

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов» Института агроинженерии ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» **Попова Виталия Матвеевича** на диссертационную работу Белова Александра Анатольевича «Совершенствование технологии и сверхвысокочастотных установок для повышения кормовой ценности фуражного зерна», представленную к публичной защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

1. Актуальность темы диссертации

Актуальность темы положительно оценивается как со стороны обрабатываемой с.-х. продукции, так и в свете реализации воздействующих электрофизических факторов в установках с оригинальными исполнениями рабочих узлов, обеспечивающих качественное протекание технологических процессов. Разработка оптимальной технологии переработки фуражного зерна, способствующей повышению его кормовой ценности в агропредприятиях малой и средней мощности, в настоящее время *актуально*.

Реализация существующих микроволновых технологий для этих целей ограничено из-за сложности обеспечения: 1) непрерывности технологического процесса; 2) высокой напряженности электрического поля в фуражном зерне, с целью достижения бактерицидного эффекта; 3) высокой собственной добротности резонаторов; 4) радиогерметичности установки; 5) термообработки фуражного зерна; 6) равномерности распределения электрического поля в объеме резонатора; 7) вариации производительности установки; 8) комплексного воздействия электромагнитных излучений разных длин волн; 9) простого демонтажа узлов.

Диссертация Белова А.А. содержит комплекс теоретических и экспериментальных исследований, а также практической реализации нового электротехнологического принципа, включающего указанные требования, предъявляемые к методике проектирования сверхвысокочастотных установок.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Работа содержит семь выводов, каждый из которых достоверен и обладает научной новизной.

Первый вывод базируется на анализе существующих технологий и технических средств, предназначенных для микронизации зерна, позволивший выработать требования к разработке микроволновой технологии и обоснованию конструктивно-технологических параметров сверхвысокочастотных

установок. Вывод достоверен, обладает научной новизной и соответствует первому защищаемому положению.

Второй вывод базируется на теоретическом исследовании элементов теории электродинамической системы и на разработанных математических моделях функционирования СВЧ установок, описывающих закономерности рабочих процессов термомеханического воздействия на фуражное зерно, позволившие оценить рациональные конструкционно-технологические параметры объемных резонаторов. Вывод достоверен, обладает научной новизной и соответствует второму и третьему защищаемым положениям.

Третий вывод основан на теоретических и экспериментальных исследованиях автора. Полученные аналитические выражения динамики эндогенного нагрева фуражного зерна при изменении их электрофизических параметров в процессе термомеханического воздействия, а также регрессионные модели функционирования СВЧ установок позволили выявить эффективные значения напряженности электрического поля и дозы воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты, обеспечивающие повышение кормовой ценности фуражного зерна. Вывод достоверен, обладает научной новизной и соответствует четвертому защищаемому положению.

Четвертый вывод основан на результатах теоретических и экспериментальных исследований. Они позволили выявить принципы проектирования установок с источниками энергии электромагнитных излучений с мало-мощными генераторами и объемными резонаторами, обеспечивающими термомеханическое воздействие на фуражное зерно в непрерывном режиме, повышая кормовую ценность. Вывод достоверен, обладает практической значимостью и научной новизной, соответствует второму и четвертому защищаемым положениям.

Пятый вывод базируется на результатах моделирования распределения электрического поля сверхвысокой частоты в резонаторах разной конфигурации, при движении зерновой массы, которые позволяют оценить параметры электродинамической системы, т.е. напряженность электромагнитного поля и добротность резонатора. Вывод достоверен, обладает теоретической и практической значимостью, соответствует пятому защищаемому положению.

Шестой вывод базируется на результатах экспериментальных исследований величины деформации фуражного зерна, его химического состава, микробиологических и органолептических показателей, активности уреазы в обработанных соевых бобах, которые позволили выявить эффективные конструкционно-технологические параметры и режимы работы разработанных СВЧ установок.

Седьмой вывод основан на результатах экспериментальных исследований технологического процесса термомеханического воздействия на фуражное зерно и проведенных положительных испытаний разработанных СВЧ установок в производственных условиях при соответствии их нормативным данным по радиогерметичности, по экономической эффективности и по результатам кормовой ценности обработанного фуражного зерна. Вывод досто-

верен, обладает практической значимостью и соответствует седьмому защищаемому положению.

