

# Общество с ограниченной ответственностью «ЭкоПромРесурс»

## Установка для СВЧ обработки зерновых культур

*Предложен подход к созданию оптимальной конструкции волновода рабочей камеры СВЧ установки, работающего в режиме бегущей волны. Проведены исследования и разработка автоматизации установки. Выполнено экспериментальное испытание установки СВЧ мощностью 25 квт. Определены параметры высокоинтенсивной термообработки зерна и зерновых продуктов, которые показали перспективность применения разработанной СВЧ установки в сельском хозяйстве и пищевой промышленности.*

*Ключевые слова: СВЧ установка, рабочая камера, бегущая волна, СВЧ мощность, перспективность применения*

В последнее десятилетие в России проводятся интенсивные работы по исследованию СВЧ воздействия на зерновые культуры [1 - 3]. Цели этих научных исследований: повышение питательности Кормов и снижение энергетических затрат в процессе кормоприготовления, обеззараживание зерна и продуктов его переработки, улучшение хлебопекарного качества зерна, повышение урожайности посевных культур и обеспечение сохранности урожая. Из проведенных работ следует, что создание эффективной СВЧ промышленной установки по тепловому воздействию на зерновые культуры является актуальной задачей для сельского хозяйства и пищевой промышленности.

В ООО «ЭкоПромРесурс» разработана промышленная установка для СВЧ обработке зерновых продуктов, которая может работать в следующих режимах: предпосевная обработка семян, обеззараживание зерна, предпомольная обработка зерна, кормоприготовление смесей из фуражного зерна. Режимы работы установки зависят от температуры и скорости нагрева зерна. Так, в режиме кормоприготовления для эффективной деструкции крахмала в пшенице требуется нагреть зерно до 150 °с при скорости нагрева не более 5 градусов в секунду, а для обеззараживания зерна температура нагрева не должна превышать 80 °с. СВЧ установка собрана на магнетроне марки м-175 с регулируемой выходной СВЧ мощностью от 10 до 25 квт на частоте 915 МГц. Предварительные энергетические оценки производительности установки показывают, что в режиме кормоприготовления (деструкции крахмала в Пшенице) производительность может достигать до 320 кг/ч, в режиме обеззараживания - до 650 кг/ч, а в режиме предпосевной обработки - более 1500 кг/ч. Подобная установка может использоваться в крупных фермерских хозяйствах для приготовления эффективных кормов в птицеводстве и животноводстве.

Рабочая камера установки волноводно-проходного типа выполнена на основе волновода увеличенного прямоугольного сечения  $516 \times 312$  мм с волной ну с частичным заполнением диэлектриком. В центре волновода размещается толстостенная фторопластовая труба с внутренним диаметром 175 мм, заполненная диэлектриком с потерями, например, пшеницей, имеющей диэлектрические характеристики  $\epsilon' = 2,93$  и  $\epsilon'' = 0,13$  при влажности 9,9 % на частоте 915 МГц. Волноводная камера имеет длину около 2 м и расположена вертикально. Зерно в трубе движется сверху вниз навстречу СВЧ энергии. Проведенный расчет камеры показал возможность перехода на свч мощность до 50 кВт для увеличения производительности установки.

Используя аналитический метод теории возмущений и численное моделирование в пакете прикладных программ СВТ 81 и Ю8ШЕ 2013, выполнен расчет волноводной рабочей камеры установки для тепловой обработки зерна. Согласно расчетам, Коэффициент затухания частично заполненного зерном волновода в зависимости от характеристик зерна лежит в диапазоне от 5 до 10 дБ/м. Изменяя длину волновода и степень заполнения его сечения зерном, возможно достичь практически полного Поглощения свч мощности в диэлектрике на заданной длине. При этом основные потери свч энергии приходятся на начальный участок волновода, у которого расположен узел ввода свч мощности.

