

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Курбонова Мухамадали Файзалиевы ча на тему

«Исследование теплофизических, термодинамических, адсорбционных и  
массообменных процессов производства пива из местного сырья»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по  
специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника

**Актуальность темы диссертационного исследования.** Исследования термодинамических параметров и физико-химических свойств смесей являются актуальными вопросами, в рамках которых учитываются происходящие процессы на уровне межкомпонентного взаимодействия в газожидкостных смесях с учётом ориентационных эффектов, развитие которых наблюдается при производстве пищевых продуктов под влиянием температуры, давления и изменения концентрации компонентов. Исследование данных параметров и свойств имеет огромное теоретическое и прикладное значение. Многосторонний подход к решению поставленных задач, а именно практическое применение термодинамических методов статистической обработки, физической химии, молекулярной физики, оптики, механики сплошных сред и др., позволяет получить новые результаты в данных направлениях относительно производства пищевых продуктов. Помимо всего, численные результаты исследования рассматриваемых параметров и свойств находят широкое применение и в инженерных расчётах, связанных как с проектированием, так и с эксплуатацией теплообменных устройств и технологических аппаратов.

Таким образом, исследование физико-химических и термодинамических свойств разлагающихся продуктов, кинетических параметров реакции и процессов их различного рода термического разложения как для последующего моделирования процессов в теплообменниках и аппаратах для получения пива, так и для анализа эффективности выбранных конструкционных решений, а также для определения времени «живучести» продукции в виде пива до ухудшения его свойств и необходимости перезаправки, является чрезвычайно важной и актуальной проблемой.

Прежде всего необходимо отметить высокую степень актуальности диссертационной работы Курбонова Мухамадали Файзалиевича, направленной на исследование теплофизических, термодинамических, адсорбционных и массообменных процессов производства пива из местного сырья. Считаю, что результаты выполненных исследований представляют собой значительный резерв совершенствования технологического процесса производства данного продукта.

**Целью диссертационной работы М.Ф. Курбонова является** совершенствование технологии и оборудования для производства пива с использованием местного сырья Республики Таджикистан на базе экспериментально - расчётных исследований основных механизмов тепло - и массообменных процессов.

*Для достижения поставленной цели диссертантом решены следующие задачи:*

1. Определён уровень и состояние современных исследований основных закономерностей касательно технологических процессов производства пива в условиях Республики Таджикистан.
2. Исследованы физико-химические и термодинамические свойства, равновесное состояние и кинетика термического разложения продуктов пивоваренного производства в интервале температур (298-379) К, давлений (0,101-9,81) МПа с учётом влияния условий аэрации.
3. Определены механизмы влияния процесса аэрации семенных дрожжей на физико-химические и термодинамические свойства исследуемой системы (сусло + вода), а также на кинетику потребления кислорода дрожжевыми клетками и на концентрацию сухих веществ сусла на стадии основного брожения при разных температурах.
4. Усовершенствованы методики определения физико-химических, термодинамических, теплофизических характеристик (теплопроводности, температуропроводности, теплоёмкости и т.п.) и кинетики разложения объектов исследования.
5. Проведено как технико-экономическое обоснование, так и совершенствование технологической схемы производства пива с применением местного сырья Таджикистана, а также разработаны рекомендации по их дальнейшему применению.

**Научная новизна исследования состоит в том, что:**

1. Усовершенствованы экспериментальные установки для измерения температуропроводности (метод регулярного режима) и теплоемкости (метод монотонного разогрева) путём добавления грузопоршневого манометра и пережимного сосуда при различных давлениях.
2. Разработан способ регулирования теплофизических параметров ( $\lambda$ ,  $c_p$ ,  $a$ ) сусла и продуктов для производства пива путём изменения расхода воздуха для аэрации в технологическом оборудовании.
3. Получены экспериментальные данные как по физико-химическим и термодинамическим параметрам продуктов для производства пива на основе растворов «сусло + вода», так и по кинетике реакции термического разложения данного продукта с учётом и без учёта аэрации в интервале температур (298-379) К и давлений (0,101-9,81) МПа.
4. Проведён численный анализ влияния аэрации на результат исследования периода термического разложения продуктов для производства пива и изменения их основных физико-химических и термодинамических параметров.
5. Получены эмпирические формулы, устанавливающие связь теплопроводности, теплоёмкости, температуропроводности и плотности образцов с температурой и давлением, в частности: зависимости  $P-\lambda-T$ ;  $P-a-T$ ;

