

ОТЗЫВ

официального оппонента Вендина Сергея Владимировича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Электрооборудование и электротехнологии в АПК» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», на диссертационную работу

Белова Александра Анатольевича «Совершенствование технологии и сверхвысокочастотных установок для повышения кормовой ценности фуражного зерна», представленной к публичной защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности: 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

1. Актуальность темы

Создание эффективных технологий и технических средств, обеспечивающих повышение кормовой ценности фуражного зерна при снижении эксплуатационных затрат является актуальной проблемой. Одним из путей решения указанной проблемы является использование электрофизических методов воздействия на технологические объекты и использование энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ). В диссертации приведены результаты исследований по применению СВЧ энергии в процессах подготовки фуражного зерна на корм животным. Поэтому тема научных исследований «Совершенствование технологии и сверхвысокочастотных установок для повышения кормовой ценности фуражного зерна» является *актуальной*.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Основные результаты диссертационной работы представлены в заключении семью выводами.

1. *Первый вывод* отражает результаты разработки технологий и новых конструктивно-технологических схем сверхвысокочастотных (СВЧ) установок для повышения кормовой ценности фуражного зерна путем многократного термомеханического воздействия. Вывод подтвержден патентами на изобретения, результатами экспериментальных исследований и поэтому достоверен и обладает научной новизной.

2. *Второй вывод* содержит результаты теоретического анализа зависимостей используемых при разработке СВЧ установок, учитывающих конструктивно-технологические параметры передвижных резонаторов, для обеспечения процесса термомеханического воздействия на фуражное зерно в непрерывном режиме, и согласования электродинамических параметров (напряженность электрического поля, добротность и емкость резонатора) с режимами работы СВЧ установок, имеющих разную конфигурацию резонаторов (цилиндрические, сферические и тороидальные). При обобщении результатов имеются корректные ссылки на источники, поэтому вывод достоверен и обладает научной

новизной.

3. *Третий вывод* отражает результаты исследований по оценке эффективных значений напряженности электрического поля и удельной СВЧ дозы воздействия на фуражное зерно для обеспечения повышения кормовой ценности зерна путем снижения микробиологической обсемененности продукта и активности уреазы в соевых бобах. Конструкционно-технологические параметры и режимы работы установок определены с учетом:

- аналитических зависимостей, учитывающих особенности дифракционных резонаторов;
- математических моделей динамики нагрева фуражного зерна в процессе термомеханического воздействия;
- регрессионных моделей учитывающих параметры СВЧ установок.

Достоверность вывода подтверждается положительными результатами обработки фуражного зерна, вывод обладает научной новизной.

4. *Четвертый вывод* отражает методический подход к проектированию СВЧ установок для термомеханического воздействия на фуражное зерно, с учетом конструктивных особенностей резонаторных камер.

Производительность установки обеспечивается за счет использования нескольких маломощных СВЧ генераторов с волноводными трактами для излучателей и передвижных резонаторов в экранирующем корпусе.

Для реализации технологического процесса термомеханической обработки сырья поступает в передвижные дифракционные резонаторы, собранные из абразивных штифтов, где подвергается СВЧ обработке.

Для получения высокой напряженности электрического поля, необходимой для снижения микробиологической обсемененности фуражного зерна предлагается конструкция тороидального резонатора СВЧ генератора с малым расстоянием между стенками центральной его части, выполненной в виде съемных узлов, и дополнительных источников энергии, с расширением спектра частот электромагнитного поля.

Вывод достоверен, обладает научной новизной.

5. *Пятый вывод* отражает результаты качественного моделирования картины распределения линий напряженностей электромагнитного поля в дифракционных цилиндрических и тороидальных резонаторах при движении зерновой массы в рабочей камере установки с источниками СВЧ энергии, расположенными стационарно или движущимися. Рассмотрены аналитические зависимости для оценки значения напряженности электрического поля и добротности резонаторов. Предложены подходы к формированию равномерного распределения температуры в зерновой массе за счет передвижения резонаторных камер и многократного воздействия ЭМП СВЧ. Представлена возможность равномерного распределения векторов напряженности электрического поля по всей рабочей области дифракционных резонаторов. Достоверность вывода подтверждается результатами измерений температуры нагрева зерна, вывод обладает научной новизной.

