

## ОТЗЫВ

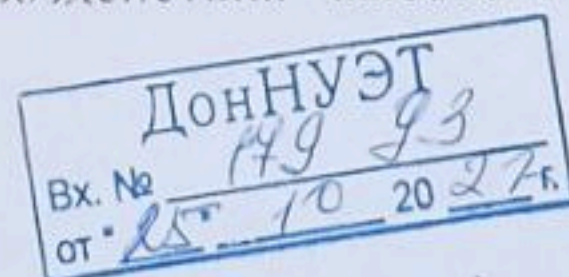
официального оппонента на диссертационную работу  
Афенченко Дмитрия Сергеевича на тему «Исследование тепло-  
гидродинамических процессов при обработке пищевых продуктов  
высоким давлением», представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

Диссертационная работа Афенченко Д.С. посвящена актуальному вопросу разработки математической модели камеры высокого давления и моделированию процессов температурной и гидравлической неоднородности в камерах заданных геометрических размеров при различных граничных условиях технологического процесса обработки пищевых продуктов высоким давлением.

Основное содержание работы изложено на 129 страницах машинописного текста, который состоит из 4 разделов и 5 приложений. Диссертация проиллюстрирована 55 рисунками и содержит 5 таблиц. Список использованной литературы содержит 140 наименований.

**Введение** диссертации содержит актуальность темы, связь с научными программами, планами, темами. Во введении определена цель и задачи исследования, приведены полученные автором научные и практические результаты, личный вклад соискателя, данные об апробации работы, данные о внедрении результатов диссертации и сведения о публикациях результатов выполненных научных исследований.

**Первый раздел** диссертации автор посвятил аналитическому обзору имеющейся научно-технической информации по теме исследования. Рассмотрены вопросы области применения обработки высоким гидростатическим давлением продуктов питания, влияние ее на сохранность и улучшение качества пищевых продуктов. Автором описаны возможность модификации структуры продуктов питания и их составных частей, инактивация микрофлоры при помощи воздействия высокого давления.



Особое внимание уделено технологическим процессам с использованием высокого давления.

Далее автор уделил внимание распределению температуры, установленной в камере из-за сопряженной (теплопроводности и конвекции) теплопередачи, что имеет важное значение для разработки стратегий управления процессом, чтобы достичь высокой степени однородности процесса. Рассмотрены вопросы математического моделирования обработки высоким давлением и сопряженные с этим проблемы.

**Второй раздел** посвящен теоретическому и экспериментальному обоснованию тепло-гидродинамических процессов при обработке высоким гидростатическим давлением.

В данном разделе описана конструкция технологической установки для обработки высоким гидростатическим давлением, описаны методики определения основных параметров процесса. Рассмотрены геометрические размеры и конструктивные размеры оборудования. Теоретически определена реакция применяемой термодпары на пошаговые изменения температуры в камере высокого давления. Описаны тепло-гидродинамические процессы, происходящие в камере высокого давления, особенности потока воды, образованного выталкивающей силой, приведены уравнения термодинамики при обработке высоким давлением. Проведен обратный анализ для определения действительного изменения температуры воды как функции времени.

**В третьем разделе** проведено численное моделирование теплообмена и потока жидкости для установки высокого давления, которая использовалась во время экспериментальных исследований с помощью коммерческой программы для вычислительной гидродинамики на основе метода конечных элементов ANSYS *Fluent*. Основные уравнения сохранения массы, импульса и энергии, описанные во втором разделе, были численно решены для принятой расчетной области, при прогнозировании полей скоростей и температур в

передающей среде с повышенным давлением и уравнения энергии, решенного для стенки камеры.

Разработана и проверена на предмет размеров области, статистики объема и статистики по фронтальному срезу расчетная сетка, сгенерированная с помощью *ANSYS Mesh*, которая была импортирована в программу *ANSYS Fluent*. Для математического моделирования теплового и скоростного полей был использован предусмотренный в программе алгоритм решения неустойчивого уравнения. Естественная конвекция в воде моделировалась с использованием приближения Буссинеска.

