О Т З Ы В

официального оппонента, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет» Алексаняна Игоря Юрьевича 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. В диссертационной работе Журавлевым А.В. выполнены комплексные теоретические, экспериментальные и производственные исследования ресурсосберегающих процессов, направленных на создание высокоэффективных, экологически безопасных машинных технологий с соответствующим аппаратурным оформлением на основе анализа основных гидродинамических, кинетических, тепломассообменных закономерностей, математического моделирования и системного проектирования.

Важность научных исследований, представленных в диссертации, состоит в научном обеспечении и разработке концептуального подхода в создании ресурсосберегающих машинных технологий сушки дисперсных продуктов в закрученном потоке теплоносителя.

Значимость представленной работы подтверждается тем, что она выполнялась в соответствии с планом НИР кафедры машин и аппаратов пищевых производств ВГУИТ на 2011-2015 гг. «Адаптация пищевых машинных технологий к тепло- и массообменным процессам на основе диагностики техники и технологии пищевых производств»; государственного задания 2014/22; ОЦП Воронежской области «Развитие инновационной деятельности в промышленности Воронежской области на 2005-2008 гг.» государственный контракт № 23 «Исследование и разработка инновационной технологии переработки и утилизации основных отходов спиртового производства»; ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. государственный контракт № П2608 «Разработка ресурсосберегающей техники и технологии сушки сельскохозяйственных дисперсных продуктов во взвешенно-закрученном потоке теплоносителя» и государственный контракт № П459 «Разработка ресурсосберегающих технологий комплексной переработки сельскохозяйственного сырья»; приоритетного направления развития НОЦ ВГУИТ «Энергоресурс» «Разработка энергосберегающих технологий и оборудования пищевой и химической промышленности»; Стратегической программы исследований технологиче-

ской платформы «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания» на 2014-2020 гг. «Разработка энергосберегающего оборудования пищевых и перерабатывающих производств АПК».

Вне всякого сомнения, диссертационная работа Журавлева Алексея Владимировича, направленная на создание ресурсосберегающих машинных технологий сушки в аппаратах с закрученным потоком теплоносителя, актуальна, а полученные автором результаты свидетельствуют о достижении научной цели работы и решении рассматриваемой научной проблемы.

Достоверность полученных результатов, основных выводов и рекомендаций, изложенных в диссертации. Содержащиеся в работе научные подходы, положения и выводы основаны на фундаментальных научных положениях и теориях. Они базируются на общепринятых теоретических закономерностях, опираются на полученные соискателем экспериментальные данные и являются логическим обоснованием путей их получения и следствием. Использованные соискателем методики экспериментальных исследований, методы и средства проведения измерений, контроля, а также достаточная повторность замеров 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. Автором сформулирован концептуальный подход развития научно-теоретических основ ресурсосбережения в машинных технологиях сушки в аппаратах с закрученным потоком теплоносителя и разработки высокоэффективных сушилок, способов производства и управления технологическими системами, обеспечивающих повышение качества готового продукта.

С использованием существующих экспериментальных методов проведена системная оценка объектов сушки; исследовано 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 математические уравнения, адекватно описывающие полученные экспериментальные зависимости.

Применена теория эксергетического подхода к термодинамическому ана-

лизу процесса сушки в закрученном потоке теплоносителя.

Разработаны программно-логические алгоритмы оптимального управления технологическими параметрами, направленные на интенсификацию, сбережение и рациональное использование материальных и энергетических ресурсов, что достигается моделированием и оптимизацией перспективных конструкций сушильных установок.

Автором разработаны и решены математические модели процесса сушки семян амаранта, рапса, расторопши, гречихи и дробины послеспиртовой зерновой барды при различных комбинациях закрученного потока, а также с применением СВЧ-энергоподвода.

Экспериментально-статистическими методами определены рациональные интервалы изменения параметров процесса.

Практическая значимость и реализация результатов работы. Комплексные теоретические и экспериментальные исследования, результаты математического моделирования, а также анализ работы сушильного оборудования позволили разработать методологические подходы к созданию высокоэффективных способов сушки с соответствующим аппаратурным оформлением (пат. РФ № 2263262, 2272230, 2301386, 2338981, 2362102, 2480693). Развиты положения по ресурсосбережению, которые реализованы в разработанных аппаратах 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. Разработан комплекс экспериментальных стендов, действующих макетов, приборов и методик для исследования процессов интенсивного обезвоживания дисперсных продуктов в закрученном потоке теплоносителя.

