

В диссертационный совет 35.2.030.03, на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»

### Отзыв официального оппонента

доктора технических наук Белова Александра Анатольевича на диссертацию Ахмедьяновой Елены Наильевны на тему «Сушка абрикосов и ядер подсолнечника с использованием СВЧ устройства», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.2 – Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки)

В связи с повышением требований к снижению себестоимости продукции резко возрастают требования повышению энергетической эффективности установок агропромышленного комплекса и в частности систем СВЧ сушки. Это, в свою очередь, требует создания новых механизмов, методик и средств оценки эффективности конструкций обеспечивающих пониженный уровень потребления энергии при высоком качестве готового продукта.

Актуальность и своевременность темы диссертации Ахмедьяновой Е.Н. обусловлена рядом факторов. Один из них — недостаточность статистических данных по электрофизическим характеристикам ряда продуктов агропромышленного комплекса. Другой сильнодействующий фактор - рост показателей энергоэффективности современного зарубежного оборудования. При этом, сушильные установки, использующие СВЧ нагрев всё шире применяются на предприятиях агропромышленного комплекса страны.

Эти и многие другие факторы определили необходимость и актуальность разработки методик расчёта, технических решений, определения эффективных алгоритмов управления процессом сушки для

рассматриваемых культур, повышающих энергетическую эффективность СВЧ систем сушки.

Анализ содержания работы и соответствия поставленным задачам исследования

Диссертационная работа имеет структуру, соответствующую характеру исследования, и состоит из введения, пяти основных глав, заключения, библиографического списка из 146 источника, а также приложения. Содержание диссертации изложено на 155 страницах, содержит 80 рисунков и таблиц.

Во введении диссертации обоснована научная актуальность работы и дан анализ степени разработанности темы исследования, сформулирована цель диссертационной работы и приведены задачи, решение которых приводит к ее достижению. Раскрыты научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, дана оценка достоверности и апробации полученных автором результатов.

В первой главе проведен аналитический обзор научной литературы, посвященной проблемам обезвоживания сельскохозяйственной продукции и основным подходам к оценке эффективности процесса удаления влаги. Рассмотрен анализ проблем в области эксплуатации элементов сушильных установок. При этом отмечается, что большинство методов оценки интенсивности внутреннего влагопереноса основываются на математических моделях, полученных на основе решения систем дифференциальных уравнений с ведёнными допущениями. Сейчас значительно поменялись возможности численного моделирования, что даёт возможность повысить точность решения, но требует актуализации данных по электрофизическим параметрам высушиваемого материала и коррекции моделей.

Проведенный достаточно полный и глубокий анализ литературы, посвященной проблемам систем влагоудаления, позволил диссертанту обосновать перечень основных научных задач, направленных на повышение

эффективности предлагаемых современных методов сушки.

Глава 2 посвящена разработке математической модели диффузии влаги в капиллярно пористых телах, учитывающей эффекты изменения термодиффузионного коэффициента при комбинированном процессе СВЧ и конвекционной сушки. Рассмотрены общие принципы математического моделирования процесса и изменения характеристик среды с учетом изменения влагосодержания и температуры. Предложена методика определения эффективных алгоритмов управления процессом сушки с использованием расчёта температурных полей. Рассмотрены вопросы регенерации тепловой энергии. Сделаны необходимые выводы по главе, в которых подчеркивается целесообразность применения комплексного подхода для повышения эффективности оборудования сушильных комплексов.

Глава 3 посвящена экспериментальной апробации применения математических моделей оценки эффективности работы СВЧ установки со встроенной системой транспортировки продукта и системой регенерации энергии. Детально отражены особенности созданного экспериментального оборудования и методик проведения исследований. Приведены экспериментальные оценки коэффициента диэлектрических потерь для рассматриваемых культур как функции температур и влагосодержаний для частоты электромагнитного поля 2465 МГц.

В главе 4 приводится анализ результатов численного моделирования и экспериментальных исследований элементов оборудования. Подробно рассматриваются результаты натурных и численных экспериментов для нахождения эффективного диапазона зон нагрева и охлаждения при осциллирующем режиме, приводится методика применённой статистической обработки данных. Данные оценки работы системы шнековой подачи и системы теплоутилизации даются и для результатов вычислительного эксперимента с использованием пакетов прикладных программ ANSYS и SolidWorks.

Приводятся параметрические зависимости оценки эффективной работы и параметров теплоутилизатора.

В главе 5 приводятся примеры использования разработанной методологии и технических решений для СВЧ установки сушки плодов абрикос и ядер подсолнечника. Отражаются результаты промышленной апробации. Приводятся данные по экономическому эффекту.

В заключении представлены основные результаты выполненного диссертационного исследования.

В приложении представлены как результаты математического моделирования процессов, так и акты о внедрении и использовании результатов работы профильными промышленными предприятиями и учреждениями высшего образования.

Оценка научной новизны, степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В качестве научной новизны работы можно отметить, что впервые предложена математическая модель распределения температур и учёта движения жидкости в капиллярно пористом теле с учётом трёхмерного представления термодиффузионного коэффициента, что позволило значительно увеличить точность расчётов.