6. В шестом выводе отражены результаты исследований по экспериментальной оценке конструкционно-технологических параметров и режимов работы СВЧ установок на эффективность обработки зерна, исследований разрушающего усилия и величины деформации фуражного зерна при разной влажности и температуре, а также результаты исследований химического состава, микробиологических и органолептических показателей, активности уреазы в обработанных соевых бобах,

Достоверность вывода подтверждается актами экспериментальной проверки и полученными регрессионными зависимостями, вывод обладает практической значимостью.

8. В седьмом выводе приведены положительные результаты испытаний установок для термомеханического воздействия в производственных условиях при получении нового продукта из соевых бобов с разрывными оболочками и рекомендованного к применению для животных, как стойкого при хранении, обладающего высокой кормовой ценностью. Приведены результаты оценки радиогерметичности установок на соответствие нормативным документам. Определен годовой экономический эффект. Достоверность вывода подтверждается актами испытаний, вывод обладает практической значимостью.

Основные положения и научные результаты, полученные лично автором, отвечают критериям оценки диссертации по новизне.

В целом можно заключить, что обоснованность всех выводов диссертации достоверна, и они отражают основное ее содержание.

Рекомендации производству имеют вполне конкретные области применения.

3. Новизна и значимость для практики результатов диссертационной работы

Новизну представляют:

- технологические приемы термомеханического воздействия на фуражное зерно для повышения кормовой ценности и новые конструкционно-технологические схемы СВЧ установок для непрерывного режима работы;
- регрессионные зависимости учитывающие параметры сверхвысокочастотных установок и снижение микробиологической обсемененности и активности уреазы соевых бобов.

Значимость для практики представляют:

- 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;
- разработанные сверхвысокочастотные установки для повышения кормовой ценности фуражного зерна; результаты испытания установок в производственных условиях в Молочно-товарном комплексе ОАО «Вурнарский мясокомбинат» Вурнарского района, СХПК «Колхоз им. Ленина» Чебоксарского

района, КФХ «Петров А.В.» Аликовского района, КФХ «Семенов В.Н.» Козловского района Чувашской Республики и технико-экономической оценки внедрения в фермерские хозяйства; новые технические решения основных рабочих органов сверхвысокочастотных установок, новизна технологических и технических решений которых подтверждена 4-мя патентами на изобретение;

- полученные в ходе выполнения диссертации результаты исследований и практические рекомендации используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «РГАУ - МСХА им. К.А. Тимирязева», АНО ВО «Академия технологии и управления», ФГБОУ ВО «Марийский ГУ», ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ».

4. Достоверность результатов исследований подтверждается: результатами экспериментальных исследований процесса термомеханического воздействия на фуражное зерно и положительными результатами испытаний сверхвысокочастотных установок в производственных условиях; использованием современных методик, ГОСТов, приборов и оборудования; сходимостью теоретических и экспериментальных результатов исследований.

Достоверность результатов исследований подтверждена также:

- актами апробации СВЧ установок в производственных условиях;
- протоколами 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 излучения при эксплуатации разработанных СВЧ установок.

Основные результаты исследований, отраженные в диссертационной работе, представлены на научно-технических и научно-практических конференциях.

5. Оценка содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 308 страниц, 171 рисунок и 39 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, выделены объекты и предмет исследований, а также приведены основные положения, выносимые на защиту. Представлена технология и способ термомеханической обработки фуражного зерна. Для его реализации разработаны СВЧ установки с различными резонаторными камерами, позволяющие совмещать несколько технологических операций.