$P-c_p-T$ ;  $P-c_p-\rho-T$ , позволяющие вычислить данные параметры в неисследованных точках температуры, давлении и концентрации компонентов.

6. Получены выражения для расчёта кинетики протекания химических процессов при брожении сусла путём аэрации в различных условиях, результаты которых способны прогнозировать оценку течения этих процессов во времени.

**Практическая и теоретическая ценность диссертационного исследования состоит в том, что:**

1. Усовершенствованные экспериментальные установки можно использовать для определения физико-химических свойств и скоростей разложения продуктов для производства пива с существенной экономией времени и ресурсов (с учётом аэрации).

2. Полученные физико-химические свойства объектов исследования и дополняют банк значений по термодинамическим характеристикам системы (сусло + вода) новыми данными, которые могут быть использованы в практических расчётах процессов и технологических аппаратов производства пива.

3. Кинетические параметры реакций термического разложения, определённые по экспериментальным данным, позволяют оценить период эффективного использования продуктов для производства пива до его разложения и потери свойств.

4. Математические модели, которые были созданы в процессе исследования, позволяют выполнить прогноз течения соответствующих технологических процессов во время брожения продуктов для производства пива.

**На защиту выносятся:**

1. Новые варианты соответствующих экспериментальных установок и обоснование их использования при опытном изучении температуропроводности (методом регулярного теплового режима), теплоёмкости (методом монотонного разогрева) системы (сусло + вода) в условиях комнатной температуры и при изменении давления опыта;

2. Экспериментальная установка для исследования теплоёмкости и способ получения термограммы для электролитов, т. е. установления адиабатического изменения температур с учётом времени разложения;

3. Аппроксимационные зависимости, с помошь которых можно выполнить надлежащий расчёт соответствующих физико-химических и термодинамических параметров веществ с изменением параметров состояния (температура и давление), а также установить связь температуры разложения со временем как при аэрации образцов, так и без неё.

4. Экспериментальные данные по температуропроводности, теплопроводности, теплоёмкости, плотности при различных температурах

$T=(298-379)$  К и давлениях  $P = (0,101-9,81)$  МПа, а также по температуре разложения исследуемых растворов (адиабатического изменения температур);

5. Закономерности температурного изменения скорости химической реакции, термического разложения. Значения кинетических констант химической реакции (предэкспоненты энергии активации);

6. Результаты исследований кинетики протекания химических процессов на стадии главного брожения, а также разработанная математическая модель кинетики сбраживания пивного сусла.

**Личный вклад автора** заключается в постановке и выполнении задач исследования, в выборе методов и осуществлении решения этих задач, выявлении основных закономерностей процессов приготовления пива и связанных с ними физико-химическими превращениями, проведении экспериментов по исследованию соответствующих характеристик в условиях производства, а также в самостоятельном проведении соответствующей обработки и анализа, полученных в ходе экспериментов результатов по физико-химическим и термодинамическим свойствам, а также в получении и формулировании основных выводов по выполненному объёму работы.

**Степень достоверности результатов численных исследований** подтверждается: 1) результатами контрольных измерений на опытных устройствах; 2) результатами тестирования применённых методик и алгоритмов, разработанных для решения основных задач по изучению процесса теплопереноса в менее сложных нестационарных нелинейных задачах по теплоёмкости, температуропроводности и теплопроводности; 3) выполнением ряда экспериментальных исследований, результаты которых хорошо согласуются с расчётными, полученными с помощью эмпирических уравнений.