Узел ввода мощности расположен в нижней части рабочей камеры, выполнен в виде поворотного рупорного перехода от прямоугольного волновода сечением  $220 \times 104$  мм. Согласование рабочей камеры с свч трактом достигается подбором угла наклона и

Длины прямоугольного рупорного перехода относительно оси рабочей камеры. Для эффективной передачи СВЧ энергии в рабочую камеру и устойчивой работы магнетрона необходимо обеспечить долговременный  $K_{с\text{ял}1}$  не выше 1,5, что позволит отказаться от использования ферритового циркулятора при работе установки. Источник питания магнетрона трансформаторного типа с регулировкой мощности током соленоидов на магнетроне. Для защиты магнетронного генератора при работе на пустую или частично заполненную зерном фторопластовую трубу на конце волноводной рабочей камеры размещаются симметричные парные водяные нагрузки. Эти нагрузки практически не поглощают СВЧ мощность при нагреве зерна. Для охлаждения магнетрона и волноводной нагрузки используется замкнутая система принудительного водяного охлаждения на основе чиллера, который рассеивает в атмосфере тепловую мощность до 35 кВт.

Разработана конструкция волноводной рабочей камеры, которая легко разбирается на 3 основные секции: волноводный переход, волновод и согласованная нагрузка. Материалом для рабочей камеры и основных узлов установки является нержавеющей сталь. Выполнено исследование электродинамических характеристик изготовленной волноводной рабочей камеры. С использованием векторного анализатора цепей фирмы АПМЗИ М82025В проведены исследования значения  $K_{с\text{ял}1}$  при полном заполнении рабочей камеры пшеницей с влажностью не более 10%, которые показали, что в полосе 890-940 мГц значение  $K_{с\text{ял}1}$  не превысило 1,2. Проведенные дополнительные исследования показали отсутствие значительного влияния водяной нагрузки на значение  $K_{с\text{ял}1}$  при Заполненной зерном волноводной

Фторопластовой трубы. Скорость вращения шнеков управляется частотно-регулируемыми электродвигателями, которые позволяют устанавливать производительность от 200 до 2000 кг/ч. Максимальная скорость нагрева зерна на начальном участке волноводной рабочей камеры, длина которого не более 45 см. Водяной пар, образующийся при нагреве зерна на этом участке в режиме кормоприготовления, поднимается по фторопластовой трубе через зерно вверх и дополнительно прогревает его. Безопасность по СВЧ излучению из узлов ввода и вывода зерна обеспечивается запредельным характером устройства шнеков и специальными крестообразными вставками на выходе из трубопровода. С использованием промышленных микропроцессоров серии ел8уогс разработана система автоматического управления работой установки. Эта система контролирует источник питания магнетрона, работу магнетрона на высоком уровне мощности, частоту вращения шнеков, температуру зерна на выходе и безопасность работы установки.

Проведен запуск и исследована работа установки на высоком уровне мощности. Исследования выполнялись на пшенице. Автоматическая система позволяла регулировать температуру зерна от 40 до 200 °с. В процессе пусконаладочных работ сняты зависимости температуры зерна на выходе установки от производительности при уровнях СВЧ мощности 10, 15, 20 и 25 квт. При малой скорости подачи зерна максимальной СВЧ мощности достигнута максимальная температура нагрева зерна 210 °с. На установке получен эф-

Эффект частичного диспергирования зерен пшеницы. В процессе работы отмечена необходимость более тщательной разработки режимов обработки зерна, что является задачей технологов на пищевых и комбикормовых предприятиях. При исследовании работы установки с использованием прибора п3-33м контролировался уровень СВЧ излучения, который оказался безопасным для работы персонала. Для интенсификации процессов обеззараживания разработана система тепловой выдержки обработанного зерна при температуре до 80 °с. Выполненная оценка энергетических характеристик работы установки показала, что в различных режимах работы установки не менее 85% СВЧ мощности, выработанной магнетроном, идет на нагрев зерна.

Проведены испытания работы установки в племенном птицеводческом заводе «птичное» россельхозакадемии, которые показали возможность непрерывной работы установки в течение 8 часов. Данная установка прошла сертификационные испытания на электробезопасность и электромагнитную совместимость. Проводятся государственные приемочные испытания на владимирской машиноиспытательной станции.

Таким образом, разработана промышленная установка и проведены предварительные экспериментальные исследования её работы, которые показали эффективность СВЧ обработки зерна и необходимость проведения экспериментальных исследований с целью создания технологии обработки зерновых культур.