

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Мироновой Надежды Александровны на тему *«Экспериментальные исследования процесса сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое»*, представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

Актуальность темы

Одним из наиболее распространенных методов сохранения и переработки сырья является сушка. При этом образующиеся градиенты температуры и перепады содержания влаги в процессе сушки могут оказать отрицательное влияние на качество готового продукта из-за роста термических и влажностных напряжений.

В связи с этим особую актуальность имеют исследования с целью создания новых способов сушки, обеспечивающих повышение качества продукта, уменьшение его потерь, а также значительную интенсификацию процесса сушки при снижении удельных энергозатрат на испарение.

Одним из таких перспективных способов сушки является тепловлажностная обработка с использованием инфракрасного излучения в виброкипящем слое, при которой достигаются более интенсивное перемешивание продукта в сравнении с традиционной сушкой, максимальная поверхность испарения и равномерное импульсное нагревание материала, что в сумме позволяет использовать высокие температуры, а также высушивать материал до низкой остаточной влажности.

Анализ известных научных исследований в области комбинированного применения радиационного теплоподвода и вибрации показывает, что механизм их воздействия на структуру, физико-химическую и биологическую природу многослойных капиллярнопористых тел, к которым относится такое ценное вторичное сырье как плодовые косточки, все ещё не изучен. Кроме того, многообразие аппаратного оформления этих процессов, вытекающее как из условий конкретного производства, так и из технологических требований к их организации, приводит к разнообразию специфики их протекания.

Аналитическое решение взаимосвязанных дифференциальных уравнений распространения теплоты под действием градиента температур в материале молекулярным способом (теплопроводностью) и конвективным с потоком пара (молярный перенос), массопереноса влаги внутри материала под действием градиента влагосодержания и испарения влаги с поверхности под действием разности парциальных давлений возможно только для некоторых упрощенных частных случаев нагрева и сушки. Причем не из-за математических трудностей, связанных с существенной нелинейностью задачи, а из-за физико-химических проблем анализа механизма и кинетики тепломассопереноса, неизвестности, неустойчивости и погрешностей большого числа входящих в исходные модели коэффициентов и характеристик, часто являющихся демонстрационно-показательными и не учитывающими взаимовлияние тепло- и влагопереноса. Поэтому аналитический подход часто приводит к противоречиям с реальными особенностями моделируемого процесса, что не позволяет адекватно прогнозировать его характеристики и выби-

рать рациональные режимы реализации.

Для того чтобы решить эту сложную научную и технологическую задачу и создать соответствующую конструкцию сушильной установки, требуются другие подходы. Поскольку при выборе рациональных режимов сушки необходимо знать распределение полей температуры и влажности в сечении материала, автор выбрал путь получения физической модели процесса сушки плодовых косточек и их ядер инфракрасным излучением в виброкипящем слое на основе синтеза экспериментальных исследований кинетики влагосодержания и температуры в зависимости от плотности теплового потока и параметров вибрации, что определяет актуальность темы и экспериментальный характер диссертационной работы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Степень обоснованности приведенных в диссертационной работе Мироновой Н.А. научных положений и выводов определяется тем, что найденные теоретические зависимости базируются на общепринятых положениях теории сушки. Результаты исследований не вызывают сомнений благодаря тщательно проработанной методике, использованию специально созданного аппаратурно-методического комплекса и стандартной нормативно-технической документации, подбору необходимых современных аттестованных измерительных средств, а также правильной оценке погрешностей измерений.

Выводы, заключения и рекомендации работы в достаточной степени обоснованы корректным подбором методологии исследования, адекватностью принятых в работе допущений и согласованием результатов экспериментальных исследований с данными расчета и с результатами исследований других авторов.

Достоверность и новизна научных положений, выводов, рекомендаций

Достоверность результатов исследований подтверждается актами внедрения в производство и в учебный процесс. Достоверность обеспечивается также широкой публикацией работ по теме исследований и обсуждением их на конференциях и научных семинарах различного уровня.

