

О Т З Ы В

официального оппонента доктора технических наук, профессора кафедры «Технологические машины и оборудование», заместителя директора по учебной работе «Института холода и биотехнологий» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» **Пеленко Валерия Викторовича** на диссертационную работу **Журавлева Алексея Владимировича** «Научное обеспечение и разработка ресурсосберегающих машинных технологий сушки дисперсных продуктов в закрученном потоке теплоносителя (теория, техника, управление)», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств»

Актуальность работы

Пищевая промышленность Российской Федерации имеет высокий потенциал, что обусловлено наличием в регионах крупных сырьевых баз и повышением за последние несколько лет объемов производимой сельским хозяйством продукции. В то же время, современное состояние пищевой отрасли до недавних пор характеризовалось спадом производства, разрывом производственных связей, недостаточным материально-техническим оснащением.

Для устойчивого развития и повышения конкурентоспособности продукции на внутреннем и внешнем рынках пищевая промышленность нуждается в непрерывной модернизации на основе внедрения новейшей техники и совершенствования традиционных и разработке новых ресурсосберегающих, экологически безопасных машинных технологий.

Процесс сушки является основной и определяющей стадией многих технологических процессов в различных отраслях промышленности, который в значительной степени формирует теплоэнергетические показатели производства и качество готового продукта.

Ресурсосбережение, наряду с повышением интенсивности влагоотдачи является как важнейшей задачей при разработке новой технологии сушки и конструкций сушилок, а также при совершенствовании существующих.

Одним из перспективных направлений создания новой сушильной техники, обеспечивающей, наряду с получением продукта заданного качества, экономное энергопотребление и эффективное улавливание продуктов уноса, является разработка и внедрение в промышленность высокоинтенсивных аппаратов с закрученными потоками теплоносителя.

Таким образом, диссертационная работа Журавлева Алексея Владимировича

методы ресурсосбережения в машинных технологиях сушки в аппаратах с закрученным потоком теплоносителя, созданы высокоэффективные, экологически безопасные способы производства высушенных продуктов с соответствующим аппаратным оформлением на основе анализа гидродинамических и кинетических закономерностей, математического моделирования и системного проектирования, обеспечивающих экономию материальных и энергетических ресурсов при высоком качестве готового продукта.

Научная новизна работы. Автором разработана совокупность научных положений, благодаря системному концептуальному подходу к проблеме создания высокоэффективных ресурсосберегающих машинных технологий сушки дисперсных продуктов в закрученном потоке теплоносителя, нацеленных на интенсификацию процессов, сбережение и рациональное использование материальных ресурсов, что достигается применением математического и натурного моделирования, оптимизацией параметров перспективных конструкций сушильных установок.

Выявлено влияние влажности и температуры на физико-механические, структурно-сорбционные, теплофизические и электрофизические свойства семян расторопши, амаранта, рапса, гречихи, дробины послеспиртовой зерновой барды, а также предложены аналитические уравнения, адекватно описывающие полученные экспериментальные данные.

Установлены основные зависимости гидродинамики взвешенно-закрученного слоя. Выявлены механизм и основные закономерности кинетики сушки семян расторопши, амаранта, рапса, гречихи и дробины послеспиртовой зерновой барды в закрученном потоке теплоносителя.

Разработаны и экспериментально апробированы:

– математическая модель динамического изменения полей температуры и влагосодержания в условиях сопряженного тепломассообмена в процессе сушки семян амаранта во взвешенно-закрученном слое, позволяющая осуществлять оценку скорости движения теплоносителя в цилиндрической области сушильного аппарата;

– математическая модель процесса сушки семян рапса в аппарате с закрученным потоком теплоносителя и СВЧ-энергоподводом, позволяющая проводить вычислительные эксперименты по определению нестационарных полей влагосодержания, температуры и давления с целью установления их структуры и взаимовлияния;

– математическая модель распределения полей скоростей теплоносителя и продукта (гречихи) в цилиндрической сушильной камере, позволяющая вычислить коэффициенты тепло- и массоотдачи от поверхности частицы к

теплоносителю;

– математическая модель процесса сушки дробины послеспиртовой зерновой барды в аппарате с закрученным потоком теплоносителя в безразмерном критериальном виде, позволяющая осуществлять инженерные расчеты по прогнозированию параметров кинетики сушки.