**Диссертантом по результатом исследований** опубликовано 20 печатных работах в материалах международных и республиканских конференций, а также в престижных научных журналах, 5 из которых опубликованы в журналах из списка, рекомендованного ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка использованной литературы из 212 наименований. В работе также содержатся: 41 рисунок, 34 таблицы, а также приложение на 12 страницах. Общий объем текста диссертации изложен на 170 страницах машинописного текста.

**Во введении** приводится актуальность, цель и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость работы, а также краткий обзор изученной информации о ранее выполненных работах в данном направлении. Показана актуальность и необходимость проведения комплексного

экспериментального изучения удельной теплоёмкости, теплопроводности, температуропроводности, определения термодинамических функций.

**В первой главе** представлен подробный обзор литературных данных о состоянии исследований процессов производства пива и основных характеристик её компонентов. Приведены описания методов экспериментальных исследований растворов, в связи с чем, освещается актуальность исследования свойств системы (сусло + вода), в частности, образование анизотропной структуры и связанные с этими процессами особенности физико-химических и термодинамических свойств таких систем.

**Во второй главе** представлены использованные экспериментальные установки и подробные описания к ним, порядок выполнения работ на них и соответствующая методика расчёта погрешностей измерений. Для определения теплофизических и термодинамических свойств системы сусла и его растворов за основу был взят и усовершенствован известный метод монотонного разогрева, предложенный в своё время профессорами Е.С. Платуновым и Сафаровым М.М.

**В третьей главе** приведены экспериментально полученные автором значения теплофизических и термодинамических свойств продуктов пива (сусло + вода). На экспериментальной установке, разработанной профессором Платуновым Е.С. и его учениками измерена удельная изобарная теплоёмкость и теплопроводность (разработки профессора Сафарова М.М. и его учеников) продуктов пива в зависимости от давления с учётом поля аэрации и без него. Также в данной главе приведены результаты теоретического расчёта кинетики разложения исследуемых образцов и результаты экспериментального исследования физико-химических и термодинамических свойств в зависимости от температуры, давления и поля аэрации.

**В четвертой главе** представлены методики анализа и обработки полученных экспериментальных данных, которые опираются на законы термодинамического подобия и соответственных состояний. Также в главе приведён порядок обработки полученных результатов, на основе которых были выведены соответствующие эмпирические уравнения.

Диссертационная работа Курбонова М.Ф. оформлена в соответствии с требованиями ВАК при Президенте Республики Таджикистан, а текст автореферата охватывает основное содержание диссертации.

Несмотря на указанные достижения, работа не лишена некоторых недостатков, к числу которых можно отнести следующие замечания:

1. Некоторые пункты научной новизны можно было сформулировать более корректно.

2. При обобщении результатов по плотности (стр. 88 диссертации) выбрана

температура  $T_1=313K$ , но не приведена обоснование этого выбора.

3. Некоторые аббревиатуры не расшифрованы (ПАВ, ПИВ, ПНВ).

4. В диссертационной работе и автореферате присутствуют некоторые грамматические ошибки с точки зрения русского языка.

Высказанные замечания не умоляют достоинства диссертационной работы и имеют рекомендательный характер.

**Заключение.** По объёму, теоретической и практической значимости, новизне научных результатов представленная к защите диссертационная работа Курбонова Мухамадали Файзалиевича на тему «Исследование теплофизических, термодинамических, адсорбционных и массообменных процессов производства пива из местного сырья» является законченной научно-исследовательской работой, является успешным решением актуальной задачи с новыми практическими предложениями, соответствует всем предъявляемым требованиям к кандидатским диссертациям, а его автор - Курбонов Мухамадали Файзалиевич заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 –Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Профессор кафедры «Мехатроника  
и технологические измерения»  
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный  
технический университет,  
Заслуженный работник высшей школы  
Российской Федерации,  
д.т.н., профессор

*С.В. Пономарев* 14.12.2023 г.