3. Значимость для науки и практики результатов диссертации

Новизна результатов исследований состоит:

- в системном подходе к теоретической оценке закономерностей процессов, происходящих в электродинамических системах;
- в разработке способов воздействия ЭМИ на фуражное зерно;
- в разработке математических и регрессионных моделей, описывающих процессы термомеханического воздействия на фуражное зерно;
- в составлении методики согласования конструкционно-технологических параметров с режимами работы установок с учетом критериев оценки процессов;
- в выявлении резервов, повышающих эффективность функционирования СВЧ установок.

Практическую значимость представляют:

- разработанные технологии термомеханического разрушения фуражного зерна многократным ударом о стенки дифракционных резонаторов в процессе воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты и новые конструкционно-технологические схемы СВЧ установок;
- разработанная конструкторская документация и созданные образцы СВЧ установок для термообработки и обеззараживания фуражного зерна для повышения его кормовой ценности при сниженных эксплуатационных затратах;
- материалы экспериментальных исследований, позволяющие выработать рекомендации по созданию и эксплуатации СВЧ установок с рабочими камерами, обеспечивающими термомеханическое воздействие на фуражное зерно.

4. Научная обоснованность методов и достоверность результатов исследований

Для экспериментальных исследований применялись сертифицированные электроизмерительные цифровые приборы и аппаратура, обеспечивающие достаточную точность результатов; стандартная методика оценки воспроизводимости эффективных режимов работы установок; численные методы решения задач при теоретической разработке математических моделей процессов термомеханического воздействия на фуражное зерно. В исследованиях пользовались методикой активного планирования трехфакторного эксперимента типа 2^3 и статистической обработкой результатов исследования с применением компьютерных программ Microsoft Excel 10.0, Statistic 5.0, трехмерного моделирования конструктивного исполнения СВЧ установок в программе Компас-3D V15.

Достоверность основных выводов и предложений подтверждается: актами апробации и результатами теоретических и экспериментальных исследований СВЧ установок в лабораторных и производственных условиях; протоколами лаборатории федерального бюджетного учреждения «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Чувашской республике», свидетельствующими о безопасности продукта; протоколами лаборатории федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Чувашской Республике – Чувашия», подтверждающими соблюдение безопасной нормы СВЧ излучения при эксплуатации разработанных установок.

5. Оценка содержания диссертации

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованной литературы, включающего 294 наименований и восьми приложений. Общий объем диссертации содержит 416 страниц, 171 рисунок, 39 таблиц, 107 стр. отведено на приложения.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследований, определены объекты и предмет исследований, а также приведены основные положения, выносимые на защиту. Описан предлагаемый способ термомеханического воздействия фуражного зерна на основе комплексно-системного подхода к решению научной проблемы повышения кормовой ценности фуражного зерна при сниженных эксплуатационных затратах на технологический процесс.

В первом разделе «Состояние научной проблемы, цель и задачи исследований» проведен анализ объемов фуражного зерна и их электрофизических характеристик; представлен анализ технологий и технических средств, обеспечивающих кормовую ценность фуражного зерна; определены задачи исследований. Проводится подробное описание существующих способов и методов микронизации или обработки фуражного зерна. На основе критического анализа определены возможности создания оборудования, использующего электромагнитное излучение с целью термомеханического воздействия на фуражное зерно для повышения кормовой ценности. Обоснована необходимость применения микроволновой технологии в фермерских хозяйствах. Отмечается необходимость поиска более совершенных технологий и технических средств, обеспечивающих повышение кормовой ценности фуражного зерна. Логично сформулированы задачи исследования.

Во втором разделе «Теоретические исследования процесса термомеханического воздействия на фуражное зерно с использованием энергии электромагнитных излучений» представлена научно-методическая база исследований. Теоретические исследования процесса термомеханического воздействия на фуражное зерно включают решение комплекса взаимосвязан-

ных задач. Приведены математические модели процесса термомеханического воздействия на зерно в разработанных установках и уравнения динамики нагрева зерна в ЭМП СВЧ при изменении электрофизических параметров в процессе воздействия и при переменной напряженности электрического поля в передвижных резонаторах. Разработаны элементы теории электродинамической системы при совмещении термообработки зерна с его механическим разрушением в непрерывном режиме. Составлена методология проектирования СВЧ установок. Теоретически обоснованы оптимальные параметры функционирования СВЧ установок, обеспечивающие наибольший эффект по качеству фуражного зерна. Проведена оценка напряженности электрического поля и дозы воздействия ЭМП СВЧ, необходимой для снижения микробиологической обсемененности и активности уреазы в соевых бобах. В данном разделе дана методика расчета собственной добротности резонатора через конструкционные параметры. При моделировании физического процесса распределения электрического поля использована программа комплекса CSTSTUDIO, на основе которой обоснованы рациональные показатели электродинамической системы при использовании резонаторов разных конфигураций и размеров.

