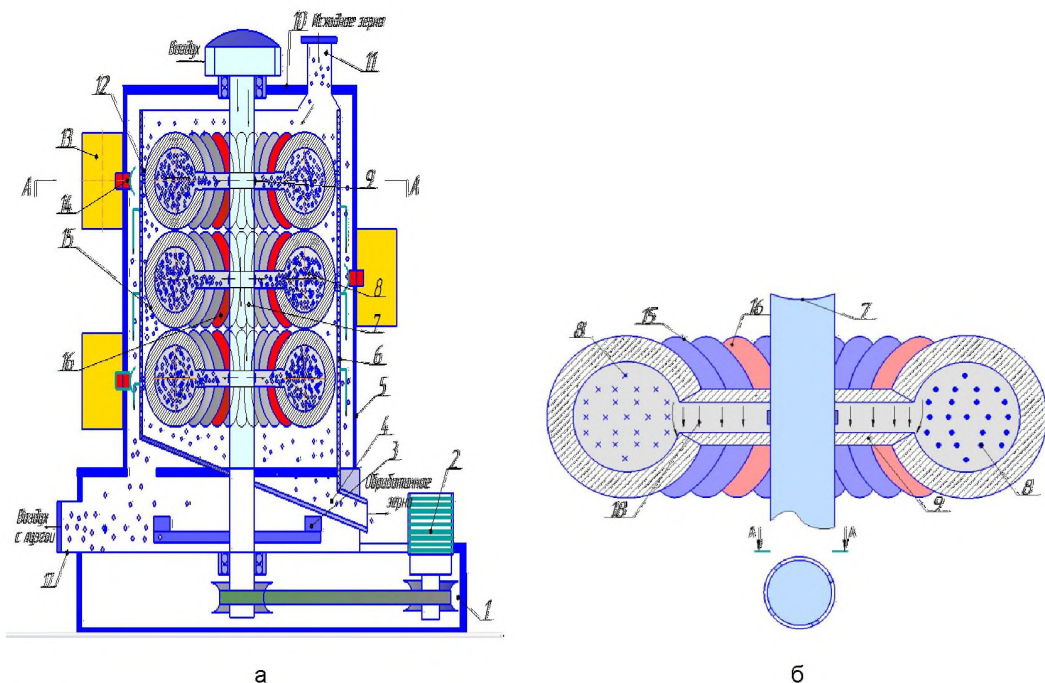


Рис.2. Установка для обеззараживания и шелушения зерна в электромагнитном поле сверхвысокой частоты: а — общий вид, б — тороидальный резонатор, 1 — монтажный каркас, 2 — электродвигатель, 3 — вентилятор, 4 — выгрузный патрубок для удаления продукта из установки, 5 — экранирующий корпус, 6 — диэлектрический перфорированный цилиндр, 7 — пустотелый вертикальный вал, 8 — тороидальные резонаторы круглого сечения (тор), 9 — пустотелые кольцевые диски из неферромагнитного материала, 10 — крышка экранирующего корпуса, 11 — приемный патрубок-запредельный волновод, 12 — кольцевой зазор, 13 — СВЧ генераторный блок с излучателем 14 и сферическим сегментом, 15 — ободки из неферромагнитного материала, покрытые абразивным материалом, 16 — диэлектрические ободки, 17 — патрубок для выгрузки лузги (запредельный волновод)

в результате чего уменьшается воздействие воздуха на зерно. Это снижает эффективность шелушения и обеззараживания зерна. Изменяя зазор с помощью шибера в выгрузном патрубке 4 для удаления продукта, можно установить оптимальное время пребывания зерна в рабочем пространстве. В зависимости от прочности связей пленок и оболочек с ядром требуются различные продолжительность и интенсивность воздействия рабочих органов машины. При облуживании следует обратить внимание на свободный выход зерна из установки и непрерывное удаление отходов; отсутствие битых и полноценных зерен в отходах.

Тороидальный резонатор 8, 9 имеет сложный профиль поперечного сечения [2]. Тор круглого сечения собран из ободков, наружная поверхность которых покрыта абразивным материалом. Причем, несколько ободков 17, сдвинутых пространственно по окружности резонатора, выполнены из диэлектрического материала. В центральной части расстояние между стенками (пустотелого диска 9) тороидального резонатора меньше, чем диаметр сечения тора. Электронный поток, проходя через отверстия расположенные в стенках резонатора 9 (в пустотелом диске), возбуждает

в нем электромагнитные колебания. Малое расстояние между стенками полого диска позволяет сократить время пролета электронов в резонаторе, а это очень важно при генерировании и усилении колебаний СВЧ. Форма профиля резонатора определяет структуру возбуждаемых электромагнитных полей. Электрическое поле в основном концентрируется в центральной части резонатора, где расстояние между стенками диска невелико, т.е. эта часть резонатора имеет преимущественно емкостной характер, а периферийная часть, где в основном расположено магнитное поле, эквивалентна индуктивности. Если стенки резонатора сделать гибкими, то при их сближении емкость резонатора увеличится, и собственная частота уменьшится и наоборот. От количества СВЧ генераторных блоков 2 зависит производительность установки и качество стерилизации зерна. В зерне, поступающем в установку, не должно быть камней и металлических примесей, иначе возможно образование искры при ударе их об абразивную поверхность, и нахождение в объемном резонаторе.