Разработаны конечно-разностные схемы для численного интегрирования уравнений диффузионно-фильтрационной модели А.В. Лыкова с сопряженными граничными условиями, с помощью которых получены динамические распределения полей температуры, влагосодержания и давления, позволяющие определить влияние их структуры на кинетику процессов переноса при сушке в закрученном потоке теплоносителя с СВЧ-энергоподводом.

Разработаны программно-логические алгоритмы функционирования систем управления технологическими параметрами процесса сушки в аппаратах с закрученными потоками теплоносителя с использованием микропроцессорной техники, применение которых позволяет обеспечить ресурсосбережение при сохранении высокого качества готовой продукции.

Практическая значимость и реализация результатов работы. Автором проведены комплексные теоретические и экспериментальные исследования, в лабораторных и производственных условиях. На базе принципов системного анализа разработаны методологические подходы к созданию высокоэффективных способов сушки и реализовано соответствующее аппаратное оформление (пат. РФ № 2263262, 2272230, 2301386, 2338981, 2362102, 2480693). Развита концептуальная положения по ресурсосбережению, которые апробированы в обоснованных конструкциях аппаратов и способах (пат. РФ № 2290583, 2335717, 2340853, 2547345).

Определены и обоснованы рациональные технологические режимы процесса сушки семян амаранта, рапса, расторопши, гречихи и дробины послеспиртовой зерновой барды в закрученном потоке теплоносителя, а также с применением СВЧ-энергоподвода.

Разработана программа для ЭВМ (свидетельство Роспатента о государственной регистрации № 2015615868) и программно-логические алгоритмы (патенты РФ № 2290583, 2547345, 2239138) функционирования систем, позволяющие обеспечить многоканальное многоуровневое управление и получать готовый продукт высокого качества за счет оптимизации технологических параметров процесса сушки дисперсного материала в закрученном потоке теплоносителя.

Разработаны оригинальные способы автоматического управления процессами сушки: способ автоматического управления процессом сушки дисперсных материалов в вихревом режиме (патент РФ № 2335717), способ автоматического управления процессом сушки полидисперсных материалов во взвешенно-

закрученном слое (патент РФ № 2340853), способ автоматического управления процессом сушки дисперсных материалов в закрученном потоке теплоносителя с СВЧ-энергоподводом (патент РФ № 2547345), способ автоматического управления процессом сушки дисперсных материалов с рециркуляцией теплоносителя в аппаратах с активной гидродинамикой (патент РФ № 2350866). Выполнены расчеты и разработана конструкторская документация на сушилки со взвешенно-закрученным слоем ВСЖ-300, ВСЖ-1000 (патент РФ № 2338981).

Разработаны ресурсосберегающие машинные технологии комплексной переработки объектов исследования: технологическая линия белково-витаминного кормопродукта из послеспиртовой зерновой барды (патент РФ № 2307155), способ безотходной переработки семян амаранта и технологическая линия для его осуществления (патент РФ № 2426773), технологическая линия безотходной переработки семян рапса (патент РФ № 2494141); проведено их системное проектирование.

Проданы лицензии (договоры № РД 0065317 от 03.06.2010 г., № РД 0076125 от 04.02.2011 г., № РД 0068245 от 10.08.2010 г., № РД 0119399 от 21.02.2013 г., Л.Д. № 27/10 «НОУ-ХАУ» от 20.08.2010 г.) на право использования интеллектуальной собственности предприятиями ООО «Авангард», ООО «Тигровый орех», ООО «Кормопродукт», ООО «Энергия Природы», ООО «Техинмаш» по патентам РФ на изобретения № 2312280, 2327095, 2338981, 2425311.

Материалы диссертации используются в учебном процессе в соответствующих лекционных курсах, при проведении лабораторных и практических занятий, курсовом и дипломном проектировании.

Достоверность полученных результатов, основных выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации. Представленные в диссертационной работе результаты экспериментальных исследований и теоретические положения научно обоснованы и являются новыми. Аналитические выводы и результаты математического моделирования соответствуют фундаментальным законам, проверены на адекватность и коррелируют с полученными экспериментальными данными. В диссертации приводятся значения погрешностей измерений показателей качества продукции, полученной по предлагаемым технологиям, подтверждающие корректность научных изысканий. В работе отсутствуют взаимно противоречащие положения и выводы.