Приведены описания девяти разработанных СВЧ установок со сферическими, тороидальными и цилиндрическими резонаторами, обеспечивающими предъявляемые требования к их разработке. А именно:

1. Непрерывность технологического процесса воздействия ЭМП СВЧ на сырье достигается за счет перфорации или передвижения резонаторов, и диссектора.

2. Высокая напряженность электрического поля СВЧ диапазона (бактериальная микрофлора уничтожается при высокой напряженности электрического поля) достигается за счет малого расстояния между дисками, объединяющими тороидальные резонаторы и за счет наложения двух радиоволн разных частот и амплитуд.

3. Высокая собственная добротность резонаторов достигается за счет его сферического и тороидального исполнения.

4. Радиогерметичность установки достигается за счет использования экранирующего корпуса из ферромагнитного материала и запредельных волноводов, вместо приемных и разгрузочных патрубков.

5. Универсальность установки для широкого класса сырья достигается съёмными резонаторами, регулированием диаметра отверстий перфорации резонаторов.

6. Равномерность распределения электрического поля и сырья в резонаторе достигается за счет использования диссектора.

7. Увеличение производительности установки достигается за счет использования нескольких маломощных генераторов, обеспечивающих циклическое воздействие электромагнитного поля сверхвысокой частоты на сырье, что, в конечном счете, повышает бактерицидный эффект.

8. Обеспечение скажности технологического процесса менее 0,5 для выравнивания давления и эндогенной температуры по всему объему сырья.

9. Демонтаж узлов установки направлен на обеспечение санитарной обработки после проведения термообработки фуражного зерна.

В третьем разделе «Методические аспекты исследования и разработанные СВЧ установки для термомеханического разрушения фуражного зерна» приведены общая программа и структура исследования процесса термомеханического разрушения фуражного зерна воздействием электромагнитных излучений; частные методики исследований; характеристики контрольно-измерительной аппаратуры; операционно-технологические схемы термомеханического разрушения зерна.

Предложен новый принцип совмещения разнородных операций в одной установке. Контрольно-измерительное оборудование представляется современным. Разработанные установки защищены 4 патентами на изобретения и положительными решениями.

Четвертый раздел «Экспериментальные исследования процесса термомеханического воздействия на фуражное зерно» содержит результаты исследования динамики нагрева фуражного зерна; оценку равномерности распределения температуры в зерновой массе; результаты исследования кормовой ценности зерна после термомеханического воздействия, в том числе микробиологической обсемененности и химического состава.

Приведены результаты экспериментальных исследований и производственных испытаний разработанных технологий и СВЧ установок. Эксперименты подтвердили эффективность воздействия ЭМП СВЧ: выявлено термомеханическое разрушение структуры фуражного зерна, снижение активности уреазы в соевых бобах, о чем свидетельствуют кривые зависимостей. Результатами производственных испытаний подтверждена эффективность микроволновой технологии, и работоспособность разработанных СВЧ установок, обеспечивающих повышение кормовой ценности фуражного зерна.

Пятый раздел «Экономическая эффективность внедрения в производство СВЧ установок для термомеханического разрушения фуражного зерна» содержит: положительные результаты экономической оценки применения установок для термомеханического разрушения зерна; разработанные меры безопасности при эксплуатации СВЧ установок; предложенные мероприятия по совершенствованию микроволновой технологии термомеханического воздействия на фуражное зерно для реализации в фермерских хозяйствах.

В заключении приведены 7 выводов по работе, рекомендации производству. Изложены перспективы дальнейшей разработки темы, направленные на появление новых эффективных технологий термомеханического воздействия на фуражное зерно.

6. Подтверждение публикации основных результатов диссертации в научной печати и соответствие автореферата диссертации

По диссертационной работе опубликовано: 16 статей из перечня ведущих периодических изданий, определённых ВАК РФ Министерства образования и науки Российской Федерации, 4 патента, 2 монографии. Диссертационная работа по количеству публикаций отвечает Положению ВАК. Автореферат по своему содержанию соответствует основным научным положениям диссертационной работы.

7. Замечания по работе:

1. 10 с. Научная новизна п. 5. «Результаты исследования распределения электрического поля сверхвысокой частоты в дифракционных цилиндрических и тороидальных резонаторах при движении зерна относительно источников излучения, позволяющие согласовать добротность и емкость резонатора с напряженностью электрического поля». Не понятно, что подразумевается под согласованием добротности и емкости резонатора с напряженностью электрического поля?

