

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования (ФГБНУ «ВНИИТеК»),
чл.-корр. РАН, д.т.н.

А.Н. Петров

« 31 » _____ 2016 г.

О Т З Ы В

Ведущей организации – Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования» (ФГБНУ «ВНИИТеК») на диссертационную работу **ЖУРАВЛЕВА Алексея Владимировича** на тему: «*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

Одним из основных направлений технического прогресса во всех отраслях промышленности является совершенствование технологических процессов путем повышения их эффективности.

Пищевая и перерабатывающая промышленность является системообразующей сферой экономики страны, формирующей агропродовольственный рынок, продовольственную и экономическую безопасность. Продовольственная безопасность является составной частью национальной безопасности страны. В России, как и в большинстве стран мира, обеспечение безопасности является важным направлением государственной политики, законотворческой деятельности, научных исследований.

Значительное увеличение объёмов и темпа производства высококачественных экономически конкурентоспособных пищевых продуктов непосредственно зависит в том числе и от создания ресурсосберегающих процессов сушки, от разработки научно обоснованных методик проектирования оборудования для реализации машинных технологий, от дальнейшего развития теоретических основ процессов тепло- и массообмена. Таким образом, решение вопросов ресурсосбережения в процессах сушки является актуальной проблемой, имеющей важное теоретическое и стратегическое прикладное значение.

Диссертационная работа Журавлева Алексея Владимировича представляет собой обширное исследование, направленное на решение важной проблемы, актуальность которой не вызывает сомнения.

Достоверность полученных результатов, основных выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации

Содержащиеся в работе научные подходы, положения и выводы основаны на фунда-

ментальных научных положениях и теориях. Они базируются на общепринятых теоретических закономерностях, опираются на полученные соискателем экспериментальные данные и являются как логическим обоснованием путей их получения, так и следствием. Используемые соискателем методики экспериментальных исследований, методы и средства проведения измерений, контроля, а также статистически достаточное количество повторностей измерений не дают оснований для сомнения в их достоверности.

В работе отсутствуют взаимно противоречащие положения и выводы.

Полученные в диссертационной работе результаты экспериментальных исследований научно обоснованы и являются новыми. Автор подтвердил достоверность предложенных математических моделей проверкой на адекватность. Соискатель разработал ряд новых технических решений, защищенных патентами РФ.

Исходя из этого научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы следует считать обоснованными и достоверными.

Научная новизна работы

Разработана совокупность научных положений, представляющих системный концептуальный подход к созданию высокоэффективных ресурсосберегающих машинных технологий сушки дисперсных продуктов в закрученном потоке теплоносителя, направленных на интенсификацию, сбережение и рациональное использование материальных ресурсов, что достигается моделированием и оптимизацией перспективных конструкций сушильных установок.

Выявлено влияние влажности и температуры на физико-механические, структурно-сорбционные, теплофизические и электрофизические свойства семян рапса, гречихи, дробины послеспиртовой зерновой барды. Предложены математические уравнения, адекватно описывающие полученные экспериментальные зависимости.

Установлены основные зависимости гидродинамики взвешенно-закрученного слоя. Выявлены механизм и основные закономерности кинетики сушки семян рапса, гречихи и дробины послеспиртовой зерновой барды в закрученном потоке теплоносителя, нестационарность полей температуры и влагосодержания частиц продукта; определены численные значения и диапазон изменения основных кинетических характеристик; по результатам планирования экспериментов и статистической обработки экспериментальных данных установлено влияние различных факторов на кинетику процесса сушки, проведена теоретическая оптимизация сушильных установок и выявлены рациональные интервалы изменения параметров процесса.

Разработаны и экспериментально апробированы:

– математическая модель динамического изменения полей температуры и влагосодержания в условиях сопряженного теплообмена в процессе сушки семян амаранта во взвешенно-закрученном слое;

– математическая модель процесса сушки семян рапса в аппарате с закрученным потоком теплоносителя и СВЧ-энергоподводом;

– математическая модель распределения полей скоростей теплоносителя и гречихи в цилиндрической сушильной камере;

– математическая модель процесса сушки дробины послеспиртовой зерновой барды в аппарате с закрученным потоком теплоносителя в безразмерном критериальном виде.

Разработано математическое описание процесса движения дисперсного продукта в кольцевом канале вихревой камеры, устанавливающее связь между высотой кольцевого ка-

нала и минимальным расходом теплоносителя и определяющее момент уноса частицы из камеры после высушивания ее в электромагнитном поле СВЧ.