Подпись д.т.н., профессора Сергея Васильевича Пономарева заверяю:  
И.о. Ученого секретаря  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»

Кузнецова М.С.

*14.12.2023г.*



## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Курбонова Мухамадали Файзалиевича на тему «Исследование теплофизических, термодинамических, адсорбционных и массообменных процессов производства пива из местного сырья», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника

Исследование термодинамических и физико-химических свойств смесей являются актуальными вопросами, при котором учитываются происходящие процессы на уровне межчастичного взаимодействия с учетом ориентационных эффектов, развитие которых наблюдается в пищевых продуктах под влиянием температуры, давления и концентрации компонентов. Исследование данных параметров имеет огромное теоретическое и прикладное значение. Многосторонний подход к решению поставленных задач, а именно практическое применение термодинамических методов статистической обработки, физической и координационной химии, молекулярной физики, оптики, механики сплошных сред и др., позволил получить новые достижения данных направлений касательно пищевых продуктов. Кроме всего, численные результаты названных параметров применяются и в инженерных расчетах, связанных как с проектированием, так и с соответствующей обработкой, сопровождением и эксплуатацией теплообменных устройств и аппаратов. Таким образом, исследование физико-химических и термодинамических свойств для разлагающихся продуктов, кинетических параметров реакции и их различного рода термического разложения для последующего моделирования процессов в теплообменниках и аппаратах для получения пива, а также анализа эффективностей выбранных конструктивных решений, определения времен «живучести» продуктов пива до ухудшения его свойств и необходимости перезаправки, является чрезвычайно важной и актуальной проблемой.

Прежде всего необходимо отметить высокую степень актуальности диссертационной работы Курбонова Мухамадали Файзалиевича, направленное на исследование теплофизических, термодинамических, адсорбционных и массообменных процессов производства пива из местного сырья, представляющий собой значительный резерв совершенствования технологического процесса производства данного продукта.

*Целью данной работы является* совершенствование технологии и оборудования для производства пива с использованием местного сырья Республики Таджикистан на базе экспериментально-расчетных исследований основных механизмов теплообменных процессов.

*Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:*

1. Определены состояния исследования основных закономерностей касательно технологии производства пива в условиях Республики Таджикистан.
2. Исследованы физико-химические и термодинамические свойства, равновесного состояния и кинетики термического разложения продуктов пива в выбранном интервале температур (298-379) К, давлений (0,101-9,81) МПа и влияния условий аэрации.

3. Определены механизмы влияния процесса аэрации семенных дрожжей на физико-химические и термодинамические свойства исследуемой системы (сусло+вода), а также на кинетику потребления кислорода дрожжевыми клетками и на концентрацию сухих веществ сусла на стадии основного брожения при разных температурах.

4. Совершенствованы методики определения физико-химических, термодинамических характеристик (теплопроводности, температуропроводности, теплоемкости и т.п.) и кинетики разложения объектов исследования.

5. Проведены технико-экономического обоснования, совершенствования технологической схемы производства пива с применением местного сырья Таджикистана и разработка рекомендаций по их дальнейшему применению.

**Научная новизна исследований состоит в том, что:**

1. Усовершенствованы экспериментальные установки для измерения температуро-проводности (метод регулярного режима), теплоемкости (метод монотонного разогрева), путём добавления грузопоршневого манометра и пережимного сосуда при различных давлениях.

2. Разработан способ изменения теплофизических параметров ( $p$ ,  $\lambda$ ,  $c_p$ ,  $a$ ) сусла в технологическом оборудовании путем регулирования расхода воздуха для аэрации.

3. Получены экспериментальные данные по физико-химическим и термодинамическим параметрам продуктов для производства пива на основе растворов «сусло + вода» и кинетике реакции термического разложения данного продукта с учётом и без учёта аэрации в интервале температур (298-379)К и давлений (0,101-9,81)МПа.