2. 10 с. П.6. «6. Обоснованные конструкционно-технологические параметры и режимы работы СВЧ установок с учетом: зависимостей деформации от разрушающего усилия, влажности, температуры; результатов исследований химического состава, микробиологических и органолептических показателей, активности уреазы соевых бобов». Редакция.

3. Разработаны несколько установок с тороидальными резонаторами, но какой из них эффективнее с точки зрения реализации требований, предъявляемых к методике проектирования СВЧ установок, не ясно.

4. С. 49. «Хотя зависимость угла диэлектрических потерь воды от частоты электромагнитного поля имеет резонансный характер с максимумом при частоте 109 ГГц, причем время диэлектрической релаксации воды составляет $9,2 \cdot 10^{-12}$ с, что отвечает длине волны 1,7 см». Частоте 109 ГГц и времени релаксации $9,2 \cdot 10^{-12}$ с соответствует длина ЭМВ равная 0,28 см. Непонятно откуда взялась ЭМВ с длиной волны 1,7 см?

5. «Рисунок 2.9 – Зависимость генерируемой мощности в зерне и в воде от напряженности электрического поля при частоте 2450 МГц».

Из графика и таблицы 2.2. следует, что приведены зависимости удельно поглощенной мощности.

6. С. 154. Не понятно для чего потребовалось излагать теорию сложения двух гармонических колебаний?

7. Как следует из главы 4.3.1 «Исследование мощности потока СВЧ излучения вблизи СВЧ энтолейтора» конструкция СВЧ-установок не обеспечивает эффективную защиту обслуживающего персонала от опасных побочных СВЧ-излучений. Из таблиц 4.9 и 4.10, а также из актов измерения уровней побочного излучения (приложения Д) следует, что установки соответствуют

санитарной норме по максимальному допустимому кратковременному (0,2 часа) воздействию ЭМИ 1000 мкВт/см², принятому в России и приведенному в стандарте» Физические факторы окружающей среды. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона. Санитарные правила и нормы. Сан-Пин 2.2.4/2.18.055-96 (Утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 8 мая 1996 г. № 9). Практически все замеры показывают, что плотность потока побочного излучения на местах оператора на удалении 0,5 – 2,0 м. существенно превышают допустимую энергетическую экспозицию при продолжительной работе в течении 8 часов. Согласно данному стандарту нормирование проводится по энергетической экспозиции, которая составляет – 200 мкВт·ч/см². Исходя из этого, нормируется плотность потока мощности ЭМИ в зависимости от продолжительности облучения. Так при 8-ми часовом рабочем дне плотность потока мощности не должна превышать 25 мкВт/см². Результаты замеров показывают, плотность потока мощности находится в пределах от 19 до 545 и от 45 до 260 мкВт/см² для СВЧ-энтотейтора и СВЧ-индукционной установок. Приведенные в таблицах 4.9, 4.10 результаты допустимой продолжительности нахождения в зоне облучения рассчитаны ошибочно и не соответствуют требованиям приведенного выше стандарта. Приведенные в таблицах результаты в графе ЭЭ не понятно, что означают? Если энергетическую экспозицию, то она так же не соответствует стандарту.

В целом содержание диссертации по полноте охвата темы и глубине проработки поставленных задач заслуживает положительной оценки. Диссертационная работа охватывает анализ литературы, предложения по разработке нового способа термомеханического воздействия, выработки алгоритма расчетов моделей эффективных установок при минимуме эксплуатационных затрат на технологический процесс, реализацию опытных образцов установок в учебном процессе и в фермерских хозяйствах, возможность внедрения в агропредприятия средней мощности. Диссертация изложена хорошим стилем, рисунки и таблицы оформлены и пояснены в соответствии с ЕСКД.

Сделанные по диссертации замечания не снижают общего положительного впечатления о работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Белова Александра Анатольевича на тему «Совершенствование технологии и сверхвысокочастотных установок для повышения кормовой ценности фуражного зерна» является самостоятельной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании исследований автора решена научная проблема, имеющая важное народно-хозяйственное значение, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Бе-

лов Александр Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве.

Официальный оппонент:
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Энергообеспечение
и автоматизация технологических процессов»
Института агроинженерии
ФГБОУ ВО «Южно-Уральский
государственный аграрный
университет» Попов Виталий Матвеевич



18.01.2017.

Почтовый адрес: Россия, Челябинская область, г. Челябинск, пр. Ленина, 75, 454080, Институт агроинженерии ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет».

Тел.: +7 (351) 263-28-03. E-mail: ntc-es@mail.ru