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 явлений переноса в процессах сушки 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.

Практическая значимость и реализация результатов работы

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. Разработан комплекс экспериментальных стендов, действующих макетов, приборов и методик для исследования процессов интенсивного обезвоживания дисперсных продуктов в закрученном потоке теплоносителя.

Разработана программа для ЭВМ (свидетельство Роспатента о гос. регистрации №2015615868) и программно-логические алгоритмы (патент РФ №№ 2290583, 2547345 и 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.

С целью повышения эффективности процесса сушки и обеспечения ресурсосбережения разработаны: 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).

Проведён экзегетический анализ процесса сушки в закрученном потоке, свидетельствующий о термодинамическом совершенстве разработанных способов производства. 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.

Реализованы 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 и 2425311.

Полученные результаты используются в учебном процессе в качестве материалов курсового и дипломного проектирования.

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 охарактеризовано современное состояние процессов сушки пищевых дисперсных продуктов, обоснована актуальность темы диссертационной работы, научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

В первой главе систематизирована информация о современном состоянии техники сушки дисперсных продуктов, способах и аппаратах для проведения процесса сушки с использованием закрученных потоков теплоносителя, гидродинамике аппаратов с закрученными потоками теплоносителя; рассмотрены основные возможности совершенствования и интенсификации процесса сушки и создания высокоэффективного сушильного оборудования; рассмотрено взаимодействие микроволновых электромагнитных полей с пищевыми продуктами. На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе представлены основные свойства семян амаранта, рапса, расторопши, гречихи и дробины послеспиртовой зерновой барды как объектов сушки. Исследованы физико-механические, теплофизические, электрофизические свойства. Рассмотрены результаты исследования форм связи влаги методом дифференциально-термического и термогравиметрического анализа.

В третьей главе представлены результаты исследований гидродинамики и кинетики сушки дробины послеспиртовой зерновой барды в закрученном потоке теплоносителя.

В результате исследований были определены рациональные режимы процесса сушки дробины послеспиртовой зерновой барды в закрученном потоке теплоносителя.

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 провести численный расчет тепло- и массообменных полей.

Приведено комплексное исследование качества дробины послеспиртовой зерновой барды, высушенной во взвешенно-закрученном слое. Объект исследовали по органолептическим, физико-химическим показателям, по составу аминокислот и показателям токсичности.

В четвертой главе приведены результаты исследований гидродинамических и кинетических закономерностей процесса сушки семян амаранта во взвешенно-закрученном слое.

В результате исследований гидродинамики взвешенно-закрученного слоя семян амаранта были установлены скорости, перепады давления, удельная нагрузка семян, позволяющие реализовать интенсивный взвешенно-закрученный слой в сушильном аппарате.

Изучено влияние температуры теплоносителя, соотношения осевого и общего расходов теплоносителя, угла отклонения закручивающего потока теплоносителя от тангенциального положения в вертикальной плоскости, угла отклонения закручивающего потока теплоносителя от тангенциального положения в горизонтальной плоскости на кинетику сушки семян амаранта.

В результате многофакторного статистического анализа процесса сушки семян амаранта получены уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс сушки под влиянием исследуемых факторов и инженерные номограммы для определения режимных параметров процесса, решена оптимизационная задача.

Разработана и экспериментально апробирована математическая модель динамического изменения полей температуры и влагосодержания в условиях сопряженного теплообмена 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. Полученные результаты подтверждают сохранение и улучшение качественных показателей амарантового масла на уровне, соответствующем действующему технологическому регламенту.

Пятая глава посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям кинетики процесса сушки семян рапса в СВЧ-поле в аппарате с закрученным потоком теплоносителя.

Исследовано влияние основных факторов на кинетику сушки. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, по которым построены инженерные номограммы, а также поставлена и решена задача оптимизации.

Разработана 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.

Проведена комплексная оценка качества семян рапса. Установлено, что СВЧ-сушка в аппарате с закрученным потоком теплоносителя обеспечивает снижение кислотного и перекисного чисел рапсового масла, не влияет на суммарный состав аминокислот, а содержание витамина Е в семенах рапса, высушенных по предлагаемой технологии, несколько выше, что обеспечивает повышение антиоксидантной активности.