Новизна в подходе к решению поставленных в работе задач позволили автору получить новые результаты, имеющие не только научную, но и практическую значимость.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Получены новые данные о влиянии технологических и теплофизических параметров процесса сушки плодовых косточек (продолжительности, температуры, влагосодержания, плотности теплового потока инфракрасного излучения) на интенсивность сушки; установлены общие закономерности процесса в виде кривых сушки, скорости сушки и термограмм, характерные для сушки плодовых косточек при радиационном теплоподводе.

2. Впервые разработана математическая модель процесса сушки плодовых косточек, связывающая продолжительность сушки, плотность теплового потока инфракрасного излучения, начальное влагосодержание продукта и амплитуду колебаний рабочего органа установки.

3. Впервые для плодовых косточек и их ядер определены теплофизические и ряд геометрических характеристик и дан их статистический анализ. Получены уравнения регрессии в виде мультипликативных моделей, описывающие количественную связь между линейными размерами и объемом косточек и ядер. На основании анализа статистических оценок сделаны выводы о характере распределения ряда характеристик и тесноте связи между ними.

4. Получили развитие научные представления об эффективности использования комбинированного процесса сушки плодовых косточек и их составляющих инфракрасным излучением при вибрационном воздействии. Установлено, что процесс сушки целесообразно проводить при плотности теплового потока инфракрасного излучения в диапазоне $400 \dots 900 \text{ Вт/м}^2$, что позволяет достичь высокой интенсивности процесса с сохранением качества масла, содержащегося в ядрах косточек. Получены уравнения обобщенных кривых скорости сушки для второго периода сушки, описывающие конвективный тепломассообмен при воздействии теплового потока инфракрасного излучения на продукт.

5. Получили дальнейшее развитие представления о зависимости между скоростью сушки и влажностью материала сушки. Для каждого исследуемого вида косточек определена длительность их сушки до заданного конечного влагосодержания на основании значений массообменных коэффициентов и критических влагосодержаний, рассчитанных с использованием коэффициентов регрессии уравнения Филоненко Г.К.

6. Получили развитие представления о взаимосвязи между теплообменом и массообменом при сушке плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое на основе анализа изменения числа Ребиндера в рабочем диапазоне температур, с использованием эмпирических зависимостей удельной теплоемкости влажного тела, удельной теплоты испарения влаги и температурного коэффициента сушки от текущего влагосодержания.

Практическая значимость работы.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что разработана инженерная методика проектного расчета промышленной вертикальной вибросушилки непрерывного действия с использованием инфракрасного нагрева продукта, позволяющая рассчитывать количество испаряемой влаги, основные габаритные размеры и тепловые параметры рабочей камеры вибросушилки. Полученные автором в процессе работы новый способ сушки плодовых косточек и разработанные конструкции и технические решения защищены тремя декларационными патентами Украины на полезную модель: №21856, №95857 и №95859, а также подтверждены соответствующими актами о внедрении результатов исследований.

Задачи, поставленные автором в работе, с точки зрения научной и практической ценности соответствуют уровню кандидатской диссертации.

Замечания

По содержанию диссертации и автореферата есть ряд замечаний и вопросов, из которых наиболее важны следующие:

1. Пункт 1-й научной новизны не является таковой, а представляет собой

просто перечисление проделанных этапов работы, в общих выражениях без конкретики.

2. Последнее предложение 4-го пункта научной новизны и 1-го пункта общих выводов требует уточнения, поскольку уравнения обобщенных кривых скорости сушки получены для второго периода сушки. Аналогично 6-й пункт научной новизны и 3-й пункт общих выводов необходимо сформулировать более точно, так как должны рассматриваться удельная теплота испарения влаги как суммы удельной теплоты парообразования свободной влаги и теплоты смачивания, а также удельная теплоемкость влажного тела.