4. Проведен численный анализ влияния аэрации на результат исследования периода термического разложения продуктов для производства пива и изменения их основных физико-химических и термодинамических параметров.

5. Получены эмпирические формулы, устанавливающие связь теплопроводности, теплоемкости, температуропроводности и плотности образцов с температурой и давлением:  $P-\lambda-T$ ;  $P-a-T$ ;  $P-c_p-T$ ;  $P-c_p-p-T$ , позволяющие вычислить данные параметры в неисследованных точках температуры, давлении и концентрации компонентов.

6. Получены выражения для расчета кинетики протекания химических процессов при брожении сусла путем аэрации в различных условиях, результаты которых способны дать дальневидную оценку течения этих процессов во времени.

**Практическая и теоретическая ценность исследования состоит в том, что:**

1. Разработанная методика и модернизированный аппарат позволяют определить физико-химические свойства системы сусло + вода и скорость разложения с существенной экономией времени и ресурсов.

2. Определены параметры физико-химических свойств и дополнен банк значений по термодинамическим характеристикам системы сусло + вода

новыми данными, которые могут быть использованы в практических расчетах, исследуемых различными технологическими аппаратами.

3. Кинетические параметры реакций термического разложения, определенные по экспериментальным данным, позволяют оценить период эффективности использования теплоносителя до его разложения и потери свойств.

4. Математические модели, которые были созданы в процессе исследования, позволяют выполнить прогноз течения соответствующих технологических процессов во время брожения.

***Таким образом, на защиту выносятся:***

1. Новые варианты соответствующих опытных установок и обоснование их использования при опытном изучении температуропроводности (метод регулярного теплового режима), теплоемкости (работающей методом монотонного разогрева) системы сусла и воды в условиях комнатной температуры и изменения давления опыта;

2. Экспериментальная установка для исследования теплоемкости и способ получения термограммы для электролитов, т. е. установления адиабатического изменения температур с учетом времени разложения;

3. Аппроксимационные зависимости, с помощь которых можно выполнить надлежащий расчет соответственных физико-химических и термодинамических параметров веществ с изменением параметров состояния (температура и давление), а также установить связь температуры разложения со временем при аэрации образцов и без нее.

4. Экспериментальные данные по температуропроводности, теплопроводности, теплоемкости, плотности при различных температурах  $T=(298-379)$  К и давлениях  $p = (0,101-9,81)$  МПа, а также температуре разложения исследуемых растворов (адиабатического изменения температур);

5. Закономерности температурного изменения скорости химической реакции, термического разложения. Значение кинетических констант химической реакции (предэкспаненты энергии активации);

6. Результаты исследований кинетики протекания химических процессов на стадии главного брожения и разработанная математическая модель кинетики сбраживания пивного сусла.

***Личный вклад автора*** заключается в постановке и выполнении задач исследования, в выборе методов и установления решения этих задач, выявлении основных закономерностей процессов приготовления пива и связанных с ними физико-химическими превращениями, проведении экспериментов по исследованию соответствующих характеристик в условиях производства, а также в самостоятельном проведении соответствующей обработки и анализа, полученных в ходе экспериментов результатов по физико-химическим и термодинамическим свойствам и получении основных выводов по выполненному объему работы.

*Степень достоверности результатов численных исследований* подтверждается результатами контрольных измерений на опытных устройствах; результатами тестирования примененных методик и алгоритмов, разработанных для решения основных задач по изучению процесса теплопереноса в менее сложных нестационарных нелинейных задачах по теплоёмкости, температуропроводности и теплопроводности; выполнением ряда экспериментальных исследований, результаты которых хорошо согласуются с расчетными, полученными с помощью эмпирических уравнений.