В первом разделе «Состояние научной проблемы, цель и задачи исследований» проведен аналитический обзор ресурсов и объемов фуражного зерна, выполнен и представлен анализ физико-химических и электрофизических характеристик зерна различных фуражных культур, представлен анализ техноло-

гий и технических средств для микронизации зерна, определены задачи исследований.

Во втором разделе «Теоретические исследования процесса термомеханического воздействия на фуражное зерно с использованием энергии электромагнитных излучений» представлена программа исследований. Рассмотрены математические модели процесса термомеханической обработки фуражного зерна в разработанных установках. Предложены теоретические зависимости для оценки динамики нагрева зерна в электромагнитном поле СВЧ. Проведена оценка напряженности электрического поля СВЧ для снижения бактериальной микрофлоры в фуражном зерне. Приведены технологические схемы СВЧ установок и методики их проектирования для обеспечения высокой напряженности электрического поля, высокой собственной добротности резонаторов, а также непрерывности технологических процессов и многократного воздействия ЭМП СВЧ на зерно, обеспечения радиогерметичности установок. Приведены результаты качественной оценки распределения линий напряженности электрического поля в резонаторах разных конструкций для получения эффективных значений напряженности электрического поля и высокой собственной добротности резонаторов.

Описаны конструкции разработанных СВЧ установок, , научная новизна которых защищена патентами, в том числе рабочие камеры со съемными узлами для обеспечения комплексного воздействия электромагнитными излучениями разных длин волн.

В третьем разделе «Методические аспекты исследования и разработанные СВЧ установки для термомеханического воздействия на фуражное зерно» приведены: общая программа исследований; частные методики исследований; характеристики используемой современной контрольно-измерительной аппаратуры, в частности прибор «SpectraStar», позволяющий контролировать изменение физико-химических показателей фуражного зерна.

Приведена структура исследования процесса термомеханического воздействия ЭМП СВЧ на фуражное зерно. Описаны отличительные особенности рабочих камер девяти разработанных СВЧ установок, в том числе изготовленных и апробированных: СВЧ энтолейтор и СВЧ-индукционная установка.

Четвертый раздел «Экспериментальные исследования процесса термомеханического воздействия на фуражное зерно» содержит операционно-технологические схемы термомеханической обработки фуражного зерна в разработанных СВЧ установках. Приведены экспериментальные результаты исследования динамики нагрева фуражного зерна. Представлены результаты измерений распределения теплового потока при нагреве фуражного зерна, указывающие на возможность обеспечения равномерного нагрева фуражного зерна в передвижных дифракционных резонаторах. Приведены результаты термомеханического разрушения оболочки, изменения физико-химических показателей и микробиологической обсемененности продукта, а также уменьшения показателя уреазы соевых бобов при обработке на разработанных установках, подтвержденные исследованиями в ФГУ «Россельхозцентр по Чувашской Республике».

На основе теоретических и экспериментальных исследований были определены рациональные значения конструкционно-технологических параметров и режимов работы СВЧ установок и изготовлены опытные образцы, испытанные в производственных условиях.

Пятый раздел «Экономическая эффективность внедрения в производство СВЧ установок для термомеханического воздействия на фуражное зерно» содержит результаты экономической оценки применения СВЧ установок в фермерских хозяйствах.

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

Результаты теоретических и экспериментальных исследований отражены в 62 печатных работах, в том числе 16 из перечня ведущих периодических изданий, определенных ВАК РФ Министерства образования и науки Российской Федерации, 4 патентах и в решении на выдачу патента, 2 монографий. Критерию количества публикаций в рецензируемых изданиях диссертационная работа отвечает.

4 работы, в том числе одна монография, опубликованы соискателем без соавторов.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы.