3. Материал первого раздела перегружен специальными сведениями и терминами по вторичным сырьевым ресурсам плодоовощного производства и их использованию. Необходимо больше внимания уделить иллюстрации конструкций типов сушилок, рассматриваемых в работах [16, 53-59, 62-63 и т.д.], их технологических схем и способов сушки, так как такой графический материал отсутствует.

4. На стр.30 автор анализирует преимущества способа сушки продуктов излучением в виброкипящем (псевдооживленном) слое, при этом не учтен тот фактор, что такой слой является аэродинамически неустойчивой системой, что выражается в превышении предела устойчивости слоя косточек и проблеме их удержания в зоне теплового излучения и вибровоздействия сушилки.

5. В подразделе 2.2 представлена методика определения физико-геометрических характеристик плодовых косточек, что утверждается в выводах к разделу на стр.73. Но описание методики касается в основном определения только геометрических характеристик косточек, что справедливо подтверждено в выводах к подразделу. Определению физических характеристик отведен всего лишь один абзац на стр.60, со ссылкой на работы [49,146]. Т.е. на самом деле рассматривается методика определения не физико-геометрических, а геометрических характеристик, тем более, что эти данные декларируются как элементы научной новизны.

6. При использовании матричного планирования эксперимента в уравнении регрессии для плодовых косточек черешни (3.19) (уравнение (2) автореферата) отсутствуют взаимосвязи «амплитуда вибрации – начальное влагосодержание» и «плотность теплового потока – начальное влагосодержание», хотя в уравнении регрессии для кодированных значений факторов (3.18) они представлены. Исключение взаимосвязей из уравнения (3.19) требует обоснования.

7. Неясно, из каких соображений и при какой температуре задавалось значение теплоты парообразования свободной влаги равным 2240 кДж/кг (стр.126)?

8. На стр.106 автор пишет, что в работе анализировалась среднеинтегральная температура продукта, определяемая по термограмме (при этом процедура определения не приведена). Непонятно, почему возникла необходимость ввода среднеобъемной температуры (на стр.55 как абсолютная среднеобъемная T_{cp} без указания на метод определения, и на стр.128 как среднеобъемная t_{cp}).

9. Для решения уравнения теплового баланса (4.1) автор использовал аппроксимацию обобщенных кривых скорости сушки, отметив, что форма кривых для различных плодовых косточек сложная и существенно различается (раздел 4, стр.108, 122). На практике это неизбежно должно привести к физическим противоречиям, особенно на стыках первого и второго периодов сушки, когда на кривых появляются участки переменной крутизны. Необходимые пояснения по

анализу и решению этих проблем в работе не приведены.

10. В списке использованных источников в диссертации ([9],[57],[126] и т.д.) и в автореферате есть неточности; мелкие орфографические ошибки и опечатки, в том числе в описаниях патентов.

**Заключение о соответствии диссертации критериям,
установленным п. 2.2. Положения о присуждении ученых степеней
кандидата технических наук**

Указанные выше недостатки и замечания не могут кардинально повлиять как на главные теоретические и практические результаты исследований, так и на общую позитивную оценку диссертационной работы. В основном, они носят уточняющий редакционный либо рекомендательный характер и могут быть учтены в дальнейшей научно- практической деятельности автора.

В целом диссертационная работа Мироновой Надежды Александровны на тему «Экспериментальные исследования процесса сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 - Промышленная теплоэнергетика, является научно-квалификационной работой, в которой представлено решение актуальных научно-практических задач исследования процессов тепло- и массообмена в сушильных установках, разработки новых конструкций теплопередающих и теплоиспользующих установок, обладающих улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками. Автореферат диссертации соответствует ее тексту. Публикации по теме диссертации полностью отражают ее основные положения. В связи с этим, диссертация Мироновой Надежды Александровны соответствует требованиям ВАК Донецкой Народной Республики, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика.

Официальный оппонент

кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры промышленной теплоэнергетики

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

283001, г. Донецк,

ул. Артема, 58

тел.: +38 (062) 301-07-69

e-mail: donntu.info@mail.ru

(подпись)

Гридин Сергей Васильевич