Результаты исследований апробированы в производственных условиях. С учетом изложенного, можно резюмировать, что работа обладает теоретической и практической новизной, а результаты и основные выводы следует считать достоверными и обоснованными.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, восьми глав,

основных выводов и результатов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 345 страницах машинописного текста, содержит 298 рисунков и 55 таблиц. Список литературы включает 252 наименования, в том числе 36 на иностранных языках. Приложения к диссертации представлены на 133 страницах.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, обозначены проблемные задачи, возникающие в процессе сушки дисперсных материалов, охарактеризованы решаемые в работе вопросы, сформулированы научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

В первой главе приводятся устойчивые тренды, проведен анализ развития приоритетных тенденций ресурсосбережения в машинных технологиях сушки дисперсных продуктов, рассмотрены основные возможности совершенствования и интенсификации процесса сушки и создания высокоэффективного сушильного оборудования. На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе приведены методики исследований и результаты комплексной оценки объектов сушки.

В третьей главе представлены результаты исследований гидродинамики и кинетики сушки дробины послеспиртовой зерновой барды в закрученном потоке теплоносителя с использованием математических методов планирования эксперимента.

Исследована гидродинамика взвешенно-закрученного слоя дробины послеспиртовой зерновой.

Определены рациональные технологические параметры ресурсосберегающего процесса сушки.

Разработана математическая модель процесса сушки дробины послеспиртовой зерновой барды в аппарате с закрученным потоком теплоносителя, представленная в безразмерном критериальном виде, и создано программное обеспечение, позволяющее проводить численный расчет тепло- и массообменных полей. Приведена сравнительная оценка качества дробины послеспиртовой зерновой барды.

В четвертой главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса сушки семян амаранта в аппарате со взвешенно-закрученным слоем.

В результате исследований гидродинамики были установлены скорости, перепады давления, удельная нагрузка семян, позволяющие осуществить формирование интенсивного взвешенно-закрученного слоя в сушильном аппарате.

Изучено влияние температуры теплоносителя, соотношения осевого и общего расходов теплоносителя, угла отклонения закручивающего потока теплоносителя от тангенциального направления в вертикальной плоскости, угла отклонения

закручивающего потока теплоносителя от тангенциального направления в горизонтальной плоскости на кинетику процесса сушки семян амаранта.

Установлено, что изменение вышеназванных углов отклонения приводит к значительному изменению гидродинамической обстановки в сушильной камере, оказывает существенное влияние на высоту взвешенно-закрученного слоя.

В результате проведения многофакторных экспериментов, статистического анализа процесса сушки семян амаранта получены уравнения регрессии, адекватно описывающие изменение параметров процесса сушки под влиянием исследуемых факторов, а так же инженерные номограммы для определения режимных параметров процесса.

Предложена экспериментально апробированная математическая модель динамического изменения полей температуры и влагосодержания в условиях сопряженного тепломассообмена в процессе сушки семян амаранта во взвешенно-закрученном слое, позволяющая проводить оценку скорости движения теплоносителя в цилиндрической области сушильного аппарата.

Приведены результаты качественной оценки амарантового масла, полученного из семян, высушенных на экспериментальной установке.

В пятой главе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований кинетики процесса сушки семян рапса в СВЧ-аппарате с закрученным потоком теплоносителя.

Исследовано влияние основных факторов на кинетику процесса сушки. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены рациональные режимы процесса сушки семян рапса.

Разработана математическая модель сушки сферической частицы рапса в СВЧ-аппарате с закрученным потоком теплоносителя, позволяющая определить нестационарные поля влагосодержания, температуры, давления и механизмы их взаимовлияния. Проведена качественная оценка семян рапса.

В шестой главе глубоко изучены кинетические закономерности процесса сушки семян расторопши в вихревой камере с СВЧ-энергоподводом с использованием математических методов планирования эксперимента.

Разработан способ сушки семян расторопши с использованием вихревой СВЧ-камеры (Патент РФ № 2425311).

Предложено математическое описание процесса движения дисперсного продукта в кольцевом канале вихревой камеры, устанавливающее связь между высотой кольцевого канала и минимальным расходом теплоносителя и определяющее момент уноса частицы из камеры после высушивания ее в электромагнитном поле СВЧ.

Построены инженерные номограммы, а также поставлена и решена задача оптимизации. Установлены рациональные параметры процесса сушки.