7. Замечания по работе

1. Имеются замечания редакционного характера:

- в тексте диссертации встречаются не совсем корректные и неудачные определения, например «...разработку математического моделирования электромагнитных и тепловых полей» (стр. 51);

- следует указывать все величины входящие в расчетные выражения и избегать приведения тех, которых нет в формулах, например (2.4), (2.17), (2.18) и др.;

- имеются ошибки при записи математических выражений (2.38), (2.47), (2.48), (2.52), (2.69), приводятся совсем необязательные громоздкие вычисления объема тороида, так как эта величина известная или легко может быть получена интегрированием по осевой линии с учетом площади сечения.

2. Выражение (2.4) справедливо для нагрева объектов без обмена теплоты с окружающей средой и для бесконечно большого объема тела, когда температурное поле не зависит от пространственной координаты (размеров). Для объектов конечных размеров следует оговаривать форму, начальные и граничные условия задачи. Кроме того, постоянная интегрирования «C» в выражении (2.9) однозначно должна определяться начальными условиями и с учетом выражения (2.8). При $T(0)=T_0$ будет равна « $C=(1/B)e^{BT_0} - (A/D)$ ».

3. Не ясно, почему при оценке напряженности электрического поля для целей обеззараживания продукта берется во внимание приращение температу-

ры $0,024^{\circ}\text{C}$ и что понимается под «затормаживанием развития микроорганизмов»?

4. Следует пояснить, почему для качественного анализа напряженностей электромагнитного поля использовались результаты теории электродинамики движущихся сред, так как эта теория разрабатывалась для сред движущихся со скоростями соизмеримыми со скоростью света? Кроме того требует пояснения выбор числа дифракционных резонаторов и их месторасположение на рабочем диске СВЧ энтолейтора.

5. При оценке опасности «выбивания» магнетрона другими соседними и выборе диаметра внутреннего цилиндра следует учитывать также возможный выход из строя магнетрона из-за волн отраженных от поверхности цилиндра.

6. Представленная на рисунке 2.66 конструкция СВЧ установки фактически равносильна работе магнетрона на плоский слой продукта, ограниченный металлическим экраном (индукционная плита). Поэтому без учета параметров системы и согласования генератора с нагрузкой этот режим будет равен режиму полного отражения от экрана с небольшим затуханием по слою продукта.

7. Следует пояснить, почему при испытании СВЧ энтолейтора удельная мощность определялась равной $0,24 \text{ Вт/г}$?

8. Согласно рисунков 4.11 и 4.12 нельзя однозначно утверждать о снижении разрушающего усилия с повышением температуры. Можно лишь утверждать о увеличении деформации с ростом температуры.

9. Следует пояснить, почему на рисунке 4.13 наблюдается экстремум (максимум) на интервале фактора времени? Ведь по физической логике процесса с увеличением времени СВЧ обработки температура нагрева должна постоянно повышаться. Необходимо отметить также, что приведенная на рисунке 4.21 зависимость требует явно линейной аппроксимации. Применение логарифмической функции нарушает физический смысл процесса при $D=0$.

10. При оценке эффекта обеззараживания следовало бы использовать интегральную форму оценки летального воздействия, учитывающую скорость и конечную температуру, как на стадии нагрева так и на стадии остывания продукта.

Оформление диссертационной работы соответствует требованиям нормативно-технической документации. Поставленные задачи исследований выполнены.

Отмеченные в отзыве замечания не снижают ценности выполненной диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Белова Александра Анатольевича является самостоятельной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании исследований автора решена научная проблема, имеющая важное 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 к диссертациям на

соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Белов 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,
профессор



Вендин Сергей Владимирович

Место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»; должность: заведующий кафедрой электрооборудования и электротехнологий в АПК.

Адрес: 308503, Россия, Белгородская область, Белгородский район,
п. Майский, ул. Вавилова.

Тел.: 8 (4722) 39-11-36

E-mail: vendin_sv@bsaa.edu.ru, elapk@mail.ru



Подпись <u>Вендина С.В.</u>	
Заворачиваю: начальник отдела кадров	
<u>М.В.</u>	Л.В. Манохина
"___" _____ 20__ года	