Уравнения потока жидкости и теплопередачи для прогнозирования распределения температуры во время процесса обработки давлением были адаптированы для включения теплофизических свойств воды при комбинированной зависимости давления от температуры.

Чтобы компенсировать уменьшение объема в камере при подаче воды в камеру на период повышения давления, определено значение граничной скорости подачи передающей среды.

**Четвертый раздел** автор посвятил численному моделированию. Произведено сравнение численно спрогнозированных данных с экспериментальными, рассмотрены влияние высокой начальной температуры на аксиальное и поперечное распределение температуры, влияние размера камеры и термоизолирующей вставки на распределение температуры, а также влияние изменения свойств воды. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что нагрев в результате сжатия происходит неоднородно в нагнетательной среде и вызывает повышение температуры среды. Установлено, что между средой и более холодной стенкой камеры возникает температурный градиент, который приводит к теплообмену между водой и массивной стенкой камеры. При этом из-за различия плотности образуются конвекционные потоки внутри рабочей жидкости. Автором было спрогнозировано распределение температуры для случая без конвекции, в сравнении со случаем, когда происходит сопряженный теплообмен.

Программа математического моделирования была также использована для изучения влияния размера камеры на распределение температуры в воде. Были проведены сравнения как для случая лишь проводимости (без влияния гравитации) и сопряженной теплопередачи (проводимость и конвекция). При этом было установлено, что одной из причин неоднородности температуры во время обработки высоким давлением является теплотеря на толстой металлической стенке камеры.

Для того, чтобы минимизировать данные теплотери, предлагается внести в конструкцию камеры высокого давления термоизоляционную вставку. Результаты проведенного моделирования для прогнозирования распределения температуры в камере с термоизоляционной вставкой свидетельствуют о том, что установка термоизоляционной вставки не оказывает значительного влияния на радиальное распределение температуры, тогда как аксиальное распределение становится более однородным в сравнении со случаем, когда изоляции нет.

В результате полученная математическая модель подтвердила гипотезу о том, что увеличение размера камеры и установка термоизолирующей вставки может уменьшить неоднородность температуры в нагнетательной среде.

**По работе имеется ряд замечаний:**

1. Представленная в содержании структура работы, на мой взгляд, очень подробная. Стоило бы ограничить структуру 2-мя уровнями (раздел и подраздел).
2. Нет постоянного использования принятых сокращений, в частности «высокое давление».
3. Не совсем ясен выбор четырех температурных режимов (293 К, 313 К, 332 К, 333 К), при которых проводились исследования.

4. В работе используются Кельвины и градусы Цельсия. Следует использовать какую-то одну единицу.
5. Не всегда корректно употребляются термины. Например: «заморозка», «тепло», «обезразмерить» и др.
6. Нет четкости в использовании понятий «теплопередача», «теплопроводность». Очень часто они подменяют термины «теплообмен», «теплоотдача»
7. Стиль изложения материала в некоторых частях работы недостаточно научный. Также по тексту достаточно много ошибок, не выдержан общий стиль оформления диссертации.
8. В нумерации таблиц и формул, имеются многочисленные ошибки.
9. Выводы по работе нуждаются в корректировке.
10. Оформление списка некоторых использованных источников не соответствует требованиям.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В целом диссертационная работа Аfenченко Д.С. «Исследование тепло-гидродинамических процессов при обработке пищевых продуктов высоким давлением» является самостоятельно выполненной квалификационной научной работой, содержит новые результаты проведенных автором теоретических и экспериментальных исследований, которые в совокупности решают конкретную научную задачу по математическому описанию процессов в камере высокого давления при обработке пищевых продуктов. В проведенных исследованиях содержится решение проблемы, имеющей важное значение для пищевой и перерабатывающей промышленности в области проектирования технологического оборудования и моделирования процессов и аппаратов пищевых производств. Работоспособность предложенных автором математических моделей подтверждена экспериментально.

