

## **О Т З Ы В**

официального оппонента, профессора кафедры «Промышленной и коммунальной энергетики» Негосударственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский институт энергобезопасности и энергосбережения», доктора технических наук, профессора Плаксина Юрия Михайловича на диссертационную работу Феклуновой Юлии Сергеевны на тему: «Разработка и научное обоснование способа распылительной сушки пюре из тыквы при конвективно-радиационном энергоподводе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств»

### **Актуальность темы диссертации**

На сегодняшний день отмечается рост спроса на натуральную плодоовощную продукцию, обеспечивающую потребность в белках, углеводах, витаминах, минеральных веществах и других важнейших элементах пищи. Продукты промышленной переработки плодов, овощей, ягод и др. активно используются при производстве пищевых продуктов массового потребления, в том числе для повышения их пищевой и биологической ценности. Актуальность развития пищевой промышленности связана с решением проблем несбалансированности питания населения, недостатка функциональных продуктов питания, снижения себестоимости производства пищевых продуктов массового потребления.

В современных условиях развития АПК России большой интерес представляют нетрадиционные технологии переработки плодоовощного сырья, производство концентратов, сухих продуктов и т.п. Внедрение и эффективное функционирование данных технологий ограничено отсутствием надежных способов и аппаратов для сушки. Таким образом, актуальна задача поиска новых и рационализации существующих методов получения сухих дисперсных материалов при переработке плодоовощного сырья.

Среди объектов переработки особой популярностью и распространением пользуется тыква, ввиду богатого химического состава и масштабного выращивания в сельскохозяйственных регионах РФ. Доступность и относительно невысокая стоимость сырья обусловили широкое распространение продуктов переработки тыквы, в частности тыквенного порошка в рецептурах пищевых продуктов массового спроса.

Разработка эффективной промышленной технологии сушки пюре из тыквы при производстве качественного тыквенного порошка, создание эффективных конструкторских решений для сушки актуально и представляет практический интерес для внедрения на предприятиях различной мощности, специализирующихся на переработке плодоовощного сырья.

Значимость представленной работы подтверждается тем, что она выполнялась в соответствии с координационным планом Научно-исследовательской работы кафедры «Технологические машины и

оборудование» ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет».

### **Научная новизна работы**

Автором диссертационной работы получены уравнения зависимости гигроскопических, структурно-механических и теплофизических характеристик концентратов из тыквы от влажности и температуры. Установлены и математически описаны закономерности взаимодействия концентратов из тыквы с водой на основе термодинамического анализа процесса сорбции влаги.

В ходе исследований установлены кинетические закономерности процесса конвективно-радиационной распылительной сушки пюре из тыквы, получены математические зависимости удельной производительности, удельной влагонапряженности объема сушильной камеры и кривых скорости от влияющих факторов. Определены факторы, влияющие на удельную производительность, установлены диапазоны их варьирования с учетом технологических ограничений.

Проведен анализ тепломассообменных процессов и выявлены особенности механизма внутреннего тепломассопереноса при конвективно-радиационной распылительной сушке пюре из тыквы. Исследованы температурные поля в продукте при обезвоживании путем численной реализации математической модели тепломассопереноса при конвективно-радиационной распылительной сушке пюре из тыквы.

### **Общая характеристика работы**

Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов и заключения, списка литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 177 страницах машинописного текста, содержит 38 таблиц, 55 рисунков, список литературы из 235 наименований работ отечественных и зарубежных авторов. Приложения представлены на 28 страницах.

Структура работы соответствует требованиям ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Диссертация написана и оформлена достаточно грамотно.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, научная новизна и практическая ценность исследований.

**В первой главе** представлена общая характеристика плодоовощного сырья и сухих дисперсных продуктов, исследованы перспективы промышленной переработки и сушки плодоовощного сырья, обоснована актуальность производства и области использования тыквенного порошка. Проанализированы технологии переработки плодоовощного сырья, способы и конструкторские решения для производства сухих материалов из

плодоовощного сырья. Поставлена цель и сформулированы задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** представлены результаты изучения кинетики и механизма внутреннего тепломассопереноса при конвективно-радиационной распылительной сушке пюре из тыквы. Приводится анализ кривых сушки и скорости сушки, раскрывается механизм внутреннего тепломассопереноса. Представлены установленные уравнения скорости сушки.

**В третьей главе** представлены результаты исследований по разработке рационального режима для интенсификации тепломассообменных процессов при конвективно-радиационной распылительной сушке пюре из тыквы. Изложены результаты анализа влияния основных факторов на удельную производительность и удельную влагонапряженность рабочего объема сушильной камеры при конвективно-радиационной распылительной сушке пюре из тыквы. Реализована математическая постановка и решена задача совершенствования сушильного процесса. Разработаны рекомендации по организации сушильного процесса.