В диссертации решена задача по оценке эффективных режимов влагоудаления, использующих эффект интенсификации внутреннего влага переноса за счёт периодического изменения температурных полей элементов.

Расширены представления о электрофизических характеристиках плодов абрикос и ядер подсолнечника при воздействии электромагнитного поля для частоты 2465 МГц.

Разработана методика расчёта новой конструкции вращающегося воздухонагревателя. Определены эффективные соотношения зон нагрева и охлаждения теплообменника.

Обоснованность научных положений и практических результатов

диссертационной работы Ахмедьяновой Е.Н. следует из корректности применения известных математических методов, логичностью выводов, базирующихся на общенаучных принципах и подходах, непротиворечивостью полученных новых результатов с практикой в области стандартизации.

Достоверность и практическая значимость результатов исследования подтверждается их апробацией путем публичного обсуждения на многочисленных международных и всероссийских конференциях, а также публикаций в ведущих журналах по данному научному направлению, включая 4 статьи в изданиях из перечня ВАК РФ и 2 статьи в изданиях, индексируемых в Scopus, 3 патентов.

Практическая реализация предлагаемых в диссертации моделей осуществлена путем решения реальных производственных задач эксплуатации сушильного оборудования.

Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждается приложенными 5-ю актами о внедрении и использовании разработанных моделей и алгоритмов в практику на различных промышленных предприятиях отрасли. В актах внедрения подчеркивается, что переданные результаты диссертации Ахмедьяновой Е.Н. являются надежным инструментом для поддержки принятия решений при оценке режимов эксплуатации оборудования.

#### Оценка качества оформления диссертации

Диссертация изложена на технически грамотном научном языке, оформление текста диссертации и автореферата соответствует требованиям соответствующего стандарта и оставляет приятное впечатление.

#### Выявленные недостатки и замечания

1. В диссертации предлагается для количественной оценки величины коэффициента термодиффузии определённый тип регрессионной зависимости. Однако остаются вопросы по определению не только численных параметров, с помощью которых кривые регрессии могут быть определены, но и к виду самой кривой. Было бы интересно исследовать вид кривых

коэффициента термодиффузии, что в значительной мере усилило бы обоснованность разработанных математических моделей.

2. В работе делается попытка математической постановки обобщенной задачи теплопроводности с учетом фазового перехода, (стр. 24). Сама эта попытка похвальна. Однако сделанные сильные ограничения (не всегда обоснованные) чересчур упрощают задачу, позволяя только проводить оценку температуры в исследуемой области. Кроме этого, имеющиеся опечатки в обозначениях затрудняют понять постановку задачи, в том числе ответить на следующие вопросы: 1. Система дифференциальных уравнений (2.1) предполагает одномерное пространственное решение задачи. Почему задача изначально ставилась как одномерная? 2. Почему использовалась явная разностная схема для решения системы (2.1-2.4)?

3. К сожалению, в работе на рисунке 3.20, стр. 74 не приведены данные для оценки погрешности предлагаемой методики нахождения напорной характеристики ротора. Хотя приведение этих данных могло более убедительно показать практическую ценность полученных в диссертации результатов.

4. При рассмотрении модели распределения температур с учетом фазовых переходов применительно к определению эффективных временных промежутков нагрева и охлаждения не делается анализ качества высушиваемого продукта. Отсутствуют опытные данные по содержанию каротиноидов и флавоноидов и других микроэлементов в обрабатываемых абрикосах, а также сравнительный анализ по цвету полученной кураги.

5. К сожалению, не рассмотрен вопрос о возможности создания на базе разработанной методологии информационно-аналитической системы поддержки принятия решений, позволяющей давать рекомендации по оптимальным режимам эксплуатации и снижению издержек при эксплуатации СВЧ сушильного оборудования.

Указанные замечания не снижают общей ценности основных теоретических и практических результатов диссертационной работы, а

показывают возможные направления развития предложенной методологии оценивания параметров и режимов оборудования влагоудаления с СВЧ подводом энергии.

#### Заключение по диссертации

Диссертант в своей диссертационной работе решил актуальную проблему создания эффективной методологии определения параметров и режимов эксплуатации СВЧ установок сушки с регенерацией тепловой энергии. Все представленные положения внедрены, что подтверждается представленными актами внедрения.

Работа соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям по специальности 4.3.2 – Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки), а Ахмедьянова Е.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной научной специальности.

Белов Александр Анатольевич, доктор технических наук,  
главный научный сотрудник лаборатории  
электрофизического воздействия на  
сельскохозяйственные объекты и материалы

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

 (Белов А.А.)

Почтовый индекс: 109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5.

Тел: 89151973521. E-mail: [sofronich.bel@mail.ru](mailto:sofronich.bel@mail.ru)

«01» ноября 2023г.

Подпись Белова Александра Анатольевича заверяю

Ученый секретарь ФГБНУ ФНАЦ ВИМ



 А.В. Соколов