Проведен сравнительный анализ качественных показателей семян расторопши, высушенных на экспериментальной установке конвективным способом, а также в сочетании с СВЧ-энергоподводом.

В седьмой главе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса сушки семян гречихи в аппарате с закрученным потоком теплоносителя.

Поставлена и решена задача моделирования распределения полей скоростей теплоносителя и твердой частицы в цилиндроконической сушильной камере, тепло- и массообмена в процессе сушки с закрученным потоком теплоносителя.

С использованием центрального композиционного равномер-ротатабельного планирования исследована кинетика процесса сушки гречихи и определены рациональные режимы процесса.

Установлено, влияние температуры теплоносителя, расхода тангенциально подводимого потока теплоносителя и соотношения диаметров конической части корпуса на кинетику процесса сушки семян гречихи в аппарате с закрученным потоком теплоносителя.

В восьмой главе разработаны: технологическая линия производства белково-витаминного кормопродукта из послеспиртовой зерновой барды, способ безотходной переработки семян амаранта и технологическая линия для его осуществления, технологическая линия переработки семян гречихи, технологическая линия безотходной переработки семян рапса.

Разработаны высокоэффективные сушильные установки с закрученными потоками теплоносителя, способы их автоматического управления и программно-логические алгоритмы функционирования систем управления технологическими параметрами процесса сушки в аппаратах с закрученными потоками теплоносителя.

Проведен эксрегетический анализ процесса сушки в вихревой камере с СВЧ-энергоподводом.

Предложен системный концептуальный подход к созданию ресурсосберегающих машинных технологий сушки дисперсных продуктов в закрученном потоке теплоносителя, направленных на интенсификацию, сбережение и рациональное использование материальных и энергетических ресурсов.

Выводы отражают основные результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

В приложении приведены материалы, подтверждающие практическое внедрение результатов работы.

Публикации. По материалам работы опубликовано 120 работ, в том числе 4 монографии, 35 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, получен 21 патент РФ на изобретения и 1 свидетельство Роспатента о регистрации программ для ЭВМ.

Соответствие автореферата основным положениям. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и оформлен в соответствии с требованиями ВАК.

Степень завершенности. Диссертационная работа Журавлева А.В. представляет собой завершенное обширное научное исследование. Она обладает системностью, глубиной, логическим единством, все ее элементы служат достижению поставленной цели.

Замечания по диссертации

1. Оценивались ли энергетические затраты предлагаемых способов сушки по сравнению с существующими?
2. Что является критерием оптимизации процесса движения частиц по каналу по его ширине в математической модели (глава 6)?
3. Выходя за рамки системности не рассмотрены вопросы утилизации теплоты отработанного сушильного агента и экологической безопасности, связанной с уменьшением выбросов в атмосферу. По крайней мере, этот вопрос должен быть хотя бы обозначен.
4. При обработке экспериментальных данных по кинетике процессов сушки следовало бы, по нашему мнению, для получения обобщенных показателей и уравнений подобия, использовать соответствующие эффективные методы теории подобия либо анализа размерностей, что сделало бы работу еще более практичной.
5. Учитывая оригинальность машинно-аппаратурных схем для реализации предлагаемых машинных технологий, следовало бы уточнить каковы капитальные затраты на изготовление комплекта технологических линий, монтаж и наладку основного и дополнительного оборудования? Как это отразится на себестоимости конечного продукта?
6. По тексту диссертации имеются незначительные орфографические и синтаксические опiski.
7. В тексте автореферата содержатся отдельные недостаточно четкие формулировки.

В целом, приведенные замечания носят рекомендательный характер в формате предложений и поэтому не влияют на общую положительную и высокую оценку работы. Текст диссертации в целом вполне логичен и легко читаем, характеризуется хорошим структурированием и системностью.

Заключение

Диссертационная работа Журавлева Алексея Владимировича на тему «Научное обеспечение и разработка ресурсосберегающих машинных технологий сушки дисперсных продуктов в закрученном потоке теплоносителя (теория, техника,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский
университет информационных технологий, механики и оптики»

197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49

Адрес сайта: www.ifmo.ru

«06» июня 2016 г.

Контакты официального оппонента:

E-mail: pelenko@mail.ifmo.ru

тел. 8(812)3155234, моб. тел. +79291016413