**В четвертой главе** изложены результаты исследований статистики процесса обезвоживания и комплекса свойств концентратов из тыквы. Проведены исследования кинетики влагопоглощения порошком тыквы. Для научного анализа кинетики и динамики тепломассообменных процессов, их моделирования и рационализации автором изучены и систематизированы теплофизические и гигроскопические характеристики концентратов из тыквы.

**В пятой главе** представлены результаты математического моделирования и расчета температур в высушиваемой частице при конвективно-радиационной сушке пюре из тыквы. Приведена математическая модель, описывающая внутренний теплоперенос при конвективно-радиационной распылительной сушке. На основе численного решения дифференциального уравнения теплопроводности с учетом кинетики влагоудаления рассчитаны поля распределения температур в высушиваемой частице и средние температуры по объему частицы. Подтверждена целесообразность внедрения разработанного режима сушки.

**В шестой главе** представлены рекомендации по практическому применению результатов научных и проектно-технических решений. Приведены результаты тестирования режимных параметров для конвективно-радиационной распылительной сушки пюре из тыквы. Предложены конструкции распылительных установок для сушки жидких и пастообразных продуктов, которые могут быть использованы при производстве сухих дисперсных растительных материалов.

Выводы отражают основные результаты работы.

Структура и содержание диссертации согласуются с приоритетными направлениями развития науки и техники в пищевой промышленности и соответствует требованиям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Диссертация написана грамотно и хорошо оформлена.

## **Методология и методы диссертационного исследования**

Теоретико-методологической основой исследований являются труды отечественных и зарубежных авторов в области теории и техники сушки, в частности, работы А.С. Гинзбурга, А.В. Лыкова, Б.С. Сажина, В.И. Попова, И.Т. Кретова, И.Ю. Алексаняна, С.Т. Антипова, А.Н. Острикова и др.

Основой исследований является изучение кинетики процесса конвективно-радиационной распылительной сушки пюре из тыквы, а также термодинамический анализ статического взаимодействия воды с концентратами из тыквы на основе экспериментальных данных для интенсификации тепломассообмена, численного расчета температурных полей и реализации модели тепломассопереноса в процессе сушки.

Цель исследования достигнута благодаря анализу и обобщению классических и современных аналитических и эмпирических методов изучения тепломассопереноса на базе известных научных достижений и основополагающих работ в области обезвоживания биополимерных материалов, положениям которых соответствуют выводы и рекомендации, представленные в работе. Полученные зависимости и аппроксимирующие уравнения адекватны экспериментальным данным, что подтверждено статистической обработкой результатов измерений. Методическое обеспечение и предложенные в результате исследований конструкторские решения не противоречат известным апробированным методикам рационального проектирования и конструирования аппаратов. Комплекс экспериментов и реализация физико-математической модели процесса сушки проводились с использованием современных компьютерных математических программ, приборов и оригинальных опытных установок.

### **Положения, выносимые на защиту**

- Функциональные зависимости теплофизических, структурно-механических и гигроскопических характеристик концентратов из тыквы от влажности и температуры продукта для диапазонов их изменения в процессе конвективно-радиационной распылительной сушки.
- Расчетные зависимости скорости влагоудаления, удельной производительности сушилки, удельной влагонапряженности рабочего объема сушильной камеры от температуры сушильного агента и плотности теплового потока инфракрасного излучения.
- Рациональные режимы конвективно-радиационной распылительной сушки пюре из тыквы.
- Конструкции распылительных установок для сушки.

## **Апробация результатов диссертационного исследования**

Основные результаты исследований доложены и обсуждены на научных конференциях: Международная научная конференция «Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ-2012». Участник молодежного научно-инновационного конкурса («У.М.Н.И.К.») (Астрахань, 2012г.); 56, 57 и 58 научно-практические конференции профессорско-преподавательского состава Астраханского государственного технического университета (Астрахань, 2012-2014гг.); III Межрегиональная конференция молодых ученых и инноваторов «ИННО-КАСПИЙ» (Астрахань, 2012г.); Всероссийская молодежная конференция «Инновации и технологии Прикаспия» (Астрахань, 2012г.); Всероссийская научно-практическая конференция «Исследования молодых ученых – вклад в инновационное развитие России» (Астрахань, 2012г.); II Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в производстве, науке и образовании» (Махачкала, 2012г.); XI международная научно-практическая конференция «Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития современного общества» (Москва, 2014г.); V Международная научно-практическая конференция «Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: фундаментальные и прикладные аспекты» (Воронеж, 2015г.).

## **Публикация основных результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 14 работ, из них 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ; 1 статья и 4 публикации в виде тезисов в материалах конференций, получены 3 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ, получено 2 патента РФ на полезную модель.