Выполнены расчеты и разработана конструкторская документация на сушилки со взвешенно-закрученным слоем ВСЖ-300, ВСЖ-1000 (пат. РФ № 2338981), которые можно рекомендовать к внедрению на предприятиях, в конструкторских бюро и отраслевых научно-исследовательских институтах, на заводах продовольственного машиностроения.

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 при чтении лекций, проведении лабораторных и практических занятий.

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 систематизированы литературные данные о современном состоянии техники сушки дисперсных материалов, способах и аппаратах сушки дисперсных материалов в закрученном потоке теплоносителя; рассмотрены основные возможности совершенствования и интенсификации процесса сушки и создания высокоэффективного сушильного оборудования; уделено внимание гидродинамике и тепло- и массообмену при сушке влажных дисперсных продуктов в аппаратах с закрученным потоком теплоносителя; 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. Рассматриваются результаты процесса термолиза методом дифференциально-термического анализа и интервалы температурных зон испарения влаги с различной формой и энергией связи влаги с материалом.

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

Приводятся исследования гидродинамики взвешенно-закрученного слоя дробины послеспиртовой зерновой барды на экспериментальной установке в различных коническо-цилиндрических камерах с углом при вершине конуса 15°, 20°, 25°, 30°, 35°. Изучено поведение продукта в аппарате под воздействием осевого и тангенциального потоков воздуха, имеющего температуру 293 К, в диапазоне скоростей воздуха от 0 до 16 м/с, как по отдельности так и в комбинации.

На основании экспериментальных данных получены уравнения регрессии, с помощью которых было изучено влияние различных факторов на кинетику процесса и построены инженерные номограммы для определения режимных параметров процесса сушки. Также по регрессионным уравнениям поставлена и решена задача оптимизации, основанная на методе неопределенных множителей Лагранжа. В результате были определены оптимальные режимы процесса конвективной сушки дробины послеспиртовой зерновой барды.

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. Сравнение экспериментальных данных с результатами математического расчета процесса сушки показали хорошую сходимость отклонение составляло не более 13,8 %, что позволило сделать вывод об адекватности, полученной математической модели.

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

В четвертой главе приведены результаты исследований гидродинамических и кинетических закономерностей процесса сушки семян амаранта во взвешенно-закрученном слое с использованием математических методов планирования эксперимента.

Исследование гидродинамики взвешенно-закрученного слоя семян амаранта проводилось на экспериментальной установке в цилиндроконической камере с углом при вершине конуса 25°. Исследовался переход слоя семян амаранта относительной влажностью 12…25 % во взвешенно-закрученное состояние под действием осевого и закручивающего потоков теплоносителя (при соотношении расходов осевого и общего потока воздуха X=0…1), имеющего температуру 293 К, при удельной нагрузке семян амаранта на газораспределительную решетку s=106…177 кг/м^2. В результате исследований были установлены скорости, перепады давления, удельная нагрузка семян, позволяющие осуществить интенсивный взвешенно-закрученный слой в сушильном аппарате.

Исследование кинетики процесса проводилось в рамках центрального композиционного униформ-ротатабельного планирования, выбран полный факторный эксперимент типа 2^4. 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.

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

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 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 при температуре теплоносителя 363 К. Полученные результаты подтверждают сохранение и улучшение качественных показателей амарантового масла на уровне, соответствующем действующему технологическому регламенту.

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

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.

Для определения нестационарных полей влагосодержания, температуры и давления с целью установления их структуры и взаимовлияния в процессе сушки сферической частицы рапса в СВЧ-аппарате с закрученным потоком теплоносителя разработана математическая модель. Модель решена численно с помощью конечно-разностного метода. Решение позволяет производить инженерные расчеты по прогнозированию кинетики сушки сферической частицы в СВЧ-аппаратах с закрученными потоками теплоносителя. В целях установления влияния основных параметров модели проведены вычислительные эксперименты с семенами рапса. Определены нестационарные поля влагосодержания, темпера-

туры, давления и механизмы их взаимовлияния. Сравнение полученных результатов машинного эксперимента с экспериментальными данными свидетельствует о достаточной сходимости: отклонение не превышает 7,7 %.

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 приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса сушки семян расторопши в вихревой камере с СВЧ-энергоподводом с использованием математических методов планирования эксперимента.