*Диссертантом по результатом исследований* опубликовано 20 печатных работах в материалах международных и республиканских конференций, а также в престижных научных журналах, 5 из которых опубликованы в журналах из списка, рекомендованного ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка использованной литературы из 212 наименований. В работе также содержатся 41 рисунок, 34 таблиц, 12 страниц приложения включительно и в целом изложена на 170 страницах машинописного текста.

*Во введении* приводится актуальность, цель и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость работы, а также обзор изученной информации уже выполненных работ в данном направлении. Показана актуальность и необходимость проведения комплексного экспериментального изучения удельной теплоёмкости, теплопроводности, температуропроводности, определения термодинамических функций.

*В первой главе* представлен обзор литературных данных по вопросу состояния исследования процессов производства пива и основных характеристик её компонентов. Приведены описания методов экспериментальных исследований растворов, в связи с чем, освещается актуальность исследования свойств системы сусло + вода, в частности, образование анизотропной структуры и связанные с этими процессами особенности физико-химических и термодинамических свойств таких систем.

*В второй главе* представлены использованные экспериментальные установки и подробные описания к ним, порядок выполнения работ на них и соответствующая методика расчета погрешности измерения. Для определения теплофизических и термодинамических свойств системы сусло и его растворов за основу был взят и усовершенствован известный метод монотонного разогрева, предложенный в свое время профессорами Е.С. Платуновым и Сафаровым М.М.

*В третьей главе* приведены экспериментальные значения теплофизических и термодинамических свойств продуктов пива (сусло + вода). На экспериментальной установке, разработанной профессором Платуновым Е.С. и его учениками измерена удельная изобарная теплоёмкость, температуропроводность и теплопроводность (разработки профессора Сафарова М.М. и его учеников) продуктов пива в зависимости от давления с

учетом поля аэрации и без него. Также в данной главе приведены результаты теоретического расчета кинетики разложения исследуемых образцов и результаты экспериментального исследования физико-химических и термодинамических свойств в зависимости от температуры, давления и поля аэрации.

**В четвертой главе** представлены методики анализа и обработки полученных экспериментальных данных, которые опираются на законы термодинамического подобия и соответственных состояний. Также в главе приведен порядок обработки полученных результатов, на основе которых были выведены соответствующие эмпирические уравнения.

Диссертационная работа Курбонова М.Ф. оформлена в соответствии с требованиями ВАК при Президенте Республики Таджикистан, а текст автореферата охватывает основное содержание диссертации.

Несмотря на указанные достижения, работа не лишена некоторых недостатков, к числу которых можно отнести:

1. На странице 8-9 автореферата, а также в диссертации представлена усовершенствованная установка для комплексного определения теплофизических свойств растворов на основе метода монотонного разогрева, но в чём усовершенствование, из текста не понятно.

2. На странице 10 автореферата, а также в диссертации говорится об энтропии и энталпии, но как это связано с объектом исследования не объясняется.

3. В диссертации и автореферате говорится об теплообменных аппаратах и старение теплоносителя (стр. 12, 15), но конкретно не указывается какие теплообменные аппараты и теплоносители применяются при производстве пива.

4. На странице 19 автореферата выбрана  $T_1=313$  К, а обоснование не приводится.

Высказанные замечания не умоляют достоинства диссертационной работы и имеют рекомендательный характер.

**Заключение.** По объему, теоретической и практической значимости, новизне научных результатов представленное к защите диссертационная работа Курбонова Мухамадали Файзалиевича на тему «Исследование теплофизических, термодинамических, адсорбционных и массообменных процессов производства пива из местного сырья» является законченной научно-исследовательской работой, является новым решением актуальной задачи с новыми практическими предложениями, соответствует всем предъявляемым к кандидатским диссертациям требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021, № 267, а его автор - Курбонов Мухамадали Файзалиевич, заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 –Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Декан факультета инженерии и  
Отраслевой экономики Института  
энергетики Таджикистана, к.т.н.

Рахимов Х А

Подпись Рахимова Х.А. заверяю  
Начальник ОК и СР ИЭТ

Каримов З.А.