Заключение

Предложен нетрадиционный подход термообработки и обеззараживания зерна в поточном режиме, за счет многократного электромеханического воздействия. Сверхвысокочастотная установка имеет новое конструктивное исполнение рабочего органа в виде передвижных резонаторов СВЧ генераторов, которые расположены в экранирующем корпусе, содержащем патрубки для загрузки и выгрузки продукта, выполняющие функции заградительных волноводов.

Оптимального технологического эффекта можно достичь только при заполнении зерном рабочей зоны. На технологический эффект влияние оказывают: окружная скорость тороидальных резонаторов (12–25 м/с), размер кольцевого зазора (14–18 мм), крупность зерна абразива на штифтах и продолжительность обработки, расстояние между тороидальными резонаторами. Вес порции зерна в рабочей камере в пределах 10–20 кг; продолжительность пребывания зерна в рабочем пространстве (1–8 мин); диаметр тороидального резонатора 250 мм; диаметр ситового цилиндра 270 мм.

Библиографический список

1. Белов А.А., Сторчевой В.Ф., Белова М.В., Коробков А.Н. СВЧ-установка для обеззараживания зерна и продуктов его переработки // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Вып. 6. М.: РГАУ-МСХА, 2014. С. 101–106.
2. Белоцерковский Г.Б. Основы радиотехники и антенны. М.: Советское радио, 1979. Ч. 1. Основы радиотехники. С. 338–339.
3. Бутковский В.А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства. М.: Агропромиздат, 1989. С. 278–280.
4. Новикова Г.В., Белов А.А. Установка для микронизации зерна // Вестник ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева». 2012. № 4. С. 37–40.
5. Новикова Г.В., Белов А.А., Белова М.В. Микронизатор фуражного сырья // Монография. Чебоксары: ФГБОУ ВПО ЧГСХА, 2014. 90 с.
6. Патент № 2489068РФ, МПК А23N 17/00. СВЧ-индукционная установка барабанного типа для микронизации зерна / М.В. Белова, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова, А.А. Белов; заявитель и патентообладатель ЧГСХА (RU). № 2012100432; заявл. 10.01.2012 г., опубл. 20.08.2013. Бюл. № 22. 5 с.

7. Селиванов И.М., Новикова Г.В., Белов А.А., Белова М.В. Установка для обеззараживания и шелушения зерна // Естественные и технические науки. 2015. № 2. С. 131–132.

8. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. М.: Колос, 1967. С. 396–397.

HEAT CORNMEAL IN THE ELECTROMAGNETIC FIELD OF ULTRAHIGH FREQUENCY

A.A. BELOV¹, V.F. STORCHEVOY², O.V. MIKHAILOVA¹

(¹ Moscow State Automobile and Road Technical University (Volga affiliate);

² Russian Timiryazev State Agrarian University)

The article describes the technology and technical means used for decontamination and micronization of feed grain based on the effect of electromagnetic field of ultrahigh frequency (RF EMF). It was revealed that in order to reduce operating costs on decontamination and micronization of grain the mechanical impact and electron-magnetic radiation of microwave range should be combined in a single installation process. The article provides information on constructive features of the working chambers designed in the three microwave units, developed on the basis of entoleter, disintegrator and peeling machines.

Key words: cornmeal, the electromagnetic field of ultrahigh frequency, heat treatment, entoleter, disintegrator, peeler.

Белов Александр Анатольевич — к. т. н., доц. кафедры сервиса транспортных и технологических машин Волжского филиала Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), соиск. уч. степ. док. техн. наук кафедры технологий и машин в растениеводстве РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр. Тракторостроителей, 101, корп. 30; тел. (927) 127-63-15; e-mail: sofronich.bel@mail.ru).

Сторчевой Владимир Федорович — д. т. н., проф., проректор по учебной работе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-21-50; e-mail: storchevoy@timacad.ru).

Михайлова Ольга Валентиновна — д. т. н., проф. Волжского филиала Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) (428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр. Тракторостроителей, 101, корп. 30; тел.: (919) 672-53-70; e-mail: ds17823@yandex.ru).

Belov Aleksandr Anatolievich — PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Machines, Volga affiliate of Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI), candidate for a degree of Doctor of Technical Sciences of the Department of Technology and Machinery in Crop Production of Russian Timiryazev State Agrarian University (428000, the Chuvash Republic, Cheboksary, Traktorostroiteley alley, 101, building. 30; e-mail: sofronich.bel@mail.ru).

Storchevov Vladimir Fedorovich — Doctor of Technical Sciences, Profess, vice-rector for education, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; tel.: +7 (499) 976-2150, e-mail: storchevoy@timacad.ru).

Mikhailova Olga Valentinovna — Doctor of Technical Sciences, Professor, Volga affiliate of Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI), (428000, the Chuvash Republic, Cheboksary, Traktorostroiteley alley, 101, building. 30; tel.: +7 (919) 672-53-70; e-mail: ds17823@yandex.ru).