Разработано 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.

С использованием центрального композиционного униформ-ротатабельного планирования эксперимента исследована кинетика процесса сушки семян расторопши.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс СВЧ-сушки семян расторопши 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 расторопши, 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 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 массобмена в процессе сушки с закрученным потоком теплоносителя. Уравнения модели решены численно с применением ЭВМ. С полученной ма-

тематической моделью проведены вычислительные эксперименты. Разработанная математическая модель и программное обеспечение позволяют анализировать влияние различных параметров на процесс сушки.

Для исследования кинетики сушки гречихи было применено центральное композиционное униформ-ротатабельное планирование с полным факторным экспериментом.

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 уравнения регрессии. По ним построены инженерные номограммы определения режимных параметров процесса, а также поставлена и решена задача оптимизации. Получены рациональные режимы процесса.

В восьмой главе на основании комплекса данных проведенных теоретических и экспериментальных исследований, анализа и синтеза моделей проведено системное проектирование ресурсосберегающих машинных технологий комплексной переработки объектов исследования и 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 с использованием микропроцессорной техники, обеспечивающие максимальную реализацию неиспользованных резервов ресурсосбережения. Выполнены расчеты и разработана конструкторская документация на сушилки со взвешено-закрученным слоем ВСЖ-300, ВСЖ-1000.

Приведены результаты эксрегетического 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, направленных на интенсификацию, сбережение и рациональное использование материальных и энергетических

ресурсов, что достигается проведением на единой методологической основе исследований 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. Во второй главе целесообразно было бы привести системно увязанную и обоснованную последовательность экспериментальных и математических методов исследований.

2. В третьей главе, кроме регрессионных уравнений зависимости целевой функции от влияющих факторов, хотелось бы увидеть обобщенные математические зависимости, описывающие кривые скорости сушки в зависимости от варьируемых факторов, которые можно использовать при математическом моделировании для упрощения и большей точности решения модели тепломассопереноса.

3. В работе, следовало бы уделить большее внимание классическому начальному этапу изучения процессов обезвоживания, изучению статики процесса сушки и термодинамическому анализу взаимодействия обезвоживаемых материалов и воды, анализу видов и энергии связи влаги в продукте в процессе сушки.

4. В работе целесообразно было бы провести исследования кинетики влагопоглощения, что позволило бы определить рациональные промежутки времени и внешние параметры для вспомогательных процессов перед упаковкой сухих продуктов.

5. В работе не рассмотрены вопросы очистки отработанного сушильного агента от мельчайших частиц продукта и пыли, так как их наличие ухудшает условия теплообмена, и экологическую безопасность оборудования.

6. В диссертации отсутствует информация о технико-экономических показателях разработанного автором сушильного оборудования, что не позволяет осуществить оценку полномасштабного внедрения в промышленность.

7. При обработке экспериментальных данных по кинетике сушки следовало бы, по моему мнению, для получения обобщенных переменных использовать методы теории подобия, в частности, метод анализа размерностей.

8. В диссертации не приведены меры безопасности, необходимые при эксплуатации установки.

Появление приведенных замечаний, вероятно, объясняется широким кругом вопросов, рассматриваемых автором. Некоторые замечания носят характер предложений по направлениям дальнейших исследований.

В целом замечания не снижают положительной оценки диссертационной работы.

Заключение

Выполненный анализ материалов, представленных на оппонирование, позволяет утверждать, что диссертация Журавлева Алексея Владимировича на тему «Научное обеспечение и разработка ресурсосберегающих машинных технологий сушки дисперсных продуктов в закрученном потоке теплоносителя (теория, техника, управление)» является законченной квалификационной работой.

По своей актуальности, методологическому подходу, научной новизне, объему выполненных исследований, теоретической и практической значимости, представленная диссертационная работа, полностью отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор Журавлев Алексей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств».

Официальный оппонент: доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой «Технологические машины и
оборудование» ФГБОУ ВПО «Астраханский
государственный технический университет» Алексанян И.Ю.

«___»_____ 2016 г.

Адрес: 414056, г. Астрахань,
ул. Татищева, д. 16.
Тел. рабочий: 8(8512)614191
E-mail: amxsl@yandex.ru

Подпись Алексанян И.Ю.
ЗАВЕРЯЮ
Начальник отдела кадров
ФГБОУ ВПО "АГТУ" Любиш Н М
_____ 201_г