В шестой главе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса сушки семян рапса в вихревой камере с СВЧ-энергоподводом.

Предложена математическая модель процесса движения дисперсного продукта в кольцевом канале вихревой камеры, устанавливающая связь между высотой кольцевого канала и минимальным расходом теплоносителя и определяющая момент уноса частицы из камеры после высушивания ее в поле СВЧ.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс СВЧ-сушки семян рапса в вихревой камере под влиянием исследуемых факторов. По регрессионным моделям построены инженерные номограммы, а также поставлена и решена задача оптимизации. Установлены рациональные параметры процесса.

Проведен сравнительный анализ качественных показателей семян рапса, высушенных на экспериментальной установке конвективным способом, а также в сочетании с

СВЧ-энергоподводом. Установлено, что семена соответствуют установленным требованиям, а кислотное и перекисное числа масла расторопши улучшили свои показатели.

В седьмой главе приведены исследования процесса сушки семян гречихи в аппарате с закрученным потоком теплоносителя.

Разработана математическая модель распределения полей скоростей теплоносителя и гречихи в цилиндроконической сушильной камере, позволяющая вычислить коэффициенты тепло- и массоотдачи от поверхности частицы к теплоносителю. С полученной математической моделью проведены вычислительные эксперименты. Разработанная математическая модель и программное обеспечение позволяют анализировать влияние различных параметров на процесс сушки.

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

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены рациональные режимы процесса.

В восьмой главе приведены разработанные ресурсосберегающие машинные технологии комплексной переработки объектов исследования: технологическая линия белково-витаминного кормопродукта из послеспиртовой зерновой барды, способ безотходной переработки семян амаранта и технологическая линия для его осуществления, технологическая линия безотходной переработки семян рапса; проведено их системное проектирование.

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 с использованием микропроцессорной техники. Представлены результаты экзегетического анализа процесса сушки в вихревой камере с СВЧ-энергоподводом.

Приведен новый системный концептуальный подход к созданию ресурсосберегающих машинных технологий сушки дисперсных продуктов в закрученном потоке теплоносителя в рамках реализации поставленной цели и задач работы.

Выводы отражают основные результаты диссертационной работы.

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.

Замечания к диссертации

1. Автору следовало бы также рассмотреть в диссертации некоторые моменты, касающиеся улавливания мелкодисперсных частиц продукта, уносимых отработанным сушильным агентом, так как установки с вихревым движением материала и теплоносителя являются

мощными пылегенераторами.

2. При использовании уравнений, полученных с помощью регрессионного анализа, могут возникнуть сложности из-за размерности численных коэффициентов. Более правильным было бы выразить уравнения в безразмерном виде.

3. Каким образом установлены ограничения на температурный режим процесса сушки объектов исследований, обеспечивающий сохранность качества готовой продукции?

4. В работе следовало бы привести рекомендации по практическому использованию разработанных программ для ЭВМ.

5. В работе встречаются стилистические неточности и опечатки.

Приведённые замечания ни в коей мере не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, выполненной на высоком научном уровне.

Заключение

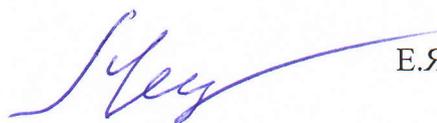
Диссертационная работа Журавлева Алексея Владимировича «Научное обеспечение и разработка ресурсосберегающих машинных технологий сушки дисперсных продуктов в замкнутом потоке теплоносителя (теория, техника, управление)» представляет собой самостоятельное и завершённое научное исследование, обладает внутренним единством, является научной квалификационной работой и свидетельствует о личном вкладе автора в науку, а также содержит научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых внесет существенный вклад в развитие теории и практики процессов сушки пищевого растительного сырья. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств».

Работа актуальна, результаты убедительны, выводы отражают полученные научные достижения.

Диссертационная работа имеет существенное значение для пищевой промышленности и соответствует требованиям п. 9-10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям. Автор диссертационной работы заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств».

Отзыв рассмотрен и утверждён на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования» (ФГБНУ «ВНИИТеК») (протокол №6 от 31 мая 2016 г).

Учёный секретарь
д.с.-х.н.


Е.Я. Мегердичев

Адрес: 142703, Московская область, Ленинский район, г. Видное,
ул. Школьная, д. 78.
E-mail: vniitek@vniitek.ru
тел. (495) 541-08-92