## **Практическая ценность работы**

Установлен рациональный режим конвективно-радиационной распылительной сушки пюре из тыквы с начальной температурой  $T_{\text{прод}} = 298 \text{ K}$ , начальной влажностью  $0,92 \text{ кг/кг}$  и размером частиц дисперсной фазы пюре  $1..3 \text{ мкм}$  до конечной влажности  $W_k = 0,05 \text{ кг/кг}$  с удельной производительностью по сухому порошку  $\Pi = 1,140 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{ч)}$  и удельной влагонапряженностью рабочего объема сушильной камеры  $B = 12,399 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{ч)}$ :

- Плотность теплового потока  $E_p = 3,6 \text{ кВт/м}^2$ ;
- Исходная температура сушильного агента  $T_{c.a.} = 473 \text{ K}$ ;
- Удельный расход сушильного агента на 1 кг испаренной влаги  $Q_{c.a.} \geq 20 \text{ кг/кг}$ .

- Способ распыления должен обеспечивать начальный диаметр частиц 20..30 мкм.

- Температура отработавшего сушильного агента 353 К.

Разработаны программные материалы для аналитического расчета сорбционно-структурных, дисперсных и термодинамических характеристик при взаимодействии продуктов растительного происхождения с водяным паром (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2014613311, Россия; Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015619010, Россия; Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015619046, Россия).

Предложены рациональные конструкции установок распылительной сушки (Патент на полезную модель 154840; Патент на полезную модель 150305; Заявка на полезную модель №2015120308).

Основные результаты и рекомендации внедрены и используются при организации технологических процессов на ФГБНУ «ВНИИООБ», ООО «АСТРАХАНСКАЯ КОНСЕРВНАЯ КОМПАНИЯ», ООО НПП «пЕДАнт», ООО «БИОПРОФИЛАКТИКА», ООО «АСТРБИОПРОДУКТ» и др.

Исходя из этого, считаю, что работа обладает практической ценностью.

### **Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, написан кратко и хорошо оформлен. Между ними нет противоречий и разночтений.

### **Замечания по диссертации**

1. При математическом описании различных зависимостей используется только метод точного попадания в узловые точки, результатом которого получаются достаточно громоздкие уравнения с высокой степенью точности коэффициентов, а не методы, основанные на большем усреднении и обобщении, например, методы ломаных, итераций, наименьших квадратов и т.д.

2. В работе не приведены данные по вязкости исследуемого продукта, которую следует учитывать при разработке режимов распыления и сушки.

3. Поля распределения температур в объеме материала (глава 6) получены только при рациональном режиме и не оценивались в диапазоне варьирования режимных параметров, что неизбежно в реальных производственных процессах.

4. Не ясно, почему удельная производительность в процессе влагоудаления рассчитывается по статистическим зависимостям от влияющих факторов без использования кинетических уравнений процесса сушки.

5. Считаю недостаточным для обоснования целесообразности применения инфракрасного энергоподвода в процессе сушки только

экспериментально доказанного увеличения производительности сушильной установки без анализа оптических характеристик объекта сушки на основании известных методов (например, метод, предложенный в работах Ильёсова С.Г. и Красникова В.В.).

### Общее заключение

В диссертационной работе Ю.С. Феклуновой научно и экспериментально обоснована совокупность методов и технических средств для организации рационального процесса конвективно-радиационной распылительной сушки пюре из тыквы. Автором выполнен широкий спектр комплексных научных исследований, логически вылившихся в актуальную для промышленности и науки диссертационную работу, выполненную на высоком научно-техническом уровне.

Диссертационная работа Ю.С. Феклуновой «Разработка и научное обоснование способа распылительной сушки пюре из тыквы при конвективно-радиационном энергоподводе» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические разработки в области конвективно-радиационной распылительной сушки. Она обладает логическим единством, все ее разделы служат достижению поставленной цели.

Диссертационная работа оформлена аккуратно, иллюстративный материал подготовлен качественно.

Диссертационная работа имеет существенное значение для пищевой промышленности и соответствует п.9 (к) «Положения о порядке присуждения ученых степеней». Автор диссертационной работы Феклунова Юлия Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – «Процессы и аппараты пищевых производств».

Профессор кафедры «Промышленной  
и коммунальной энергетики»  
Негосударственного образовательного  
учреждения высшего профессионального  
образования «Московский институт  
энергобезопасности и энергосбережения»,  
доктор технических наук, профессор

Ю.М. Плаксин

Адрес: 105043, г. Москва,  
ул. 4-я Парковая, д. 27, стр. 1  
e-mail: istraplaksin@mail.ru  
тел. р.: 8(495)965-31-56

*Юлия Сергеевна Феклунова* и *Юлия Сергеевна Феклунова* заверено  
*Секретарь по кадрам Аллаваз Фетисов*

